



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO APLICADO EN LA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A
PROCESOS GRAVITACIONALES EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

NAYELLI ZARAGOZA ZÚÑIGA

TUTOR DE TESIS: DR. JOSÉ INOCENTE LUGO HUBP
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM.

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DR. LORENZO VÁZQUEZ SELEM

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM.

DRA. CAROLINA RAMÍREZ NÚÑEZ

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA, ENCIT, UNAM

DR. OSCAR DANIEL RIVERA GONZÁLEZ

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, UNAM

DR. SERAFÍN SÁNCHEZ PÉREZ

ESCUELA NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA, ENAH

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE, 2023.



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.

Dedicada a Iván Gabriel y Gabriel Alejandro.

Carlo Emmanuel Llano Zaragoza

En memoria.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología, así como al Posgrado en Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo económico proporcionado.

Mi más sincero agradecimiento al Doctor José Inocente Lugo Hubp, porque, en el ámbito académico, compartió tanto su conocimiento como su amor por la geomorfología, y facilitó el material y equipo para la realización de este trabajo. En el ámbito personal, le agradezco su amistad y confianza, y por ser un maestro de vida en los momentos más difíciles. Toda mi admiración y cariño para usted.

Al Doctor Lorenzo Vázquez Selem, por su amistad y porque con su asesoría y comentarios se concluyó esta investigación.

A la Doctora Carolina Ramírez Nuñez y a los Doctores Oscar Daniel Rivera González y Serafín Sánchez Pérez por sus observaciones, comentarios y por estar pendientes de este proceso.

Al Doctor Gabriel Legorreta Paulin por sus enseñanzas y apoyo en el trabajo de campo.

A mis padres por estar siempre presentes. A Diana, Gustavo, Lilia, Yetzubeli, Mauricio y Leo por sus ánimos y buenos deseos en la conclusión de este proceso.

A mis amigos cómplices en este andar: Ivonne, Jannu, Marisol, Toñita, Elizabeth y Gabriela.

A mis profesores quienes formaron parte importante en mi formación.

Índice

Resumen.....	7
Introducción.....	8
Capítulo I. Antecedentes.....	11
1.1. El desastre de 1999.....	15
1.2. Descripción del fenómeno hidrometeorológico de 1999.....	17
1.3. Cuantificación del desastre de 1999.....	18
1.4. Localización de la zona de estudio.....	20
1.5. Afectaciones en Filomeno Mata.....	22
Capítulo II. Marco conceptual y metodología.	24
2.1. Los fenómenos naturales y sus características.....	24
2.2. Desastre.....	25
2.3. Vulnerabilidad.....	26
2.4. Riesgo.....	27
2.5. Metodología. El estudio de la geomorfología aplicada.....	28
2.6. Procesos de remoción en masa.....	30
2.6.1. Desprendimientos o caídas.....	31
2.6.2. Vuelcos por desplome.....	32
2.6.3. Deslizamientos.....	33
2.6.4. Flujos.....	35

2.7. Fenómeno natural y procesos geomorfológicos.....	36
---	----

**Capítulo III. Fisiografía, clima, inestabilidades meteorológicas y geología de
Filomeno Mata.....38**

3.1. Ubicación por provincia fisiográfica.....	38
3.1.1. Provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental- Subprovincia Sierra Norte de Puebla.....	38
3.1.2. Eje Neovolcánico Mexicano.....	40
3.1.3. Planicie Costera del Golfo de México.....	40
3.2. Clima.....	40
3.3. Inestabilidades meteorológicas.....	42
3.4. Geología.....	43
3.4.1. Jurásico Medio e Inferior (areniscas, limolitas y lutitas).....	46
3.4.2. Jurásico Superior (calizas y lutitas).....	47
3.4.3. Cretácico Inferior (calizas).....	48
3.4.4. Cretácico Superior (calizas y lutitas).....	50
3.4.5. Paleoceno (lutitas, areniscas y conglomerados).....	52
3.4.6. Neógeno (volcánico básico).....	54
3.4.7. Neógeno (volcánico riolítico).....	55
3.4.8. Cuaternario aluvial.....	56

Capítulo IV. La geología y su relación con los procesos de ladera.....	58
4.1. Altimetría de Filomeno Mata.....	62
4.2. Pendientes de Filomeno Mata.....	65
4.3. Análisis Geomorfológico del territorio de Filomeno Mata.....	69
4.3.1. Cartografía geomorfológica.....	71
4.3.1.1. I Relieve endógeno modelado.....	73
4.3.1.2. II Relieve exógeno.....	77
4.4. Relación entre la geomorfología y los procesos de remoción en masa.....	92
Conclusiones.....	97
Bibliografía.....	100
Anexo 1.....	112

Resumen

Los estudios sobre los procesos de ladera son abordados principalmente desde la perspectiva de las ciencias de la Tierra; los enfoques, objetivos, métodos y análisis son diversos. En el ámbito de la geografía, en específico de la geomorfología, se privilegia el estudio de las formas del relieve, es decir, entender su origen, desarrollo, distribución y dinámica.

En 1999, la Sierra Norte de Puebla fue afectada por diversos fenómenos hidrometeorológicos; por un lado, la depresión tropical número 11, y por otro, la estacionalidad del frente frío número 5, situación que provocó lluvias intensas que afectaron la vertiente del Golfo de México: los estados perjudicados fueron Hidalgo, Puebla, Veracruz y Tabasco.

El 4 y 5 de octubre, la zona alta de montaña que corresponde con la porción sur y suroeste de la Sierra Madre Oriental, conocida como Sierra Norte de Puebla registró la mayor afectación ocasionada por las lluvias torrenciales con precipitaciones de más de 600 milímetros en 48 horas. Esto generó inundaciones y procesos gravitacionales que afectaron tanto a población urbana como a un sin número de población rural.

En este trabajo se presenta un estudio geomorfológico enfocado en identificar unidades de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en el territorio de Filomeno Mata, localizado en las inmediaciones de Puebla y Veracruz.

Los procesos de ladera tienen una distribución espacial y una dinámica temporal como parte de la evolución del relieve montañoso bajo situaciones determinantes como el clima y la geología que caracterizan a este territorio.

Introducción

Los estudios de procesos de remoción en masa o de ladera son abordados, principalmente, desde la perspectiva de las ciencias de la Tierra; los enfoques, objetivos, métodos y análisis son diversos. En el ámbito de la geografía no dejan de ser importantes ya que su estudio está enfocado en el grado de afectación que pueden tener en la sociedad.

Los movimientos en masa son fenómenos naturales influidos por la fuerza de gravedad y obedecen a condiciones geológicas y geográficas específicas de una zona. La Sierra Norte de Puebla, porción sur de la Sierra Madre Oriental, cada año es afectada por fenómenos hidrometeorológicos que desencadenan procesos de ladera y representan un peligro geomorfológico para el desarrollo de las actividades cotidianas de la población.

En este trabajo se presenta un estudio geomorfológico aplicado al territorio comprendido en la carta topográfica, escala 1:50 000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con el nombre de Filomeno Mata. En septiembre y octubre de 1999 se registraron lluvias extraordinarias en la Sierra Norte de Puebla como consecuencia de inestabilidades meteorológicas; por un lado, las depresiones tropicales 11, 12, 13 y 14 y, por otro lado, la estacionalidad de un frente frío. Estas lluvias detonaron el desborde de diversos ríos que inundaron comunidades enteras, así como la generación de procesos de remoción en masa que afectaron las vías de comunicación como caminos, carreteras y líneas telefónicas; dejaron sin servicios de luz y agua potable a la población y afectaron sus actividades económicas. Lamentablemente, también ocasionaron la pérdida de vidas humanas.

Cuando la cotidianidad de una población se ve interrumpida por procesos naturales, entonces representan un peligro, y en este sentido es la importancia y aportación del estudio geomorfológico a una porción de la Sierra Norte de Puebla, Filomeno Mata.

El desarrollo de este trabajo consistió en la realización de distintas etapas de investigación, análisis y comprobación en campo. Mismas que corresponden con cada uno de los capítulos que forman a este trabajo.

En el capítulo uno se abordan los antecedentes de los estudios previos que se han realizado en la Sierra Norte de Puebla, dejando expuesto que en esta porción de la sierra es donde menos estudios se han realizado. Así mismo, se describe el fenómeno meteorológico que generó el desastre de 1999 y por último, se presenta la localización y las afectaciones que tuvo Filomeno Mata y sus alrededores.

El marco conceptual y la metodología utilizada en este trabajo se abordan en el capítulo dos. Con respecto al primero, se presenta la descripción de los conceptos que ayudan a entender lo ocurrido en octubre de 1999. De una forma gradual se describe desde los fenómenos naturales y el momento en que se vuelven peligrosos para la población, cuando en el riesgo están implícitos el peligro y la vulnerabilidad, hasta llegar al momento en el que se hace el recuento de las pérdidas y daños, es decir, el desastre.

En cuanto a la metodología utilizada, se inicia con la descripción del objetivo de estudio de la geomorfología aplicada y la importancia de la interpretación y el análisis geomorfológico en la identificación y conceptualización de los procesos de remoción en masa, sus causas y efectos.

Así mismo, se describe el proceso de elaboración del mapa geomorfológico, el cual, por sí mismo implica una serie de técnicas y métodos propios, que posteriormente se verifican con el trabajo de campo.

Por último, en el capítulo tres se abordan las características geográficas de la zona de estudio. De tal manera que se describen las condiciones que favorecen y propician la presencia de fenómenos naturales que detonan los procesos de remoción en masa.

Por otro lado, se describe la geología. En la descripción de los procesos de ladera, se debe considerar la estructura y la litología en un ambiente húmedo para entender su dinámica y así poder caracterizarlos. Asimismo, en este apartado se incluye una relación de la geología con los movimientos de ladera.

Cabe mencionar que, con los mapas altimétricos y de pendiente, por un lado, están de apoyo para explicar su relación con la geología y, por otro, para tener una primera clasificación del relieve.

El capítulo se concluye con la presentación del mapa geomorfológico, el cual resulta útil y práctico para entender, en un modelo gráfico, la ubicación, distribución y dinámica del relieve de Filomeno Mata, Sierra Norte de Puebla.

Capítulo I. Antecedentes.

Los estudios sobre los procesos de ladera son abordados principalmente desde la perspectiva de las ciencias de la Tierra; los enfoques, objetivos, métodos y análisis son diversos. En el ámbito de la geografía, en específico de la geomorfología, se privilegia el estudio de las formas del relieve, es decir, entender su origen, desarrollo, distribución y dinámica.

En este sentido, existe una variedad de estudios que abordan los procesos de ladera que se han desarrollado en la Sierra Norte de Puebla. El incremento del número de publicaciones se dio después de 1999, año en el que ocurrió la mayor afectación en esta porción de la Sierra Madre Oriental y que, hasta ese momento, dentro de la historia geomorfológica de México, no se tenía registro alguno de la gran cantidad de procesos de remoción en masa ocasionados por lluvias intensas en un lapso de tres días.

A continuación, se presenta una tabla en donde se enlistan los trabajos realizados en esta porción del país. La mayor parte de ellos dirigidos por geomorfólogos y geólogos de los Institutos de Geografía y Geología de la UNAM, en particular por geomorfólogos mexicanos quienes desempeñan una práctica docente en licenciatura y posgrado, razón por la cual, en la mayoría de los casos, se tratan de tesis de licenciatura, maestría y doctorado, de las cuales, un gran número de ellas se publicaron en revistas especializadas.

También se incluyen algunos trabajos conjuntos, elaborados con estudiosos del ámbito de la Geografía humana. La tabla se estructura de la siguiente manera: una clasificación a *grosso modo* de la propuesta metodológica, el autor o autores, año de publicación y el título del trabajo. La ficha bibliográfica completa se encuentra en el apartado correspondiente de referencias bibliográficas.

Tabla. Antecedentes de casos de estudio relacionados con los procesos de ladera en la Sierra Norte de Puebla.

Propuesta: se basan en determinar la inestabilidad de laderas con base en la aplicación de sistemas de información geográfica y la percepción remota.		
Autor	Año	Título del proyecto de investigación
Flores-Lorenzo, P	2002	Inestabilidad de las laderas y riesgos asociados en Teziutlán, Puebla.
Flores-Lorenzo, P. y Alcántara-Ayala, I.	2002	Cartografía morfogenética e identificación de procesos de ladera en Teziutlán, Puebla.
López- Mendoza, M	2003	Diseño de un programa de prevención y mitigación de desastres asociados a inundaciones y procesos de remoción en masa en Zapotitlán de Méndez, Pue.
Marcos-López, J.	2003	Distribución espacial de los procesos de remoción en masa y riesgos asociados en el municipio de Tlatlauquitepec, Puebla.
Borja-Baeza, R. C.	2003	Análisis de susceptibilidad y riesgo asociados a procesos de remoción en masa en Zacapoaxtla, Puebla.
Ochoa-Tejeda, V.	2004	Propuesta metodológica para el estudio de inestabilidad de laderas a partir de los MDT y la percepción remota.
Borja-Baeza, R. C, Alcántara-Ayala, I.	2004	Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla.
Alcántara-Ayala, I., Esteban-Chávez, O., Parrot, J. F.	2006	Landsliding related to land-cover change: A diachronic analysis of hillslope inestability distribution in the Sierra Norte, Puebla, México.
Ochoa-Tejeda, V., Parrot, J. F.	2007	Extracción automática de trazas de deslizamientos utilizando un modelo digital de terreno e imágenes de satélite de alta resolución IKONOS. Ejemplo en la Sierra Norte de Puebla, México.

Alcántara-Ayala, I., Murillo-García, F. G.	2008	Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional.
Borja-Baeza, R. C., Alcántara-Ayala, I.	2010	Susceptibility to mass movement processes in the municipality of Tlatlauquitepec, Sierra Norte de Puebla.
Galindo-Serrano, J. A., Alcántara-Ayala, I.	2015	Inestabilidad de laderas e infraestructura vial: análisis de susceptibilidad en la Sierra Nororiental de Puebla, México.
Murillo-García, F. G., Alcántara-Ayala, I.	2017	Landslide inventory, Teziutlán municipality, Puebla, México.
Propuesta. Sus investigaciones consisten en relacionar la inestabilidad de laderas con las características del terreno, la litología involucrada, la permeabilidad y la distribución de los esfuerzos de los materiales.		
Hernández-Mena, Z.	2002	Estudio geológico y geotécnico del deslizamiento de Zapotitlán de Méndez, ubicado en la Sierra Norte del Estado de Puebla.
Capra-Pedol, L., Lugo-Hubp, J. I., Borselli, L.	2003a	Mass movements in tropical volcanic terrains: the case of Teziutlán (México)
Dávila-Hernández, N.	2003	Zonificación del peligro por procesos de remoción en masa con base en la aplicación de un análisis estadístico multivariado condicional; la barranca El Calvario, Teziutlán, Puebla.
Capra-Pedol, L., Lugo-Hubp, J. I., Dávila-Hernández, N.	2003b	Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: relación entre litología y tipo de movimiento.
Hernández-Madriral, V. M., Garduño-Monroy, V. H., Alcántara-Ayala, I.	2007	Estudio geológico para entender los procesos de remoción en masa en la región de Zacapoaxtla, Puebla, México.
Propuesta. Abordan los procesos de ladera desde un enfoque geomorfológico, relacionan la geología, litología y la dinámica del relieve y le dan una connotación desde la perspectiva de los riesgos y la vulnerabilidad.		

Lugo-Hubp, J., Vázquez-Conde, M., Melgarejo-Palafox, G., García-Jiménez, F., Matías-Ramírez, G.	2001	Procesos gravitacionales en las montañas de Puebla.
Lugo-Hubp, J., Zamorano-Orozco, J. J., Capra-Pedol, L., Inbar, M., Alcántara-Ayala, I.	2005	Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: Causas y efectos.
Capra-Pedol, L., Lugo-Hubp, J., Zamorano-Orozco, J. J.	2006	La importancia de la geología en el estudio de los procesos de remoción en masa: el caso de Totomoxtla, Sierra Norte de Puebla, México.
Zaragoza-Zúñiga, N.	2006	Procesos de ladera en la región de Cuetzalan; un enfoque geomorfológico.
Propuesta. Estudios geográficos en colaboración con especialistas en diversos campos de la geografía		
Oliva-Aguilar, V. R., Garza-Merodio, G. G., Alcántara-Ayala, I.,	2011	Configuration and temporal dimension of vulnerability: mestizo spaces and disasters in the Sierra Norte de Puebla.
Hernández-Aguilar, B., Ruiz-Rivera, N.	2016	The production of vulnerability to landslides: the risk habitus in two landslides-prone neighborhoods in Teziutlán, México.
Alcántara-Ayala, I., Garnica-Peña, R. J., Coll-Hurtado, A., Gutiérrez de MacGregor, M.T. (coords.)	2017	Inestabilidad de laderas en Teziutlán, Puebla. Factores inductores del riesgo de desastre.

La importancia de elaborar un inventario con los trabajos realizado de la Sierra Norte de Puebla radica en que, hasta antes de octubre de 1999, los estudios geográficos relacionados con esta zona se limitaban a ser regionales; trabajos que consistían en hacer descripciones geológicas o por provincias fisiográficas las cuales abarcan grandes

extensiones, pero había escasez de un análisis particular y a detalle de la mayor parte de este territorio.

1.1. El desastre de 1999.

¿Qué ocurrió en la Sierra Norte de Puebla en octubre de 1999 para que la comunidad científica volteara hacia esta parte del país?

Para entender los desastres ocurridos en la Sierra Norte de Puebla, es importante contextualizar tanto lo que se pronosticaba, como lo normal, lo esperable, lo cíclico de cada año y lo que naturalmente se ha presentado en esta porción del territorio nacional.

Cada temporada de lluvia, en las inmediaciones serranas de los estados de Veracruz y Puebla, se llegan a registrar hasta más de 4000 milímetros (mm) de precipitación pluvial. Y la causante es la entrada de vapor de agua proveniente del Golfo de México que, al subir por las laderas montañosas de la Sierra Madre Oriental, se condensa y precipita en grandes cantidades.

Asimismo, los frentes fríos provenientes del norte del continente —masas de aire frío que chocan con el aire cálido y húmedo del Golfo de México— favorecen la rápida condensación del vapor de agua que precipita en esta región.

De acuerdo con el pronóstico de la Comisión Nacional del Agua para la Región Golfo-Centro, se preveía fuertes precipitaciones para el periodo septiembre-octubre de 1999 estimadas entre 20 y 50% por encima de la media anual. Sin embargo, en los hechos la previsión fue conservadora, ya que en este lapso llovió un 300% por arriba de lo estimado.

Durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 1999, la coincidencia de varios fenómenos meteorológicos provocó precipitaciones intensas sobre una zona amplia de la vertiente del Golfo de México, generando escurrimientos extraordinarios, deslaves,

inundaciones, y el azolvamiento de presas, canales y arroyos. Los efectos producidos por los eventos meteorológicos extremos fueron agravados por varios factores a saber: por las condiciones particulares de la zona afectada, la falta de capacidad de regulación de las corrientes, la insuficiencia de obras de protección para las poblaciones, la invasión de las planicies de inundación y en algunos casos el desconocimiento de las condiciones de riesgo en los poblados, lo que contribuyó a magnificar los daños. (Bitrán, D; Rueda, S. y Salas, M. A. 2000, p. 125). (Figura 1)



Figura 1. La población vive en constante riesgo. Afectación de una vivienda por un proceso de ladera. Foto de Zaragoza, 2009.

1.2. Descripción del fenómeno hidrometeorológico de 1999.

A partir de la segunda semana de septiembre de 1999 se registraron una serie de lluvias intensas que afectaron la vertiente del Golfo de México. Sin embargo, la cantidad de precipitación en un tiempo corto en los primeros días de octubre generó inundaciones y procesos gravitacionales que afectaron tanto a población urbana como a un sin número de población rural. Los estados más afectados fueron Hidalgo, Puebla, Veracruz y Tabasco.

La zona alta de montaña que corresponde con la porción sur y suroeste de la Sierra Madre Oriental, conocida como Sierra Norte de Puebla registró la mayor afectación ocasionada por las lluvias torrenciales. En las estaciones meteorológicas de Teziutlán y Huachinango los días 4 y 5 de octubre señalan precipitaciones de más de 600 mm en 48 horas.

En el siguiente cuadro se muestran los registros de las estaciones meteorológicas localizadas en la parte alta de la Sierra Norte de Puebla.

Estación meteorológica	Periodo del 3 al 6 de octubre y cantidad de lluvia en milímetros.			
	3	4	5	6
Teziutlán	35	305	360	55
Tenango	10	420	140	55
Xicotepec	8	150	326	65
Huachinango	8	420	210	65

Cuadro elaborado con información de: mapas de isoyetas (Bitrán, 2000); varios reportes de CONAGUA (1999).

De acuerdo con los valores que se tenían registrados en estas estaciones meteorológicas, los días 4 y 5 de octubre cubrieron el 35% de la lluvia media anual para esta zona norte de la región Golfo Centro.

Así mismo esa cantidad corresponde con el 38% de los 1732 mm de precipitación media anual de la región. Hasta el año de 1999, las inundaciones pluviales y fluviales en el estado de Veracruz y Puebla, fueron las más fuertes registradas en los últimos 40 años (Bitrán, 2000; Fernández y Macías, 2009; Lugo et al., 2005).

Dichas lluvias torrenciales se debieron a la combinación de varios fenómenos hidrometeorológicos. El primero de ellos fue la onda tropical número 35 y un sistema de baja presión atmosférica localizado en la sonda de Campeche. Situaciones que evolucionaron hasta formar la depresión tropical número 11 y que, a su vez interactuó con la estacionalidad del frente frío número 5.

Asimismo, estos fenómenos se juntaron con las depresiones tropicales 12, 13 y 14, concentrándose el máximo de lluvia en la región Golfo-centro y en la porción correspondiente con la Sierra Madre Oriental. (Comisión Nacional del Agua: Servicio Meteorológico Nacional, varios reportes 1999; Bitrán, 2000)

1.3. Cuantificación del desastre de 1999.

De acuerdo con Lugo et al., (2005), un área aproximada de 5,000 km² fue afectada por miles de procesos gravitacionales de caída, deslizamiento, flujo y combinación de estos.

El reblandecimiento de los suelos y las inundaciones fueron las principales causas de daños estructurales a las viviendas, escuelas, clínicas, caminos, telefonía, electricidad,

servicio de agua, cultivos, entre otros. Los costos se estimaron en más de 2,300 millones de pesos en el estado de Puebla, los poblados más afectados fueron aquellos que están clasificados como de elevada marginalidad en el país y cuya principal actividad es la agricultura de subsistencia (Bitrán, 2000)

Un total de 81 municipios fueron afectados en la porción de Puebla, asimismo las pérdidas humanas fueron de 263 y 45 personas desaparecidas. Se contabilizaron 16,511 viviendas dañadas, 199 escuelas, 50 inmuebles del patrimonio cultural, 59 edificios públicos federales y ocho centros de salud. Las medidas que tomaron ante este fenómeno tanto el gobierno estatal como el federal fue el de rescate, rehabilitación y de reconstrucción de los daños (Bitrán, 2000; Lugo et al., 2005).

El 11 de octubre, el presidente en turno dio la declaratoria de zona de desastre, por lo que el financiamiento del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) se asignó a esta zona. Los recursos se destinaron principalmente a los ámbitos de:

- Comunicaciones, debido a la destrucción parcial o total de caminos y puentes.
- Vivienda, en donde la Secretaría de Desarrollo social (SEDESOL) distribuyó los recursos para la reparación o reconstrucción de éstas.
- Agua y saneamiento, que estuvo a cargo de la Comisión Nacional del Agua.

Otros rubros considerados fueron servicios de salud, luz, educación, agricultura, recursos naturales, etc.

A pesar de que en la Sierra Norte de Puebla la ayuda federal llegó relativamente rápido y esto debido a la afectación de las carreteras y caminos, estos daños pudieron ser menores de haber contado con acciones preventivas y de alertamiento a la población (Fernández y Macías, 2009)

El fenómeno natural de las lluvias torrenciales de 1999 y sus efectos, como son los procesos de remoción en masa y las inundaciones tuvieron repercusiones sociales, políticas, económicas y naturales al grado de afectar la sustentabilidad de desarrollo de la región.

No obstante, la región de la Sierra Norte de Puebla ha sido afectada históricamente por lluvias con intensidad similar a la de 1999, algunas de ellas registradas en 1944, 1954, 1955, 1967, 1974 1990 y en 1993; los fenómenos meteorológicos han sido diversos: perturbación tropical, ciclones tropicales, depresiones tropicales y la combinación de estos con los frentes fríos. Pero, debido a la poca población que había no se tenían registros de daños de la magnitud de 1999 (Bitrán, 2000; Lugo et al., 2005).

Asimismo, los procesos de remoción en masa tienen una distribución espacial y una dinámica temporal. Lo sucedido en 1999 solo fue el antecedente de lo que ha ocurrido y seguirá sucediendo en esta región, como parte de la evolución del relieve montañoso bajo situaciones determinantes como es el clima y la geología que caracterizan a esta zona geográfica.

1.4. Localización de la zona de estudio.

A raíz de lo acontecido en octubre de 1999 es que surge el interés de contribuir en la identificación de los procesos de remoción en masa, por medio de la elaboración del mapa geomorfológico de la porción NW de la Sierra Norte de Puebla, en particular en el área comprendida en la carta topográfica de Filomeno Mata con clave F14D84 de INEGI (1983), escala 1:50 000. Por lo que abarca tanto a municipios del estado de Veracruz como del estado de Puebla (figura 2). Así que, para fines prácticos, en lo sucesivo solo se

mencionará Filomeno Mata. Las coordenadas geográficas extremas que abarca son N20°00', W97°40' y N20°15', W 98°00'.

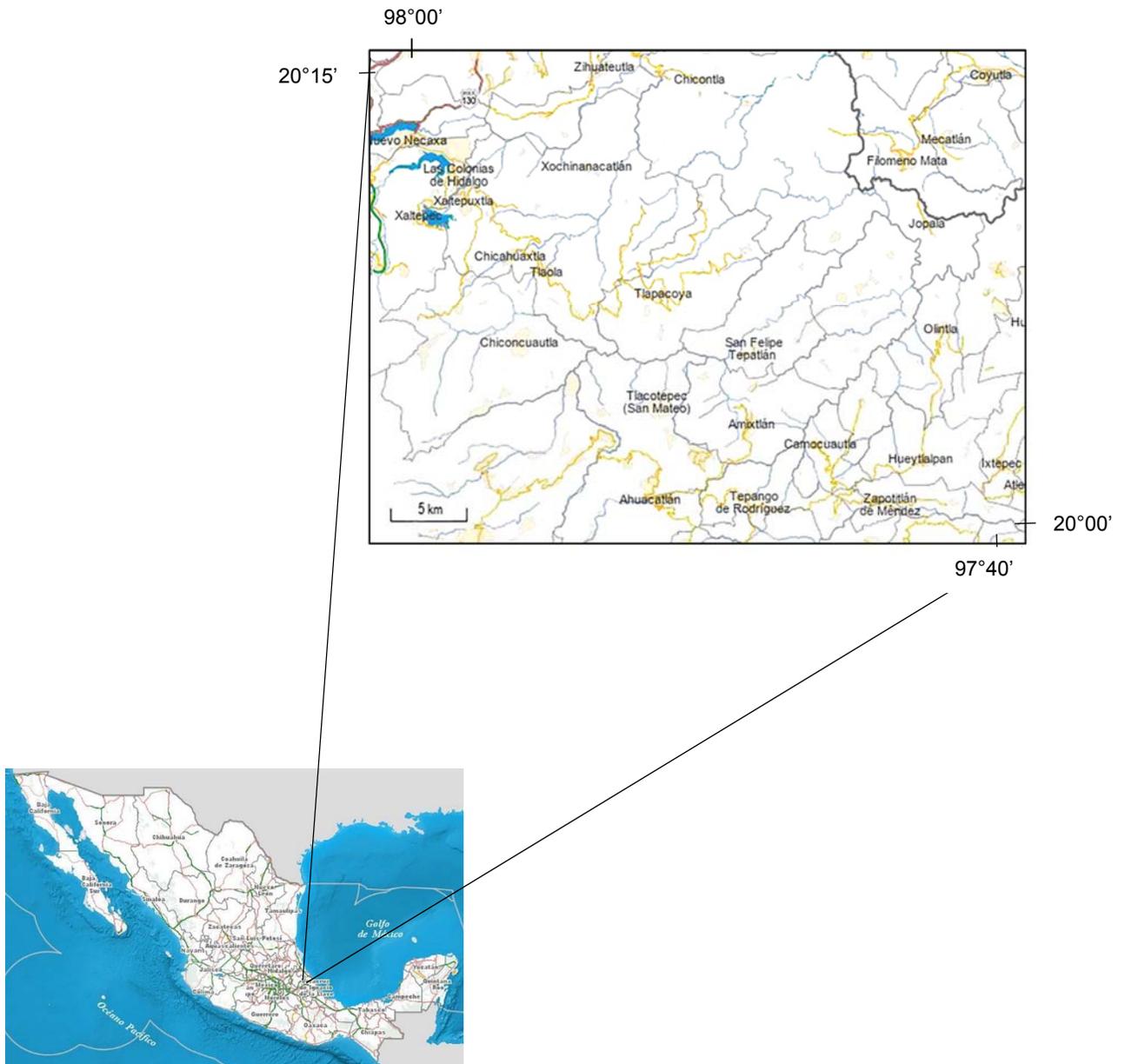


Figura 2. Localización de la zona de estudio en el contexto nacional. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2020

Cabe mencionar que, de acuerdo con la lista de los trabajos realizados en la Sierra Norte de Puebla, resalta la carencia de estudios en esta zona de estudio, exceptuando Zapotitlán de Méndez. Los motivos pueden ser diversos, como se pudo corroborar en campo, desde la falta de vías de comunicación, la dificultad para llegar a las poblaciones o porque son comunidades muy pequeñas.

1.5. Afectaciones en Filomeno Mata.

A continuación, se presentan fragmentos de algunas notas periodísticas relacionadas con la zona de estudio. Los nombres de los lugares comprendidos en la carta Filomeno Mata aparecen subrayadas.

...”En Chicontla y Tenampulco se vivieron momentos dramáticos cuando el agua subió hasta dos metros de altura, muchas familias se encuentran en los techos de sus viviendas sin poder ser rescatadas. El gobierno dispuso de dos helicópteros, pero las naves no pudieron ser utilizadas por la poca visibilidad.

Las lluvias comenzaron a caer hace 13 días, pero fue la madrugada de este martes cuando se dio la mayor precipitación de los últimos 30 años provocada por la depresión tropical número 11 que se localizó a 90 kilómetros al norte de Coatzacoalcos, Veracruz.

...el mayor temor era que seguía lloviendo con gran intensidad, lo que había provocado que las presas Nuevo Necaxa y Tenango estuvieran a punto de desbordarse. Tal situación pone en peligro a unas 8 mil personas que habitan en 30 comunidades de los alrededores...De manera preventiva el ayuntamiento de Huauchinango evacuó a 2 mil personas de la comunidad de Tenango de las Flores. Asimismo, se retiró a los trabajadores de dos plantas de la Compañía de Luz y Fuerza, empresa que surte de energía eléctrica a una parte del Distrito Federal” (La Jornada de Oriente, 1999, octubre 5. En: <https://www.jornada.com.mx/1999/10/06/est-unos.html>)

“...Pobladores de Tapayula han dicho que al menos habría 250 personas bajo el lodo y los escombros. Según esas versiones, durante los días de intensas precipitaciones pluviales, a principios de este mes, la mayoría de los pobladores se refugió en la iglesia del pueblo, la cual se encontraba en la cima de un cerro. Sin embargo, los deslaves provocaron que el templo se colapsara. Pocas personas lograron sobrevivir a la tragedia.

Por otra parte, un balance difundido por el Centro de Información de la Sierra Norte, señala que a 16 días de la desgracia continúan aislados 16 municipios: Jonotla, Tuzamapan de Galeana, Xochitlán de Vicente Suárez, Nauzontla, Huitzilán de Serdán, Zapotitlán de Méndez, Amixtlán, Camocuautla, Coatepec, Hermenegildo Galeana, Olintla, San Felipe Tepatlán, Tepango de Rodríguez, Tepetzintla, Caxhuacan, Atlequizayán y Chiconcuautla” (Hernández, 1999, octubre 21. En: <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/1999/10/21/oriente-e.htm>) (Figura 3)

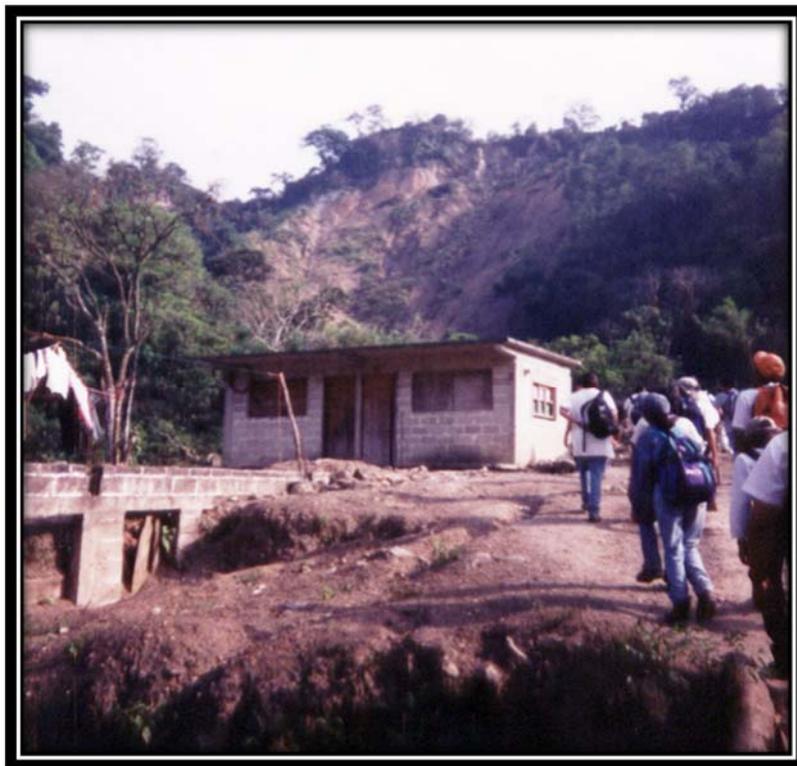


Figura 3. Afectación a vivienda por proceso de ladera en el poblado de Zapotitlán de Méndez. Foto. Práctica de campo, Zaragoza, 2001.

Capítulo II. Marco conceptual y metodología.

Los procesos de remoción en masa son fenómenos naturales que se han presentado a lo largo de la evolución de la superficie terrestre. Su estudio depende del enfoque con que se aborde. En este sentido, la geomorfología aplicada brinda una metodología que ayuda a identificar, analizar, cartografiar e interpretar los componentes de la naturaleza y su relación con las actividades humanas, de tal manera que en esta relación se pueda explicar los procesos que modifican el relieve de Filomeno Mata y sus alrededores, así como las afectaciones que generan a la población.

2.1. Los fenómenos naturales y sus características.

Los *fenómenos naturales* son toda aquella manifestación de la naturaleza y se refiere a cualquier expresión que adopta como resultado de su funcionamiento interno y externo, por lo que se deben considerar como elementos activos de la geomorfología terrestre (Romero y Maskrey, 1993). Los procesos actuales que modifican a la superficie terrestre se clasifican en dos: endógenos y exógenos. El primero relacionado con la manifestación de la energía del interior de la Tierra y la segunda con los sucesos que se originan en la atmósfera.

Algunas de sus características son:

- No se presentan aislados y están asociados a otros.
- En su mayoría son cíclicos e incluso esperables, es decir previsibles; y algunos son de aparición extraordinaria y sorprendente, imprevisibles.

Los fenómenos naturales son inherentes al peligro, es decir, el peligro existe por causas naturales y es latente, solo por mencionar algunos casos: volcán, falla geológica, pendiente abrupta, entre otros (Lugo e Inbar, 2002). Se consideran peligrosos cuando se toma en cuenta su tipo y magnitud, con esto se refiere a que son potencialmente dañinos debido a lo sorpresivo de su ocurrencia, puede ser permanente o pasajero, y a la extensión de su impacto.

En este sentido, no todos los fenómenos naturales extraordinarios o sorprendentes generan un desastre natural, es decir un daño. También aquellos cíclicos y esperables pueden ocasionar un desastre cuando aumentan su intensidad (Pérez y Vrba, 2017; Romero, 1993).

2.2. Desastre.

Cuando se habla de desastre, se trata de la correlación entre los fenómenos naturales peligrosos, como un terremoto, huracán, maremoto, entre otros, y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables, como una situación económica precaria, viviendas mal construidas, inestabilidad de los suelos, mala ubicación de la vivienda, entre otros (Romero, 1993).

Los desastres generados por fenómenos naturales tienen las siguientes características:

- Son de gran magnitud.
- Son repentinos y, por lo general, imprevisibles, de corta duración y

- Causan víctimas humanas y daños económicos considerables (Lugo e Inbar, 2002).

2.3. Vulnerabilidad.

Cuando se habla de las condiciones de vulnerabilidad se refiere a la exposición o susceptibilidad de sufrir daño, así como la dificultad para recuperarse del mismo. Por lo que, la vulnerabilidad considera tanto condiciones socioeconómicas como físicas.

En Romero y Maskrey (1993) abordan el tema de la vulnerabilidad de los pueblos, la cual consiste en tres aspectos y que se precisan mencionar para entender la importancia y aplicación de un estudio geomorfológico en Filomeno Mata y zonas aledañas.

1. Cuando la gente ha ido poblando terrenos que no son buenos para la vivienda, por el tipo de suelo, por su ubicación inconveniente con respecto a deslizamientos, avalanchas, entre otros.
2. En el momento en que se construyen casas precarias, sin buenas bases o cimientos, de material inapropiado para la zona, que no tienen la resistencia adecuada, etc.
3. Al no contar con las condiciones económicas que permitan satisfacer las necesidades humanas (dentro de las cuales debe contemplarse la creación de un hábitat adecuado)

Todos estos son elementos causantes de la vulnerabilidad física que presentan algunos pueblos.

Asimismo, estos autores también refieren la existencia de dos tipos de vulnerabilidad, por origen y progresiva. La primera consiste en el establecimiento de

viviendas con poco o nulo criterio de seguridad. La vulnerabilidad progresiva consiste en que, una vez construida la infraestructura de la población, con el tiempo se deteriora y se le debe dar mantenimiento, que, en ocasiones es precario.

2.4. Riesgo.

En cuanto al riesgo, se trata de la probabilidad de que ocurra un acontecimiento con consecuencias negativas a partir de un proceso natural, en otras palabras, el riesgo está en función de la distancia al foco de peligro y, además, del tiempo que se requiere para ponerse a salvo (Lugo e Inbar, 2002; Pérez y Vrba, 2017). De acuerdo con Maskrey (1993), hay un alto riesgo de desastre si uno o más fenómenos naturales peligrosos ocurren cuando un lugar se encuentra en situación de vulnerabilidad.

Finalmente, los conceptos antes mencionados nos llevan a entender los efectos del desastre como el producto de la interacción de tres sistemas:

1. El medio físico, con sus características demográficas y sociales.
2. La infraestructura, que incluye caminos, puentes, puertos y obras públicas, y
3. Las viviendas de la población (Lugo e Inbar, 2002).

Los fenómenos naturales son parte del sistema terrestre; por un lado, son benéficos al crear condiciones para la vida y, por otro lado, tienen la fuerza para la destrucción. En la medida en que mejor se conozcan: origen, distribución, extensión y los alcances de este, es que se pueden generar las medidas preventivas para aminorar el impacto de dichos sucesos.

2.5. Metodología. El estudio de la geomorfología aplicada.

El campo de estudio de la geomorfología es amplio y diverso, así como sus métodos y técnicas, es por ello que es imprescindible acotar el alcance de este trabajo. Por lo que, se parte de la definición de geomorfología y su objeto de estudio.

La Geomorfología es la ciencia que tiene como objeto de estudio la interpretación de las formas de la superficie terrestre y en particular de las causas que la generan y modifican (Panizza, 1993).

Existen diversos objetivos fundamentales dentro de la geomorfología aplicada, su selección y aplicación depende del caso a tratar. De acuerdo con Lugo Hubp (1988), se empleará la clasificación del relieve en formas definidas por los procesos que les dieron origen, así como el conocimiento de los procesos actuales que modifican la superficie terrestre.

Es así que en este trabajo se presenta el mapa geomorfológico de Filomeno Mata y sus alrededores, enfocado a los procesos de remoción en masa que modifican el relieve y los cuales han ocasionado daños a la sociedad y a su infraestructura.

En este sentido, el estudio geomorfológico implica en su procedimiento una parte científica, en donde se adquieren los conceptos básicos a tratar como es el conocimiento de los procesos de remoción en masa, sus causas y efectos.

Otra parte que se aborda en este proyecto es un método científico empírico que se elabora en gabinete, el cual consiste en el análisis sistemático de las fotografías aéreas de INEGI (1995), escala 1:75 000. (figura 4)

Posteriormente, con la información obtenida se elaboró la cartografía en escala de detalle 1:50 000, en el cual se presenta a manera de inventario los procesos de remoción en masa, considerando el tipo de movimiento.



Figura 4. Proceso de fotointerpretación en gabinete y su verificación en campo. Fotografías de Zaragoza: superior 2009, inferior derecha 2001.

En este proceso, la elaboración del mapa geomorfológico, por sí mismo, implica una serie de técnicas y métodos los cuales permiten elaborar un nuevo documento en el que se plasma el objeto estudiado. La utilidad y la practicidad que tiene el mapa es que se trata de un modelo gráfico del territorio de Filomeno Mata y áreas aledañas.

Finalmente, una parte imprescindible en el método geomorfológico es el trabajo de campo, con el cual se comprueba y se complementa el trabajo de gabinete.

2.6. Procesos de remoción en masa.

La ocurrencia de procesos geomorfológicos en algunos casos puede cambiar el ambiente y la cotidianidad de una sociedad; esta asociación se entiende como peligro geomorfológico y dentro de ellos se encuentran los procesos de remoción en masa o procesos de ladera.

La importancia de clasificarlos es que, de acuerdo con sus características, se les otorga una identidad que se asocia a un concepto, este último integrado en un lenguaje científico aceptado y reconocido. Las clasificaciones son numerosas y diversas de acuerdo con la época y el contexto en el que se generan los movimientos, asimismo fueron varios los autores que trabajaron los conceptos, como: Sharpe, 1938; Varnes, 1958 y 1978; Zaruba y Mencl, 1969; Crozier, 1986; Dikau et al., 1996; entre otros. (García,1995; Alcántara, 2000; Corominas, 2000; Ayala y Olcina, 2002).

Sin embargo, las más usadas son las realizadas por Varnes (1978), Hutchinson (1988), EPOCH (1993) y Dikau (1996), quienes toman en cuenta el tipo de movimiento, el material involucrado y la combinación de estos.

Es así que los procesos de remoción son movimientos de una masa de roca, suelos o detritos ladera abajo como resultado de la influencia de la gravedad, y antes de que se produzca el movimiento intervienen varios procesos que debilitan el material que forma la pendiente.

Las causas pueden ser por diversos agentes como son: debilidad estructural, pendiente elevada, lluvias intensas, permeabilidad del suelo, sismos, efecto de zapa fluvial, efecto de aguas subterráneas, escasez de vegetación y actividad humana (Parrilla y Palacios, 1995; García, 1995 y Alcántara, 2000)

Los rasgos morfológicos de los procesos de remoción en masa son las manifestaciones del tipo de desplazamiento que se llevó a cabo en el proceso. Cabe destacar que en general se tratan de movimientos complejos, es decir, la combinación de dos o más tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, expansiones laterales y flujos (Alcántara, 2000; Corominas, 2000).

Para fines de este estudio y de acuerdo con la fotointerpretación realizada en gabinete, así como con lo observado en trabajo de campo es que se hará énfasis en los movimientos de caídas, vuelcos, deslizamientos y flujos.

2.6.1. Desprendimientos o caídas.

Se origina por el despegue de una masa de suelo o roca de una pared empinada o acantilado. El movimiento tiene lugar mediante caída libre y posterior rebote o rodadura. Es frecuente que, al impactar contra la superficie del terreno, la masa caída se rompa en multitud de fragmentos. El movimiento suele ser rápido.

La rotura, en general, se produce por deslizamiento o vuelco de pequeña envergadura, proporcionando a la masa despegada una velocidad inicial.

La propagación de los desprendimientos en laderas con pendientes superiores a los 76° se produce preferentemente por caída libre, por debajo de este ángulo los impactos contra el terreno son frecuentes mientras que en laderas de menos de 45° la propagación se realiza por rodadura y, eventualmente, por deslizamiento (figura 5).

Las caídas con una trayectoria básicamente vertical, desarrollados en acantilados por la socavación efectuada por un río, el oleaje o la meteorización y disgregación de las

rocas a su pie son consideradas colapsos (García-Yagüe y García-Álvarez, 1988, en: Corominas 2000).

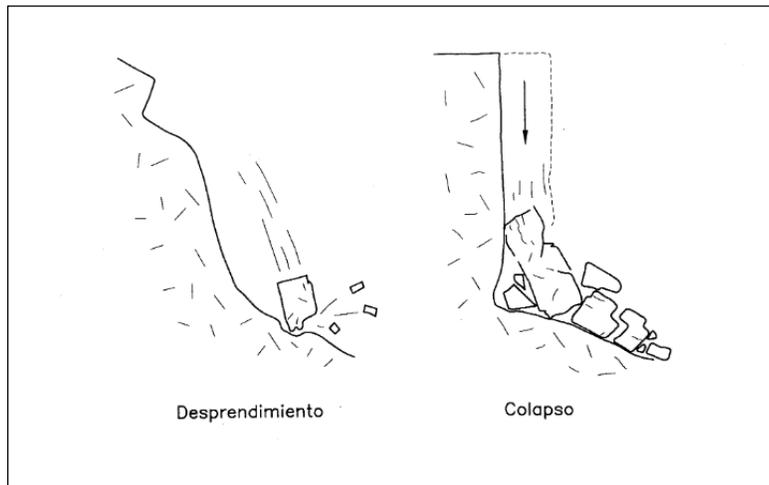


Figura 5. Mecanismo de desprendimiento y colapso (Corominas y García Yagüe, 1997, en: Corominas, 2000).

2.6.2. Vuelcos por desplome.

Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. La fuerza desestabilizadora es la gravedad, así como el empuje ejercido por el terreno adyacente o los fluidos (agua o hielo) en las grietas.

En este tipo de movimiento, la parte movida cae con un movimiento brusco de giro, al menos inicial, apoyado en su base externa (figura 6). Estos movimientos se producen en bordes acantilados rocosos o de materiales areno-arcillosos compactados. Si la ladera es empinada, las roturas por vuelco pueden transformarse en caídas (Corominas, 2000).

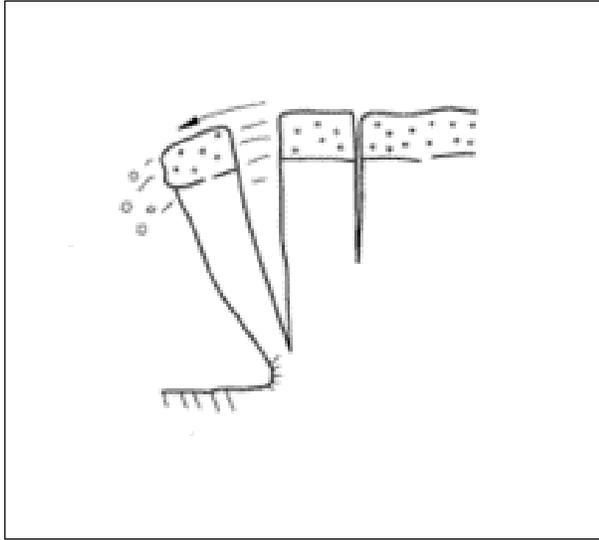


Figura 6. Vuelco o desplome (Corominas y García Yagüe, 1997, en: Corominas, 2000)

2.6.3. Deslizamientos.

Se trata de un desplazamiento ladero abajo de una masa de suelo o roca, que tiene lugar predominantemente sobre una o más superficies de rotura. Elementos característicos de este tipo de movimiento son la presencia de superficies de rotura definidas y la preservación, a grandes rasgos, de la forma de la masa desplazada (Alcántara, 2000; Corominas, 2000).

Los deslizamientos se pueden producir de diferentes maneras, es decir, de manera lenta o rápida.

Deslizamientos rotacionales: la rotura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro según un eje situado por encima del

centro de gravedad de la masa deslizada. El material de cabecera efectúa una inclinación contra ladera, generando depresiones donde se acumula el agua e induce nuevas reactivaciones (figura 7).

Este tipo de mecanismo es característico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos intensamente fracturados. En materiales arcillosos, especialmente si hay presencia de agua, el pie puede evolucionar hacia un deslizamiento de tierras o flujo de tierras (Alcántara, 2000; Corominas, 2000).

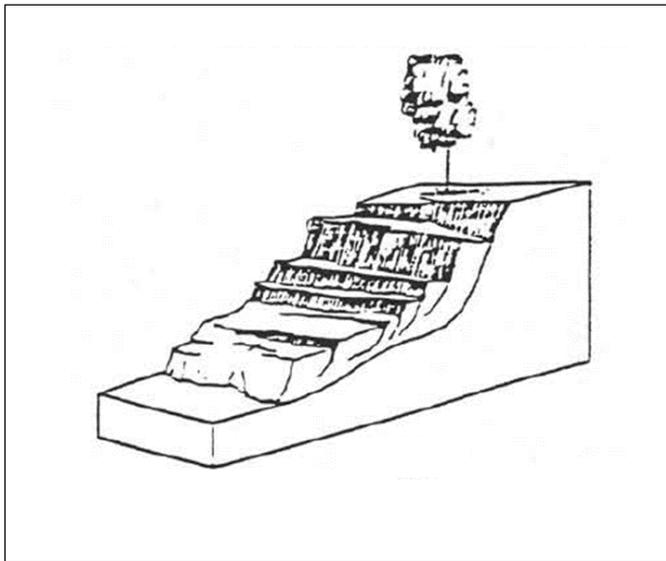


Figura 7. Deslizamiento rotacional (Cenapred, 1996).

2.6.4. Flujos.

Son movimientos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. El movimiento de los flujos es parecido al de un fluido viscoso.

Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente por lo que, a menudo, adopta formas lobuladas cuando el movimiento se lleva a cabo en materiales cohesivos, y se forman conos de eyección cuando afectan a materiales granulares (Alcántara, 2000; Corominas, 2000).

En la naturaleza es frecuente encontrar que un movimiento de ladera inicie con un deslizamiento y en su desarrollo el material pierda cohesión, se incorpore agua y al bajar por la ladera, termine como un flujo (figura 8).

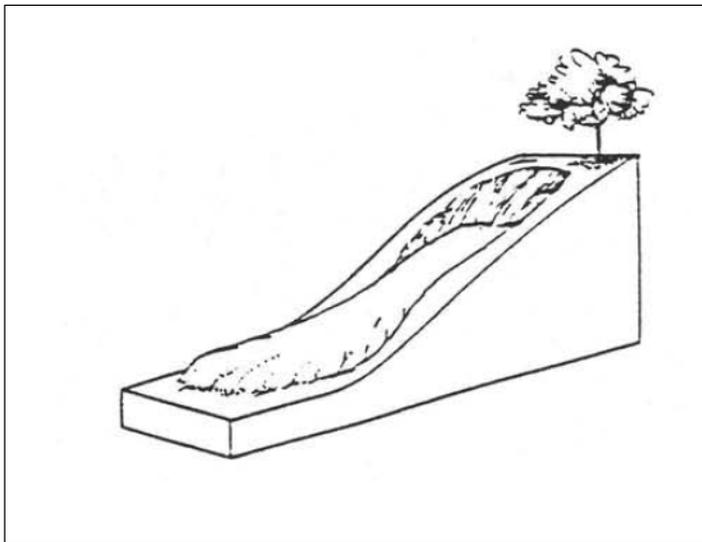


Figura 8. Flujo (Cenapred, 1996).

2.7. Fenómeno natural y procesos geomorfológicos.

Los procesos de remoción en masa representan un fenómeno de la naturaleza que se presentan a lo largo del tiempo, es decir, cuando las condiciones geológicas originales experimentan alteraciones progresivas y sus formas de relieve se encuentran sujetas a las condiciones climatológicas, hidrometeorológicas y de la actividad humana.

Algunos de los agentes detonantes a considerar para la zona de estudio son:

- Pendiente de la ladera: las partículas granulares no consolidadas del tamaño de las arenas o más gruesas adoptan una pendiente estable denominada ángulo de reposo, este es el ángulo más empinado en el cual el material se mantiene estable. Sin embargo, bajo condiciones de saturación de humedad, por socavación fluvial o por modificación humana, como puede ser un corte para construir caminos, carreteras o puentes, es que se originan movimientos de remoción en masa, los cuales van desde los superficiales hasta los de mayor profundidad.
- Los sismos son otro factor que puede desencadenar procesos de ladera. Asimismo, si hay agua en los materiales susceptibles a caer, entonces con el movimiento pierden su resistencia y se desplazan. Para el caso de la Sierra Norte de Puebla no ha sido una condición determinante, sin embargo, no se descarta su intervención.
- Actividad humana. Si bien no es un fenómeno natural como tal, sí es un agente desencadenador de los procesos de ladera. Una de las condicionantes para que se lleve a cabo es la ausencia total o parcial de la vegetación. Cuando se elimina la cobertura vegetal, los suelos quedan desprotegidos y se desplazan pendiente abajo. En Filomeno Mata y sus alrededores, la deforestación se realiza para la construcción de viviendas, el cultivo de café y maíz, principalmente. Así mismo, una necesidad de la población es tener acceso a caminos, carreteras y puentes como vías de

comunicación, situación que implica talar la vegetación, así como el corte de las montañas para la traza de carreteras.

En este proceso de construcción, los movimientos de remoción en masa se generan cuando se degradan las condiciones iniciales de resistencia y deformabilidad de los materiales preexistentes, por lo que se puede generar un desastre que afecte a la población.

- Efecto del agua, la región de Filomeno Mata, en la Sierra Norte de Puebla, geográficamente se encuentra en la zona intertropical por lo que las lluvias de tormenta tropical son frecuentes; además, en la estación invernal, el impacto de los frentes fríos también ocasiona precipitaciones. Estas circunstancias facilitan el movimiento de la capa superficial de suelo, así como la filtración de agua por las grietas alteradas tanto de roca masiva como de rocas granulares, por lo que se produce el movimiento de ladera.

Las afectaciones que generan estos movimientos del terreno, son diversos, desde la pérdida de la cosecha de maíz o café, daños a las viviendas, la destrucción parcial o total de carretes, caminos, puentes, así como otros servicios, incluida la pérdida de vidas humanas.

Es por esto que surge el interés por realizar la cartografía geomorfológica a detalle para tener un reconocimiento del terreno y la identificación de los procesos de remoción en masa que afectan a este territorio.

Capítulo III. Fisiografía, clima, inestabilidades meteorológicas y geología de Filomeno Mata.

El relieve de la República Mexicana es diverso en cuanto a origen, edad y forma, así mismo, los factores geográficos como localización, altitud, clima, flora y uso antrópico es lo que hacen que existan una gran variedad de paisajes.

Para entender las particularidades de la zona de estudio se parte de su localización y descripción en su contexto de provincia fisiográfica.

3.1. Ubicación por provincia fisiográfica.

El área de estudio, de aproximadamente 960 kilómetros cuadrados, se refiere al territorio comprendido en la carta topográfica Filomeno Mata con clave F14D84 de INEGI (1983), escala 1:50 000. Las coordenadas geográficas extremas que abarca son N20°00', W97°40' y N20°15', W 98°00'. Localizada dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental (SMO).

3.1.1. Provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental- Subprovincia Sierra Norte de Puebla

Sierra Madre Oriental: su descripción consiste en que es uno de los distintivos orográficos que forman parte del territorio mexicano, con más de 800 km de longitud y de 80 a 100 km de amplitud. Se extiende desde Texas, en Estados Unidos, con una continuidad en los estados mexicanos de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y Puebla, en este último la Sierra Madre Oriental se ve

interrumpida por el Eje Neovolcánico Mexicano para luego surgir en Veracruz y el norte de Oaxaca. (Eguiluz, Aranda y Marrett, 2000)

Está compuesta en su mayoría por rocas sedimentarias marinas. De acuerdo con Lugo (1990), se considera como un conjunto de sierras plegadas de origen sedimentario datadas del Mesozoico. En superficie prevalecen las rocas calizas cretácicas, en las cuales se han formado diversas formas cársticas, tanto subterráneas como superficiales.

En cuanto a su morfología se trata de una estructura montañosa que presenta valles con un importante desarrollo en la vertical, así como cañones con perfil transversal en forma de "V" y en algunos de ellos se presentan paredes escalonadas que se van estrechando hacia la parte más profunda.

La SMO, a su vez, se divide en subprovincias, una de ellas y la de interés para este trabajo es la Sierra Norte de Puebla (SNP), la cual corresponde con su extremo meridional y se encuentra en territorio poblano y tiene continuidad hacia el estado de Hidalgo.

Se caracteriza porque prevalecen en su superficie rocas sedimentarias de estructura de rocas plegadas en estratos de grosor delgado a mediano. Se trata de secuencias de rocas del Mesozoico que en planta se observa como una franja estrecha con orientación al nor-noroccidente con aproximadamente 50 km de ancho y 100 km de largo (Lugo et al., 2005)

La SNP limita con dos provincias fisiográficas, por un lado, el Eje Neovolcánico Mexicano y por otro la Planicie Costera del Golfo de México. Aunque geográficamente la zona de estudio no se localiza en estas provincias, es importante mencionarlas ya que sus características influyen en geología, clima, hidrología y flora en Filomeno Mata y alrededores. Por lo que se describirán a grandes rasgos.

3.1.2. Eje Neovolcánico Mexicano.

El Eje Neovolcánico Mexicano, originado por la subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa Norteamericana, inicia a fines del Oligoceno y continúa su desarrollo en el Neógeno Cuaternario. Se caracteriza por ser una serie de volcanes alineados y de acuerdo con Lugo (1990), consiste en una serie de planicies escalonadas que se extienden desde las costas de Colima-Nayarit, hasta las costas de Veracruz.

Con respecto a la zona de estudio, existen superficies cubiertas de ceniza volcánica con espesores diversos, provenientes de la Caldera de los Humeros.

3.1.3. Planicie Costera del Golfo de México.

La Planicie costera del Golfo de México, se extiende de forma paralela a la costa del Golfo de México, desde el río Bravo en el norte, hasta la zona del río Nautla, al sur en Veracruz, donde se interrumpe por el Eje Neovolcánico Mexicano. Su límite occidental es la SMO y el oriental es el Golfo de México, vertiente en donde desaguan los ríos provenientes de la SMO.

3.2. Clima.

El clima es fundamental para entender la dinámica del relieve, ya que, por un lado, modela las formas de relieve, por otro, determina la distribución de la vegetación y, en conjunto, se ve reflejado en las actividades económicas de Filomeno Mata y sus alrededores.

De acuerdo con Vidal (2005), el clima que prevalece en esta porción de la Sierra Norte de Puebla es de Cálido Húmedo, este tipo de clima se extiende por la vertiente del Golfo de México y va desde el nivel del mar hasta aproximadamente unos 800 a 1000 m.

En las porciones serranas de los estados de Veracruz y Puebla se llegan a registrar precipitaciones de 2000 a 4000 mm anuales. Esto se debe a su localización, altitud y relieve, además de elementos como temperatura, humedad, presión atmosférica y dirección del viento (figura 9).

Por latitud, esta porción del país pertenece a la zona intertropical de convergencia, por lo que la temperatura oscila entre los 22° y 26°C anuales. Asimismo, la Sierra Madre Oriental es barlovento a los vientos alisios cargados de humedad proveniente del Golfo de México, por lo que la humedad se condensa y precipita la mayor parte del año, intensificándose en los meses veraniegos e invernales.

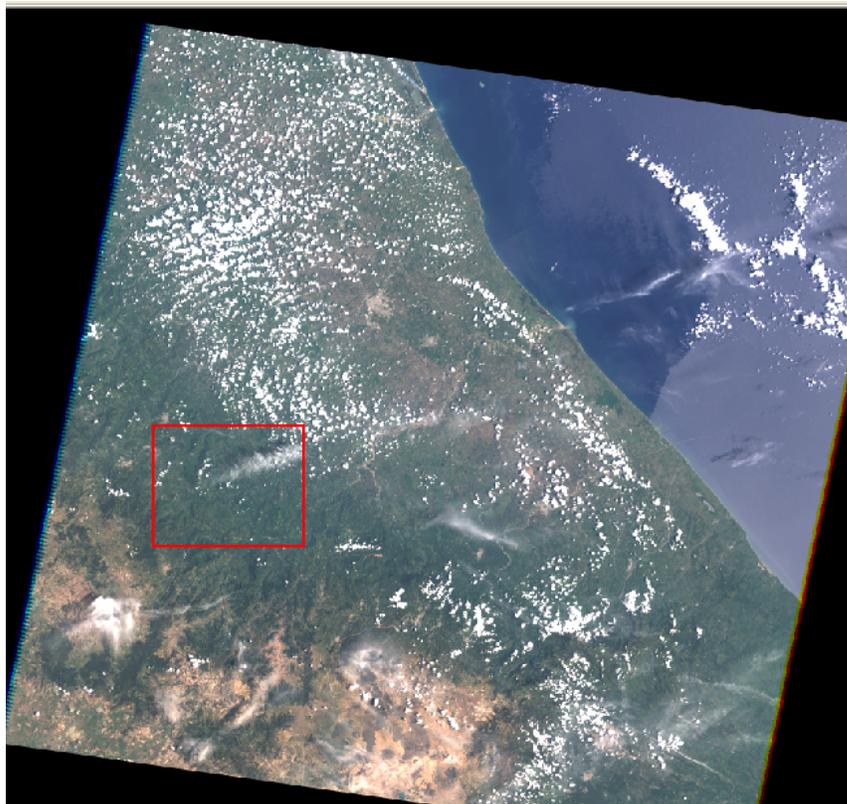


Figura 9. Imagen de satélite: Teziutlán, LANDSAT, 2000. En la que se aprecia la nubosidad a barlovento de una parte de la Sierra Madre Oriental. El recuadro rojo señala el territorio de Filomeno Mata que se encuentra enclavado en la Sierra Norte de Puebla, y cuyos ríos son afluentes del río Tecolutla.

3.3. Inestabilidades meteorológicas.

En ocasiones, el promedio anual de precipitación llega a superar los 4000 mm y esto se debe a fenómenos atípicos llamados lluvias extraordinarias, las cuales no son frecuentes, pero sí cíclicas de aproximadamente cada 30-40 años (Lugo et al., 2005)

Los fenómenos meteorológicos del verano son diversos y según su dinámica e incluso la temporalidad es el concepto: baja presión; onda tropical; perturbación tropical y ciclón tropical, el cual, a su vez pasa por tres etapas.

Baja presión corresponde con una zona de inestabilidad del tiempo meteorológico, y se distingue por nublados, lluvias, tormentas eléctricas y rachas de viento.

Onda tropical, es un canal de baja presión con desplazamiento al oeste, este fenómeno ocasiona aguaceros significativos y actividad de tormentas eléctricas y son las más frecuentes en el verano.

Perturbación tropical, se refiere a un área de baja presión con carácter definido y que mantiene su identidad por más de 24 horas, si aumenta su intensidad puede ser el inicio de un ciclón tropical.

El ciclón tropical es una amplia zona que presenta baja presión originada en el mar, tiene una forma de remolino que suscita fuertes vientos, gran presencia de nubosidad y precipitación intensa. Las tres etapas del ciclón son la *depresión tropical*, sus vientos máximos constantes son inferiores a los 64 km/h, al incrementar la velocidad de los vientos entonces se llama *tormenta tropical* en donde la velocidad del viento es de 64- 117 km/h, en esta etapa se le asigna un nombre, en la última y máxima fase está el *huracán*, con vientos de más de 118 km/h y de acuerdo con la intensidad del viento se divide en 5 categorías, escala Saffir-Simpson.

En el otoño se siguen presentando fenómenos meteorológicos como baja presión y menos frecuente la onda tropical, sin embargo, la presencia de lluvias se mantiene por la llegada de los primeros frentes fríos de la estación invernal, llamadas lluvias frontales. Éstas son influenciadas por los frentes fríos provenientes del norte del continente que, al entrar en contacto con la masa de aire caliente y húmedo del Golfo de México, que es menos densa, genera que el aire cálido se desplace hacia la parte alta provocando la condensación, además, si a esto se le suma el choque y ascenso del vapor de agua sobre las laderas de la SMO, entonces se produce una situación de inestabilidad que suscita fuertes lluvias en esta porción del país.

3.4. Geología.

Para entender la dinámica de los procesos que modelan el relieve, se consideran varios factores, como es el clima y la geología. En cuanto al primero, se tiene que es un clima cálido húmedo, por lo que constantemente se presentan lluvias con intensidad variada y el agua como agente modelador repercute en la erosión por medio de las aguas subterráneas, fluvial y pluvial. En cuanto a la geología se considera la litología y la estructura geológica como el elemento a modelar.

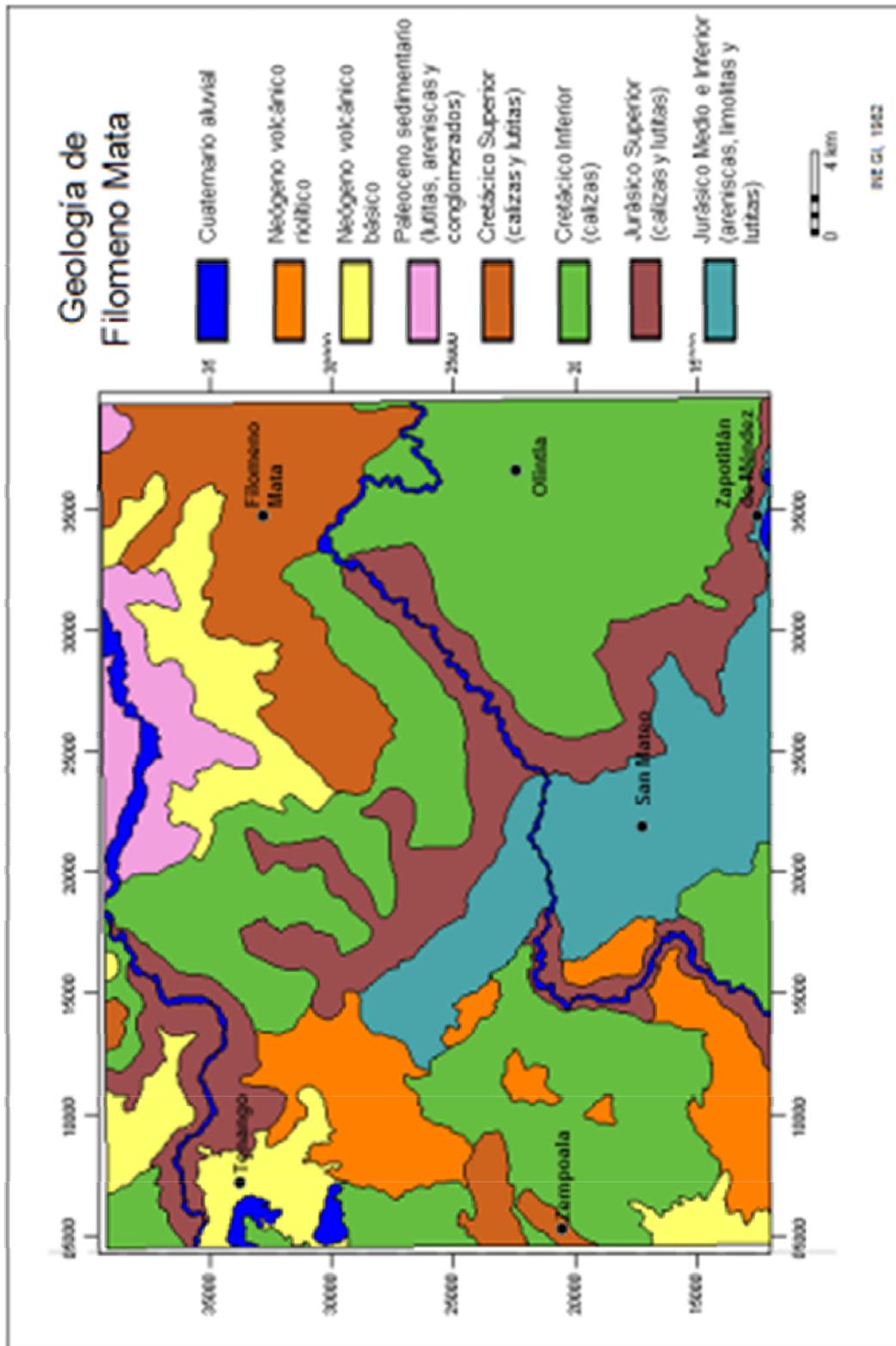
Como panorama general, se tiene que el área de estudio se encuentra en la Cuenca Tampico-Misantla (López, 1979), donde afloran formaciones del Cenozoico marino. Esta cuenca se ubica en la Llanura Costera del Golfo de México, limitada al norte por la sierra de Tamaulipas, al sur por el Macizo de Teziutlán, al este por el Golfo de México y al oeste por la Sierra Madre Oriental.

De manera particular y, en resumen, la geología presente en Filomeno Mata y sus alrededores consiste, principalmente, de rocas sedimentarias del Mesozoico (López, 1979). Para finales del Paleoceno y Eoceno temprano, se produjo el plegamiento con dirección NW-SE que dio origen a la Sierra Madre Oriental a causa de los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide (Yáñez y García, 1982). Después del Eoceno el régimen geológico pasó a un ciclo de intenso volcanismo que se prolongó hasta el Oligoceno en un amplio territorio del país (López, 1979).

La Sierra Norte de Puebla sigue el plegamiento de la Sierra Madre Oriental, con dirección NW-SE, sin embargo, el rumbo preferencial de los pliegues es NE-SW, es decir, perpendicular a los esfuerzos de compresión. Así mismo, en sus cercanías con el Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Oriental está cubierta de material ignimbrítico proveniente del colapso de la Caldera de los Humeros (Yáñez y García, 1982; López, 1979).

La información que a continuación se presenta fue tomada de la Carta Geológico-Minera Poza Rica de INEGI, 1982; así como de López (1979); Eguluz, Aranda y Marrett (2000); Lugo et al. (2005); y la cual se muestra en el mapa de Geología de Filomeno Mata (figura 10).

Figura 10. Mapa de Geología de Filomeno Mata



3.4.1. *Jurásico Medio e Inferior (areniscas, limolitas y lutitas)*

Esta unidad forma parte del cuerpo principal de la sierra, tiene una orientación NW-SE y en la zona de estudio corresponde con altitudes de 1000 a poco más de 1500 m en las cercanías de San Mateo, en la porción sur de la carta y corresponde con la unidad más antigua de la zona de estudio (figura 11)

En cuestión de litología se trata de lutitas, limolitas y areniscas en estratos de grosor delgado a medio. Una de sus características es que son susceptibles a la erosión y esto se debe a factores estructurales como la inclinación de las capas en ángulos de más de 15° por otro lado, presenta un alto grado de fractura, así como alternancia y contacto entre estratos de diferente resistencia a la erosión (figura 11). Situación que lo hace propenso al desarrollo de procesos de remoción en masa.

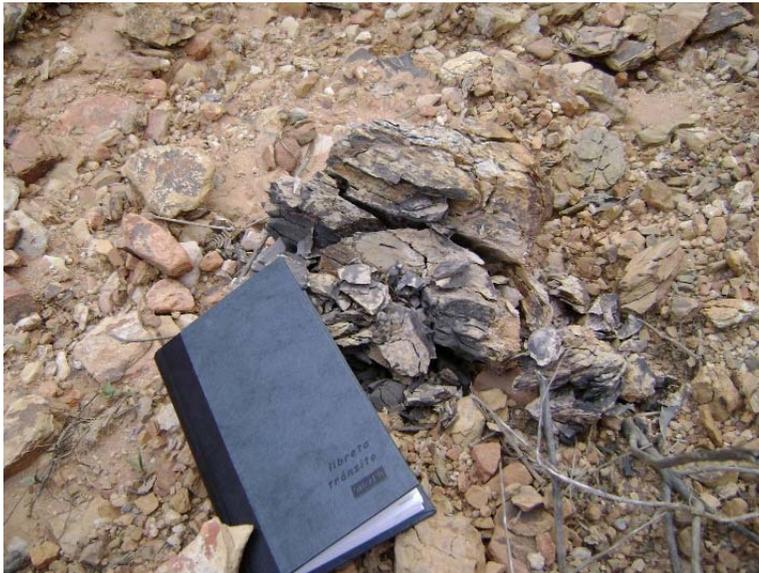


Figura 11. Pizarra muy fracturada entre lutita y arenisca. Foto de Zaragoza, 2010.

3.4.2. *Jurásico Superior (calizas y lutitas)*

Esta unidad corresponde con la Formación Tamán, y de acuerdo con Capra, Lugo y Dávila (2003), se trata de una secuencia marina del jurásico superior, la cual está representada por dos facies, una arcillosa y otra calcárea, de espesores variables (figura 12).



Figura 12. Formación Tamán. Secuencia de facies arcillosa y calcárea. Foto de Zaragoza, 2006

En la zona de estudio, esta secuencia se distribuye en una franja estrecha de sureste a noroeste y atraviesa la parte central de la carta Filomeno Mata de manera paralela a las areniscas, limolitas y lutitas del Jurásico Medio e Inferior.

La parte inferior de esta unidad consiste en lutitas negras y lutitas carbonosas, interestratificadas con capas delgadas de caliza negra y gris-azul, y la parte superior está representada por calizas grises de textura uniforme calcarenítica con abundantes nódulos de pedernal negro ahumado, en general, se trata de una sedimentación marina de plataforma con contenidos de pequeña microfauna marina (López, 1979).

Dentro de esta clasificación del Jurásico Superior de calizas y lutitas, también se incluye otra etapa geológica, que corresponde con la Formación Pimienta, que yace indistintamente sobre la formación Tamán.

Su descripción consiste en que se trata de calizas y dolomía de color gris oscuro a negro, con bandas de pedernal, calizas arcillosas compactas de color negro y areniscas de color gris. Contiene microfauna marina y amonites. Se desarrolló en un ambiente de marino de borde de plataforma y es menos resistente que la formación Tamán (López, 1979).

3.4.3. *Cretácico Inferior* (calizas)

Compuesta por la formación Tamaulipas Inferior y Tamaulipas Superior (Belt, 1925, en Yáñez y García, 1982). La primera incluye tres miembros, del más antiguo al más reciente se trata del calcarenítico, el bentonítico y calcilutítico (Salazar-Mandujano, 1969, en Yáñez y García, 1982).

El primero de ellos presenta colores gris, pardo y crema; con escasos sudoolitos desminados, con núcleos de microfósiles y granos de cuarzo, también presenta intercalaciones de capas delgadas de caliza criptocristalina gris verdosa y crema claro.

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

El tercer miembro, calcilutítico, caliza, de tonos claros (crema) y gris claro, capas de caliza ligeramente arcillosa, nódulos de pedernal pardo y blanco lechoso e intercalaciones de capas de bentonita verde claro y gris (figura 13).

Esta formación se distribuye de SSE en los alrededores del poblado de Zapotitlán de Méndez y atraviesa la carta hacia el NNW, hasta Tenango de las Flores.



Figura 13. Cretácico inferior. Formación Tamaulipas Inferior. Caliza en capas delgadas de diversos espesores. Foto de Zaragoza, 2010.

Tamaulipas Superior se trata de calizas ligeramente arcillosas de color pardo claro, gris-azul oscuro y gris. La estratificación es de delgada a mediana y el espesor de los estratos es de 0.5 a 1.0 m.

Entre los planos de estratificación se encuentran intercalados nódulos o bandas irregulares de pedernal, su espesor varía de 0.10 a 0.30 m. Se consideran calizas de plataforma y es concordante a la formación Tamaulipas Inferior (figura 14).

En la zona de estudio se dispone de SSE a NNW, es la unidad con mayor extensión y se presentan en relieve de mesas, con fracturas verticales y horizontales. Se destaca un desarrollo importante de carst.



Figura 14. Formación Tamaulipas Superior. Lutitas, limolitas y areniscas, se encuentran cubiertas por una capa de intemperismo de más de un metro. Foto de Zaragoza, 2006.

3.4.4. *Cretácico Superior (calizas y lutitas)*

El Cretácico Superior está integrado por varias formaciones: Agua Nueva, San Felipe, Méndez (Eguiluz, Aranda y Marrett, 2000) (figura 15).

Formación Agua Nueva (Stephenson, 1922, en Yáñez y García, 1982). Formada por calizas arcillosas de tonos de gris oscuro a claro y pardo claro, con texturas mudstone, wackestone y packstone en capas de 1 a 40 cm, con abundantes lentes, bandas y nódulos de pedernal de varios tamaños. También se encuentran intercalaciones delgadas de arcillas bentoníticas de color gris verdosa y parda, crema, oscura, así como evidencia de fauna pelágica de cuenca o de mar epicontinental de edad turoniana.

Sus relaciones estratigráficas son concordantes con la Formación Tamán Superior que la subyace, así como con la formación San Felipe que la cubre.

Formación San Felipe: (Muir, 1934, en Yáñez y García, 1982). La integran calizas arcillosas verdes y gris verdosa que, por intemperismo, adquieren un matiz pardo claro y crema; la coloración verdosa se debe a delgados horizontes de bentonita (arcillas intemperizadas) y presenta una textura fina de mudstone a wackestone.

Sus espesores son variables y en las cercanías de la zona de estudio, de acuerdo con López (1979), pueden ser de hasta 50 m. Asimismo, se llega a observar que la Formación Méndez cubre de manera concordante a la Formación San Felipe y ésta, a su vez, descansa sobre la Formación Agua Nueva de manera concordante.

Formación Méndez (Dumble, 1911, en Yáñez y García, 1982). Está formada por una secuencia rítmica de lutitas y margas duras; presenta intercalaciones calcáreas que han derivado a calizas arcillosas, con lo cual pueden confundirse con la Formación San Felipe. Todos estos sedimentos muestran intercalaciones de ceniza volcánica blanca y de bentonita verde.

Las formaciones del Cretácico Superior son muy susceptibles a la erosión. Y en la zona de estudio se distribuyen en el NNE, principalmente, en los alrededores del poblado de Filomeno Mata.



Figura 15. Calizas y lutitas del Cretácico Superior.

3.4.5. *Paleoceno (lutitas, areniscas y conglomerados)*

A fines del Cretácico y principios del Terciario existieron movimientos regresivos del mar, así como levantamiento de una estructura monoclinial de rocas sedimentarias del Paleoceno (figura 16 y 17), esto marca el fin de la Revolución Laramide, y continúa el levantamiento hasta finales del Eoceno. En la zona de estudio estas rocas se encuentran en una pequeña porción en el norte en las inmediaciones de Chicontla.



Figura 16. Intercalación de lutitas, areniscas y calizas del Paleoceno. Formadas en un ambiente de regresión marina. Foto de Zaragoza, 2009.



Figura 17. Intercalación de conglomerados y areniscas del Paleoceno. Foto de Zaragoza 2009.

3.4.6. Neógeno (*volcánico básico*)

Se trata de la Formación Teziutlán (Yáñez y Durán, 1982) (figura 18), la cual está constituida por andesitas, andesitas-basálticas y, en menor grado, basaltos.

Las andesitas se caracterizan por su contenido de fenocristales de plagioclasa intermedia e hiperstena, con algo de magnetita; a veces se encuentran acompañadas de augita y oxihornblenda, así como pequeñas cantidades de olivino.

La característica de las andesitas basálticas es la presencia de fenocristales de plagioclasa; labradorita; por el predominio de la augita sobre la hiperstena; aumento de olivino y escasez de la magnetita.

En los basaltos, los fenocristales son de olivino, y forman parte de una masa de microlitos de plagioclasa cálcica, rodeados por augita, olivino y magnetita. El emplazamiento de estos materiales sobre el terreno es irregular en cuanto a espesor y área, cubren a sustratos mesozoicos e incluso cenozoicos. En la zona de estudio se encuentra en pequeñas porciones en el N y NNW.



Figura 18. Derrame de lava. Basalto y andesita. En las cercanías de Tenango de las Flores. Foto de Zaragoza, 2010

3.4.7. Neógeno (volcánico riolítico)

Formación Ignimbrita Xaltipan (Yáñez y Durán, 1982). Consta de los derrames ignimbríticos provenientes de la Caldera de los Humeros. Incluye tres estados de piroconsolidación: densa, mediana y sin consolidación.

La Ignimbrita Xaltipan se depositó sobre la Formación Teziutlán, así como en rocas mesozoicas. El depósito presenta una matriz con una amplia gama de colores y tonos, los más comunes son el rosa claro a intenso y gris-azul, también de claro a intenso.

En su composición predominan los feldespatos alcalinos y la cristobalita; los fragmentos líticos y la ignimbrita son riolíticos. Las nubes ardientes fueron consecuencia del colapso de la parte superior del edificio volcánico de los Humeros (figura 19).



Figura 19. Depósito volcánico, Ignimbrita Xaltipan, proveniente de la Caldera de los Humeros. Foto de Zaragoza, 2010

La distribución fue de acuerdo con la morfología antigua y rellenaron las depresiones existentes, como cuencas y valles. Esto trajo modificaciones: cambió la pendiente, se suavizó la morfología a más plano. En la zona de estudio se encuentra en la porción SW, sin embargo, se puede encontrar en otros lugares como un material no consolidado (figura 20).



Figura 20. Cubierta de ceniza volcánica asociada a la Ignimbrita Xaltipan, sobre las formaciones del Mesozoico, porción SW de la zona de estudio, carretera de Zacatlán hacia Ahuacatlán. Foto de Zaragoza, 2010

3.4.8. Cuaternario *aluvial*

Se trata de los depósitos sedimentarios formados por corrientes fluviales (figura 21) relacionados directamente con el clima del Cuaternario. Se distribuye en el norte de la zona de estudio y corresponde con la planicie fluvial del río Necaxa. Así mismo, en la parte central del territorio de Filomeno Mata, se observa esta unidad y pertenece a la planicie fluvial del río Ajajalpan.



Figura 21. Depósitos fluviales, resultado del arrastre y depósito de las corrientes de los ríos, porción río Zempoala, Zapotitlán de Méndez. Foto de Zaragoza, 2010.

Capítulo IV. La geología y su relación con los procesos de ladera.

Los fenómenos naturales como la lluvia, el viento, el hielo, los sismos, entre otros, son agentes que se encargan de nivelar la superficie terrestre como parte de su evolución.

Sin embargo, estos fenómenos se tornan peligrosos para la sociedad cuando se desarrollan sobre una superficie vulnerable en cuanto a litología, estructura, fractura, pendientes fuertes y diferencias altitudinales, características que se presentan en la Sierra Norte de Puebla y que, bajo condiciones de humedad, generan, año con año, diversos procesos de ladera (figura 22).



Figura 22. Imagen panorámica de una porción de la Sierra Norte de Puebla. Otro de los factores detonantes de los procesos de ladera es la actividad humana: la deforestación y la construcción de caminos y carreteras. Foto de Zaragoza, 2010.

La estrecha relación que existe entre la geología de Filomeno Mata y los procesos de remoción en masa es que, uno implica el movimiento y el otro la litología involucrada, así como las condiciones de su estructura que los facilitan.

En este sentido, la distribución de los procesos de ladera está en función de su relación con las diferentes unidades geológicas que forman la Sierra Norte de Puebla, SMO, destacando las Formaciones del Jurásico y Cretácico (figura 23).

La mayor cantidad de procesos de ladera se encuentran en las unidades más antiguas: Jurásico Medio e inferior, Jurásico Superior y Cretácico Inferior (calizas). Los materiales involucrados presentan una fuerte fractura por el proceso de formación de la Sierra Madre Oriental.



Figura 23. Las características geológicas y litológicas del Jurásico (areniscas, lutitas, limolitas y calizas) en un ambiente cálido y húmedo y laderas de fuerte pendiente, favorecen los procesos de ladera. Foto de Zaragoza, 2010.

El intemperismo es otro factor a considerar, ya que las altas temperaturas y la humedad de la zona promueve el deterioro de los materiales. Debido a la naturaleza de las rocas presentes, los procesos kársticos tienen un fuerte desarrollo.

En el territorio de Filomeno Mata se observó desde la capa de intemperismo llamado terra rossa y las dolinas, hasta el lapiaz observado en las montañas.

Las formaciones expuestas del *Jurásico Medio e Inferior*, constituidas principalmente de areniscas, limolitas y lutitas, tienen las condiciones geológicas; el tipo de relieve de montaña, con altas vertientes y empinadas; así como una profundidad de la disección de incluso más de 100 metros, que favorecen los procesos de ladera de caídas, deslizamientos profundos y la combinación de éstos con flujos. Esto se observa, principalmente en el contacto con otras unidades geológicas.

Con respecto a las *Formaciones del Cretácico Inferior y Superior*, integradas principalmente por calizas y lutitas, presentes en distintos estratos de diversos espesores e intercaladas, los movimientos de ladera relacionados son de caída por desprendimiento de las rocas compactas y por las fracturas en la vertical que presentan (figura 24). Así mismo, se presentaron procesos de ladera superficiales, en donde el material involucrado es de suelos y detritos, principalmente integrados por terra rossa, capa de intemperismo de la roca caliza.



Figura 24. Alturas desde la base del depósito hasta el circo de desprendimiento: 90-100 m Erosión por escurrimiento fluvial y caída de detritos. Materiales involucrados de calizas y lutitas del Cretácico, inmediaciones de Nuevo Necaxa. Foto de Zaragoza, 2010.

En cuanto a los materiales volcánicos del Cenozoico, se encuentran en algunos lugares cubriendo a las rocas pegadas del Mesozoico. En la zona de estudio se encuentra de diferentes espesores y de manera discontinua (figura 25). En campo se observó que también son susceptibles a los deslizamientos de suelo, que se caracterizan por ser de poca profundidad y los materiales involucrados son de baja consolidación y de derrubios.



Figura 25. Material piroclástico proveniente de la Caldera de los Humeros, camino de Nuevo Necaxa a Tenango de las Flores. Foto de Zaragoza 2010.

4.1. Altimetría de Filomeno Mata

El mapa altimétrico consiste en mostrar de manera sintetizada las grandes unidades de relieve por sus diferencias altitudinales. La ventaja de este mapa es que se puede tener un primer aproximado de las formas de relieve de Filomeno Mata y sus alrededores.

El mapa se elaboró a partir de las curvas de nivel de INEGI, escala 1:50 000. Los resultados se muestran en la figura 26.

Los contrastes altitudinales se presentan, desde el punto más alto de 2520 metros en la porción SSW, formación del Terciario Superior (basalto), hasta el punto más bajo, Cuaternario aluvial, que corresponde con 240 metros y se encuentra en la porción NNE de la zona de estudio.

A partir de la lectura de este mapa se tiene la siguiente distribución: La zona de montaña presenta diferencias altitudinales de los 900 a más de 2000 metros, y corresponde con las formaciones sedimentarias Jurásicas y Cretácicas

Así mismo, las altitudes mayores de 1800 m se distribuyen en la porción SW de Filomeno Mata y corresponde con las cubiertas volcánicas que coronan las formaciones Mesozoicas.

La zona de premontaña va de los 500 a los 900 metros, la cual tiene una disposición de SE a NW y corresponde con las formaciones del Cretácico, en donde hay un fuerte desarrollo del karst.

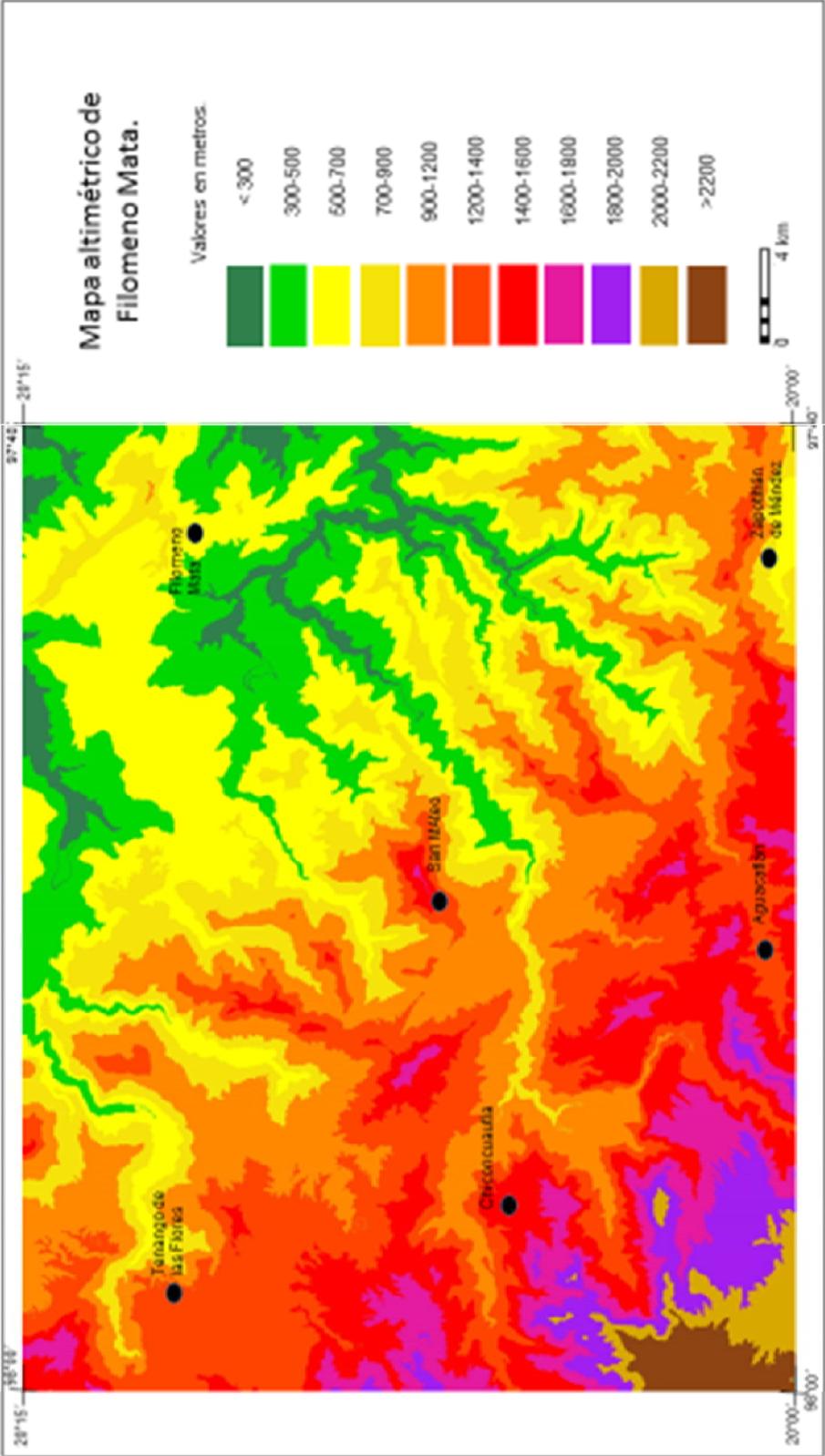
La zona de lomeríos corresponde con las altitudes de 300 a los 500 metros. Se trata de la porción de declive hacia la Planicie Costera del Golfo de México. Se distribuye de forma paralela a la zona de premontaña.

Se infiere que la estructura que subyace al material volcánico, formaciones del Cretácico, presentaba una erosión muy fuerte, pero con la cubierta de material volcánico proveniente de la Caldera de los Humeros es que matiza las formas preexistentes dando una apariencia suave y homogénea del relieve.

El valor más bajo es de 240 metros y corresponde con parte de la llanura de inundación, formada por depósitos recientes del río Necaxa, se ubica en la porción NNE de la zona de estudio.

La diferencia altitudinal en esta región es de poco más de 2280 metros en un área de aproximadamente 960 km², lo cual indica el fuerte potencial del relieve a la dinámica exógena, principalmente para los procesos de remoción en masa.

Figura 26. Mapa altimétrico de la zona estudiada



4.2. Pendientes de Filomeno Mata

Este mapa muestra la transformación de las distancias entre curvas de nivel en valores de pendiente:

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

Donde:

m = pendiente

DV = distancia vertical

DH = distancia horizontal

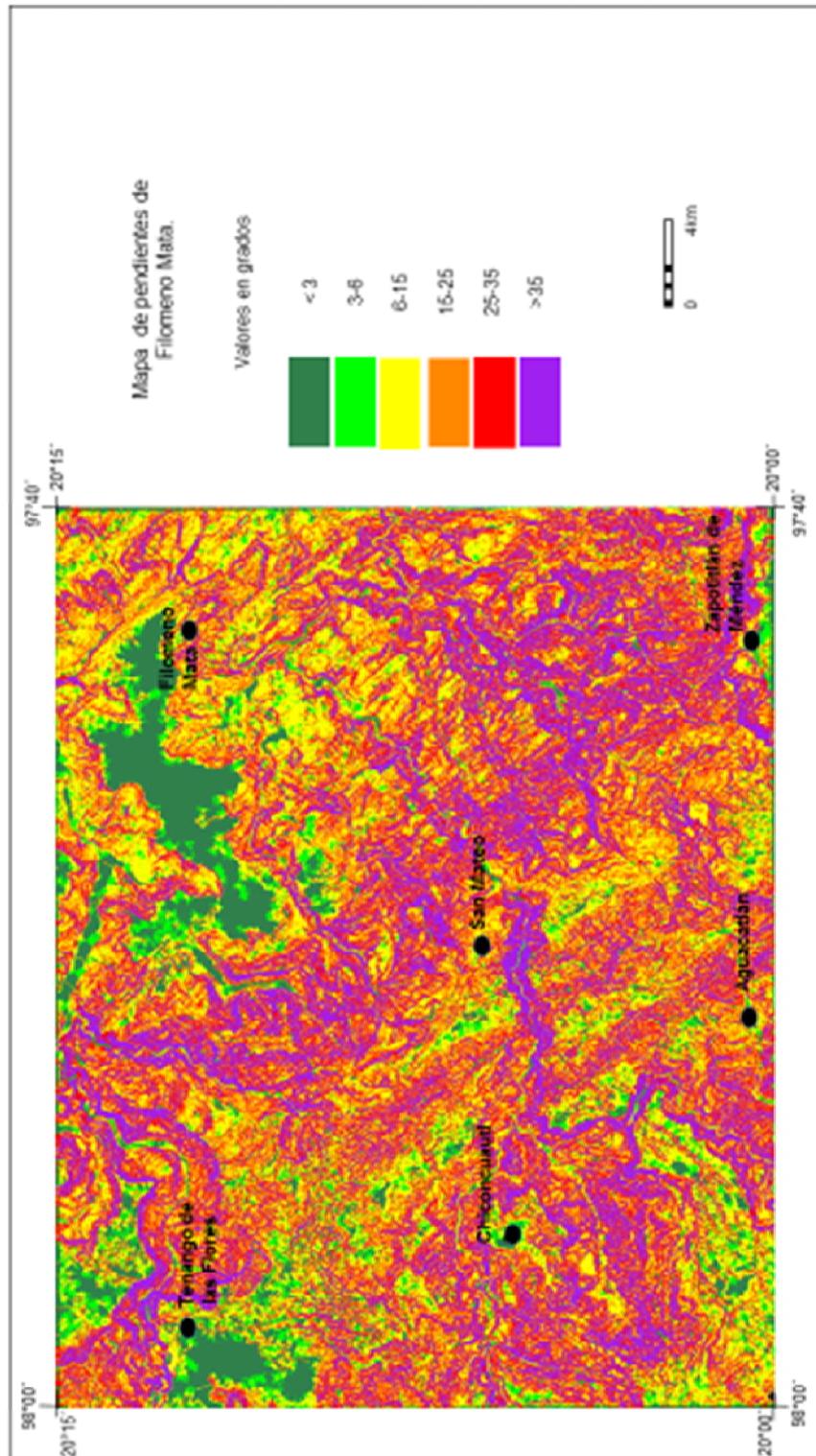
La bondad de este mapa reside en que, de manera gráfica y en plano, se puede apreciar la inclinación del terreno (figura 27). Por lo que nos da una idea de las profundidades que llegan a tener algunas depresiones, como los valles intermontanos, dolinas, entre otros.

Así mismo evidencia las alineaciones que presentan las estructuras geológicas, así como el contacto entre ellas y que se aprecian con los escarpes, además de la forma y profundidad de los cañones.

En cuanto a los procesos de ladera, denota características como circos de desprendimiento.

Con el mapa de pendientes también se observan aquellas superficies que carecen de inclinación y que pueden estar asociados a superficies planas como mesetas, rellenos fluviales, fondos de dolinas, entre otros.

Figura. 27. Mapa de pendientes



El mapa de pendientes también tiene la ventaja de poder determinar unidades de relieve.

De $<3^{\circ} - 6^{\circ}$ evidencia los fondos de los valles y lomeríos, correspondientes con las cubiertas volcánicas y las capas de intemperismo terra rossa de las formaciones mesozoicas.

De $6^{\circ} - 25^{\circ}$ se trata de las laderas de premontaña y lomeríos que le anteceden, propiamente, a las laderas de montañas.

De $25^{\circ} - >35^{\circ}$ y que estas pendientes son las que predominan en el territorio de Filomeno Mata y que en estos rangos de valores es donde se desarrollaron la mayor parte de los procesos de ladera en octubre de 1999.

Cabe mencionar que el ángulo de reposo natural de los materiales es de 32° por lo que sólo necesitan un detonante para que se generen los procesos de ladera, ya sea una lluvia excesiva, el incremento de la corriente de los ríos para que éste socave la base de las laderas, o un sismo para que se lleven a cabo, puesto que las condiciones existen y es a lo que se le llama vulnerabilidad física del territorio.

Otro factor a considerar es la actividad humana, puesto que en el recorrido de campo se observó que las plantaciones de maíz y café se desarrollan en laderas con más de 15° de pendiente (figura 28).

Esto implica un cambio de uso de suelo ya que talan la vegetación original de bosque mesófilo de montaña y se deja la capa edáfica desprotegida por lo que, al no haber raíces que le den soporte y estar bajo condiciones de lluvia, se satura de agua y pierde estabilidad, es así que se erosiona y se desarrollan procesos de ladera superficial de suelo y detritos.



Figura 28. La agricultura es una de las principales actividades económicas de la población y la realizan sobre las laderas de montaña que tienen una fuerte pendiente. Con el agua de lluvia los suelos se saturan y pierden cohesión, al desestabilizarse deslizan ladera abajo.

4.3. Análisis Geomorfológico del territorio de Filomeno Mata.

La combinación de la geología, el relieve y el clima, aunado a las actividades humanas que se desarrollan en el territorio de Filomeno Mata, es lo que le imprime un carácter único en cuanto a paisaje y por lo tanto a los procesos geomorfológicos que ahí se desarrollan.

Para entender la dinámica del relieve de Filomeno Mata es necesario contextualizarlo de manera visual, por lo que a continuación se presenta el modelo digital del terreno (figura 29).

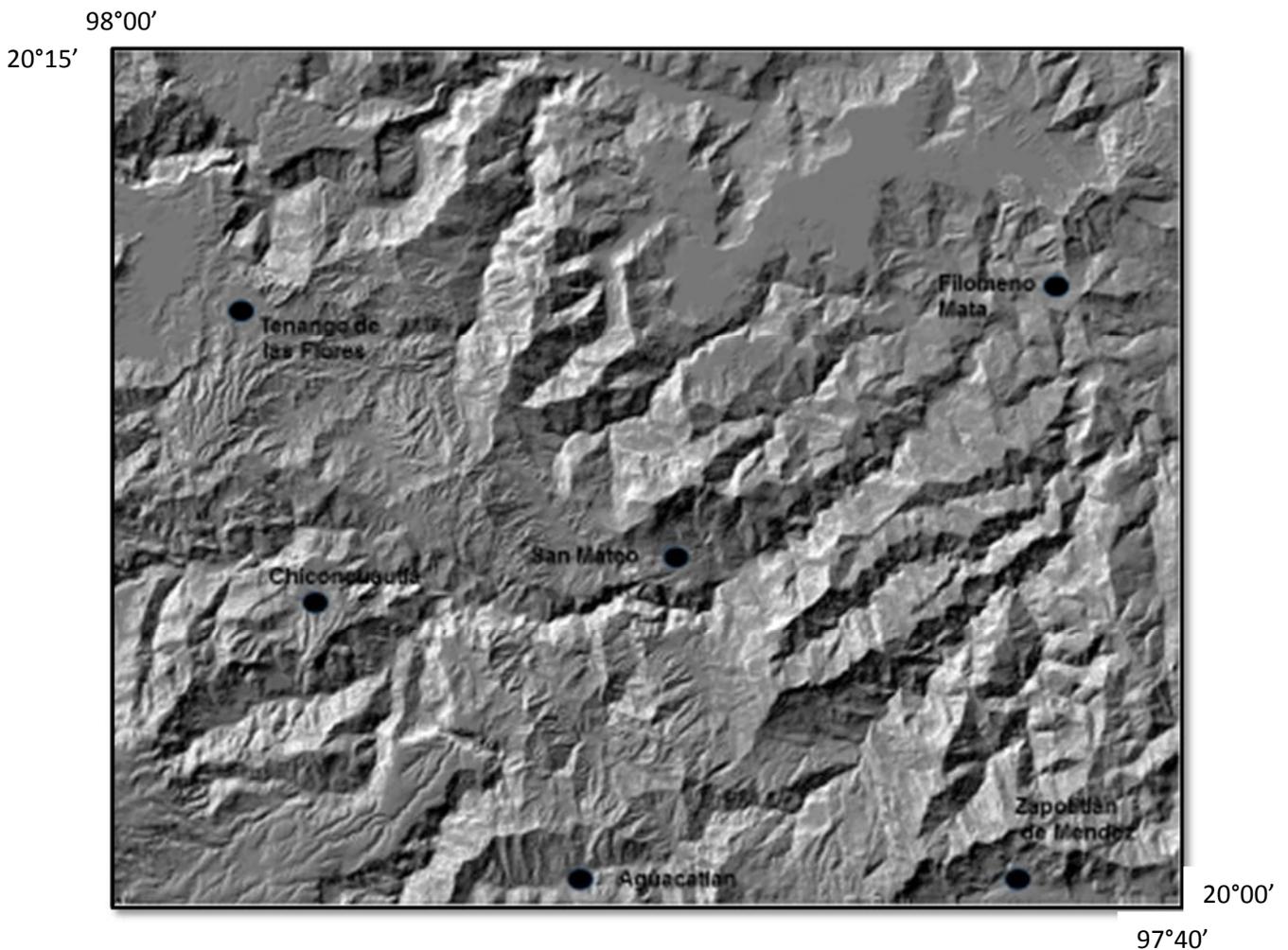


Figura 29. Modelo digital del terreno sombreado de la carta Filomeno Mata

En una primera interpretación sobre el relieve de Filomeno Mata, a partir del modelo digital del terreno, se advierte que:

Está influenciado por tres provincias fisiográficas, aunque por ubicación solo pertenezca a la Sierra Madre Oriental. Por lo que la variedad de litologías, de contrastes altitudinales y de pendientes hacen que sea una zona muy dinámica en cuanto a los procesos exógenos.

En el modelo digital de Filomeno Mata se aprecia el relieve montañoso de la Sierra Norte de Puebla con cimas irregulares, laderas abruptas y un contraste altitudinal muy marcado.

Otra característica que se observa son las superficies que presentan un relieve homogéneo y suavizado que contrasta con la montaña, se trata de las cubiertas volcánicas, ignimbritas provenientes de la Caldera de los Humeros, que quedan como remanentes sobre las formaciones Mesozoicas.

El modelo también permite identificar los circos de erosión, así como la profundidad de los ríos en la zona montañosa. Asimismo, es posible reconocer superficies planas y de menor altitud, se trata de las planicies fluviales y lo que corresponde con las presas Nexapa y Tenango ubicadas en el extremo NNW de la zona de estudio.

Después de este panorama general, a continuación, se presenta a detalle el estudio geomorfológico realizado en el territorio de Filomeno Mata.

4.3.1. Cartografía geomorfológica

Como se ha mencionado, una parte del objeto de estudio de la geomorfología es el análisis e interpretación de las formas de la superficie terrestre.

En este sentido, el mapa geomorfológico es la representación gráfica del análisis de las formas de erosión y de acumulación de la superficie terrestre, y en él se representan todas las formas del relieve de una región, ya sea de forma individual o formando unidades territoriales, en donde se aprecia la génesis, morfología, dinámica y material involucrado; con lo que se deja claro y concreto la distribución y configuración espacial que presentan sobre el terreno (Panizza, 1993; Pedraza, 1996; Gutiérrez, 2008; Lugo, 2011).

Uno de los beneficios de la cartografía geomorfológica es que de manera gráfica y sintetizada se muestran los procesos pasados y presentes que han dado forma al relieve e incluso se puede establecer un escenario futuro sobre las modificaciones que pudiera tener.

La leyenda del mapa geomorfológico de Filomeno Mata se agrupa por:

I RELIEVE ENDÓGENO MODELADO

Sierra Madre Oriental

- 1.1 Laderas de montaña intensamente modeladas, constituidas en su mayor parte de calizas, lutitas y areniscas

Estribaciones de la Sierra Madre Oriental

- 1.2 Sierras menores

Estribaciones del Cinturón Volcánico Mexicano

- 1.3 Cubiertas piroclásticas con morfología tabular
- 1.4 Mesas de lava

RELIEVE EXÓGENO

A. Erosivo Fluvial

2.1 Valles fluviales

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

2.2 Circo de erosión fluvial

- a) Activo
- b) Inactivo

2.3 Salto de cabecera

B. Acumulativo fluvial

2.4 Llanura aluvial

C. Erosivo kárstico

2.5 Cuencas endorreicas

2.6 Dolinas

D. Erosivo gravitacional

2.7 Deslizamientos

- a) Corona
- b) Superficie de deslizamiento

2.8 Caídas

- a) Escarpe
- b) Ladera susceptible

E. Acumulativo Gravitacional

2.9 Lóbulos de deslizamiento

2.10 Rampas coluviales

4.3.1.1. I RELIEVE ENDÓGENO MODELADO

Esta clasificación considera a las formas de relieve cuyo origen es endógeno pero que han perdido sus rasgos principales y esto debido a los procesos exógenos. En este sentido, se considera a las rocas sedimentarias que forman la Sierra Madre Oriental, en específico a las pertenecientes a la Sierra Norte de Puebla, la cual ha pasado por diversas etapas de movimientos tectónicos de ascenso ocurridos en el Mesozoico.

Sierra Madre Oriental

De acuerdo con Eguiluz *et al* (2000).

“La Sierra Madre Oriental es el producto del levantamiento y deformación de, principalmente, rocas del mesozoicas, incluido su basamento heterogéneo. Por otra parte, corresponde a una franja del frente plegado y cabalgado durante el periodo de deformación conocido como laramídico.”

1.1 Laderas de montaña intensamente modeladas, constituidas en su mayor parte de calizas, areniscas y lutitas.

Se trata de las sierras sedimentarias marinas plegadas con altitudes de más de 900 m y que han perdido sus rasgos primarios por la acción de los procesos exógenos. Las pendientes que caracterizan a esta unidad son de más de 25 grados (figura 30).

El patrón fluvial que se observa es dendrítico con valles fluviales de más de 40 metros de profundidad.



Figura 30. Montañas de la Sierra Madre Oriental, la línea de parteaguas presenta un perfil de lapiaz característico de las rocas calizas. Foto de Zaragoza, 2010.

Estribaciones de la Sierra Madre Oriental

Son consideradas como premontañas porque se encuentran antecediendo a la unidad montañosa, forman parte de la Sierra Madre Oriental, pero con menor altitud. Esta unidad se encuentra interrumpida por mesas de lava.

1.2 Sierras menores

Se encuentran en la porción NE de la zona de estudio, en los alrededores de Filomeno Mata. Se trata de sierras menores con altitudes que van de los 500 a los 900 metros y con pendientes de 6° a 15°. Corresponden con las cubiertas volcánicas que yacen a las rocas Mesozoicas de lutitas y areniscas (figura 31). El tipo de drenaje fluvial es subdendrítico y

está controlado por la estructura de la Sierra Madre Oriental, prevalecen los valles de 20 a 40 metros.



Figura 31. Los habitantes de la Sierra Norte de Puebla, en su mayoría, se dedican a la agricultura de autoconsumo y es común observar sembradíos sobre laderas de incluso 30° de inclinación.

Estribaciones del Cinturón Volcánico Mexicano

La zona de estudio es compleja en este sentido, ya que existen dos eventos volcánicos: uno por la cubierta de ceniza volcánica que fue expulsada por la caldera de los Humeros, y otro relacionado con derrames basálticos.

1.3 Cubiertas piroclásticas con morfología tabular

Representa una cubierta de piroclastos sobre los plegamientos propios de la Sierra Madre Oriental. Se encuentran en altitudes de los 900 a los 1600 metros, sin embargo, la diferencia en altitud no es abrupta, va de manera gradual y las pendientes son de menos

de 15 grados, lo que da una apariencia suavizada y de meseta; se disponen de manera aislada y sus espesores son variables (figura 32)



Figura 32. Cubiertas volcánicas provenientes de la Caldera de los Humeros que yacen sobre la estructura de la Sierra Madre Oriental. Carretera de Ahuacatlán hacia Chiconcuahutla. Foto de Zaragoza, 2010.

1.4 Mesas de lava

Las mesas de lava se relacionan con los procesos de compresión y levantamiento que dieron origen a la Sierra Madre Oriental. Por lo que se trata de emanación de lava por fisura que se disponen de manera horizontal y en sus bordes; en general, rompen con pendientes de más de 25° (figura 33). El tipo de drenaje que se observa en esta unidad es dendrítico, es decir, de poca profundidad, poco desarrollado y en general controlado por la estructura que le subyace.



Figura 33. Vista de perfil de una mesa de lava que bordea una parte de la presa Tenango, localizada en el NNW de la zona de estudio. Foto de Zaragoza, 2010.

4.3.1.2. II RELIEVE EXÓGENO

Para este trabajo se consideran como agentes principales de modelado del relieve, la gravedad y el agua. Las fuertes lluvias que se presentan en la zona de estudio desencadenan procesos erosivos, pero por otro lado también generan formas acumulativas.

Es así que se identificaron tres grupos que conllevan sus contrapartes, erosivo y acumulativo.

A. Erosivo Fluvial.

En este grupo se analizan las expresiones lineales que tienen un origen fluvial, el cual destruye de manera mecánica a las rocas, las cuales evidencian, entre otras cosas,

la resistencia de los materiales, la existencia de estructuras disyuntivas; la inclinación y la forma del terreno.

2.1 Valles fluviales

La clasificación se hizo de acuerdo con las dimensiones que tiene el relieve: barrancos, cañadas y cañones.

a) Menores a 20 m de profundidad

Los primeros se encuentran cercanos a los parteaguas, se tratan de cauces de primer y segundo orden, son muy erosivos y característicos de la zona montañosa. Su carácter erosivo se determina por la inclinación del terreno, la forma asociada a este valle es de tipo “V”.

b) Entre 20 y 40 m

Se refiere a valles que tienen un mayor desarrollo en la vertical y que en perfil se asemejan más a una “U”, por lo que se relacionan a una dinámica fluvial equivalente a la erosión vertical como en la horizontal.

El orden asociado a este tipo de valle es de entre tercer y quinto orden, esto quiere decir que definen un patrón de control estructural, como fallas o fracturas, así como entre los contactos litológicos o morfológicos.

En el mapa se identifican y se relacionan con los afluentes de principal escurrimiento. Por lo que también se definen como colectores de afluentes de menor orden. En el territorio de Filomeno Mata, en el trayecto de estos afluentes se observan cambios bruscos en los cauces, es decir, en su trayecto hay una diferencia altitudinal abrupta a esto se les llama saltos de cabecera, también conocidas como caídas de agua.

c) *Mayores a 40 m*

Son los valles más profundos con laderas abruptas verticales y en algunos casos escalonadas. El desarrollo de este tipo de valle se debe a la fuerte influencia geológica y tectónica, con lo cual se favorece la erosión fluvial en sentido vertical más que en horizontal, por lo que se trata de cañones estrechos y profundos (figura 34).

Sin embargo, cuando los procesos de modelado actúan en la horizontal y son dominantes, entonces los valles suelen presentar acumulaciones aluviales de varios metros de ancho, cuando esto sucede, deja de ser un cañón y se le llama cañada.

Cabe mencionar que en este tipo de valles es donde predominan los procesos de remoción en masa, principalmente de caída y deslizamientos profundos. La relación de este tipo de valle con los procesos de ladera es directa con la inestabilidad tectónica de la Sierra Madre Oriental. Por lo que se infiere que los procesos de ladera presentes en este tipo de valles no son recientes y, por el contrario, se reactivan con cierta frecuencia.



Figura 34. Ladera escarpada y escalonada, los valles fluviales tienen más de 40 metros de profundidad. Inmediaciones de Chiconcuautla. Foto de Zaragoza, 2010.

2.2 Circo de erosión fluvial

Los circos de erosión fluvial son de forma cóncava, escarpados y en la mayoría de los casos coinciden con los parteaguas.

a) Activo.

Los circos de erosión activos son de lo más dinámico que hay, puesto que su desarrollo se debe a un proceso constante de erosión remontante generado por la erosión fluvial, acción que provoca desprendimientos y deslizamientos de rocas y detritos.

b) Inactivo

Se trata de aquellos circos de erosión que tienen una aparente estabilidad, una de sus características es que no se observan desprendimientos de rocas o detritos. Asimismo, la existencia de una cubierta vegetal indica que los procesos erosivos son de menor magnitud o más antiguos.

2.3 Salto de cabecera

Se refiere a una ruptura abrupta de pendiente en el perfil longitudinal de un río y se relaciona con contactos litológicos con diferente resistencia a la erosión o también con los escarpes de falla (figura 35).

El mayor número de saltos de cabecera se encuentra en la unidad de la Sierra Madre Oriental en donde se encuentran las calizas y lutitas del Cretácico.



Figura 35. Los saltos de cabecera se relacionan con las cascadas o saltos de agua. Camino de Zapotitlán de Méndez hacia Cuetzalan del Progreso. Rocas involucradas de calizas del Cretácico Inferior. Foto de Zaragoza, 2009.

B. Acumulativo fluvial

Son las formas terrestres que se originan por la sedimentación y acumulación de detritos que son transportados por las corrientes fluviales y luego depositados. Sus dimensiones varían debido a la intensidad de los procesos erosivos, así como de la capacidad de carga de las corrientes fluviales. En este rubro destacan los aluviones del Cuaternario.

2.4 Llanura aluvial

Son acumulaciones aluviales formadas por los ríos. En la zona de estudio son de dimensiones menores y se encuentran en el río Necaxa al norte de la zona de estudio y en el río Zempoala (figura 36).



Figura 36. Cañada del Río Zempoala, planicie aluvial en donde se encuentra asentada la población de Zapotitlán de Méndez. Foto de Zaragoza, 2001.

C. Erosivo kárstico

Conjunto de formas de relieve relacionadas con la disolución diferencial de roca caliza. Para fines de este estudio se considera el karst superficial llamado exokárstico.

2.5 Cuencas endorreicas

Sistemas fluviales cerrados, es decir, los escurrimientos se concentran en una depresión kárstica llamada dolina, el agua se filtra y forma parte del sistema fluvial subterráneo de la región.

Los valles no son profundos y no tienen un desarrollo fluvial. El agua se filtra por medio de cavidades de distintos tamaños: ponoras, sumideros o simas, las cuales se encuentran en el centro o en los bordes de las dolinas.

El comportamiento de los valles fluviales en estas cuencas es que terminan de forma abrupta. Pedraza (1996) los llama valles fluvio-kársticos.

En el territorio de Filomeno Mata se encuentran diversas cuencas endorreicas de distintos tamaños, su presencia se relaciona a las rocas calizas del Cretácico. Sin embargo, cabe resaltar que algunas de las cuencas endorreicas se encuentran en las unidades de material volcánico del Cuaternario. Esto quiere decir que, a pesar de la cubierta volcánica prevalece o domina la estructura y litología de la Sierra Madre Oriental, puesto que las cenizas volcánicas filtran el agua y esta sigue el patrón fluvio-kárstico subyacente.

Las cuencas endorreicas abarcan altitudes de los 900 a los 1400 metros y las pendientes que presentan van de los 3° a los 15°.

2.6 Dolinas

Son formas negativas del relieve cárstico (figura 37). En plano pueden tener forma circular o elíptica. En sección transversal presenta forma cónica o de embudo; su fondo es plano y por lo general se encuentran alineadas a lo largo de grietas o de fallas. Se encuentran en la unidad de la Sierra Madre Oriental, en las calizas y lutitas del Jurásico.



Figura 37. Dolina, el fondo se encuentra relleno de terra rossa. Inmediaciones de Xoxonacatla. Foto de Zaragoza, 2010.

D. Erosivo gravitacional

Cada año en la Sierra Norte de Puebla se desarrollan procesos de ladera desencadenados por las fuertes lluvias. Esta condición de humedad aunada a una litología fracturada por los procesos de formación de la Sierra Madre Oriental, la diferente resistencia a la erosión por las litologías involucradas, así como las diferencias altitudinales y fuertes pendientes que existen, favorecen los procesos de ladera. Los identificados en el territorio de Filomeno Mata son:

2.7 Deslizamientos

Son movimientos de suelo, detritos y rocas, de una masa compacta que resbala sobre otra, ya sea de la misma composición o diferente. Ocurre a partir de una ruptura, a partir de la

cual se forma un escarpe principal, de forma cóncava o recta, se dispone de manera perpendicular a la dirección de la pendiente. El material desplazado, por lo general se dispone en forma de lóbulos y en su interior puede presentar escarpes secundarios (figura 38).

a) *Corona*

Es un área en donde el material inicia su deslizamiento, es la zona de ruptura en la cual se da el origen de los deslizamientos rotacionales. El intemperismo, el espesor del suelo, la inclinación del terreno y el acomodo de los materiales tienen un papel importante para la expresión del de la corona, en curvas o semirectas.

b) *Superficie de deslizamiento*

Se trata del plano sobre el cual se desliza el material removido, también se le llama plano de deslizamiento y esta superficie es la que presenta la mayor resistencia al movimiento, y que tiene una fuerte cohesión en los materiales que la definen. Los tamaños y dimensiones son variables y dependen del volumen y la distancia que alcanza el material removido.

Figura 38. Deslizamientos de diferentes materiales involucrados.

<p>A)</p> 	<p>A) Deslizamiento profundo de roca masiva. La fractura es paralela a la superficie de deslizamiento y el tipo de roca involucrada es de caliza.</p>
<p>B)</p> 	<p>B) Deslizamiento de suelos y detritos. En general se preserva el material desplazado el cual consiste de fragmentos de pizarra, lutitas, areniscas y de una capa edáfica que soportaba vegetación de arbustos</p>
<p>C)</p> 	<p>C) Deslizamiento superficial en donde se desplaza, principalmente la capa edáfica.</p> <p>Cabe mencionar que en cada proceso siempre hay una combinación de movimientos, por lo que es común observar un primer movimiento de deslizamiento y en su proceso cambia de comportamiento, caso C) en donde el material perdió cohesión con la incorporación de agua, por lo que el deslizamiento cambió a flujo ladera abajo.</p>

2.8 Caídas

Este tipo de movimiento se desarrolla en vertientes de fuerte inclinación o pendientes francas. Se producen por rebote, rodamiento, caída libre o se desliza ladera abajo. Una característica de este proceso y que lo vuelve peligroso, es que se desarrolla de manera muy rápida (figura 39-A).

Los vuelcos son otro tipo de movimiento, en donde un bloque se separa de la ladera e inicia con la formación de grietas de desprendimiento que se van desarrollando por intemperismo o por la presión ejercida entre materiales (figura 39-B).

En el mapa geomorfológico se representan con rasgos lineales. Están relacionados con cauces fluviales importantes y suelen generarse por socavamiento de los ríos en la base de las laderas.

a) Escarpe

Representan el límite superior de los deslizamientos. Suelen definir una superficie de inclinación pronunciada de más de 32° hasta llegar casi a los 90° . La morfología que presentan es recta y lisa cuando coinciden los planos de estratificación con la dirección de la pendiente (Figura 39). Asimismo, cuando existe una alternancia entre materiales con diferente resistencia a la erosión.

Figura 39. Caída y Vuelco.

<p>A)</p> 	<p>B)</p> 
<p>Escarpe y superficie de caída con rampa coluvial. Es común que, para evitar un daño en las construcciones, cerca de la base del depósito se construyan muros de contención. Inmediaciones de Nueva Necaxca, roca involucrada de caliza. Foto de Zaragoza, 2010.</p>	<p>Vuelco en las inmediaciones de Zapotitlán de Méndez. La ladera tiene una pendiente mayor a los 32°. En las partes contiguas a este movimiento se observaron grietas de desprendimiento, por lo que la ladera seguirá en un proceso de retroceso. Rocas involucradas de calizas y lutitas. Foto de Zaragoza, 2001.</p>

Se trata de aquellas laderas cuyo origen se debe al resultado de la fuerza de erosión que se lleva en su base después de que el material cae o colapsa. Es decir, luego del movimiento queda una nueva superficie expuesta a los agentes exógenos, en donde puede haber movimientos en cuanto influyan los procesos de erosión. Al pie de algunas de estas laderas se observan rampas coluviales.

E. Acumulativo Gravitacional

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

2.9 Lóbulos de deslizamiento

Están relacionados con los deslizamientos rotacionales en bloques y por lo general ya no se puede observar su morfología inicial ya que los procesos erosivos remueven el material no consolidado. De esta manera, el lóbulo inicial se transforma en varios flujos, dependiendo de la cantidad de agua presente. Lo más común es que el lóbulo de deslizamiento se observe en campo como lomeríos dispersos.

2.10 Rampas coluviales

Se trata de los depósitos que se localizan al pie de los escarpes de caídas. En la mayor parte de los casos se definen como una rampa continua con inclinaciones que pueden llegar a los 30°. El depósito coluvial, en el arreglo de los materiales, presenta un acomodo textural ya que las rocas de mayor tamaño se disponen en la parte más distal de toda la acumulación y los fragmentos de menor tamaño se disponen cerca de la pared de desprendimiento o de las laderas (figura 40).



Figura 40. Rampa coluvial. Rocas involucradas de calizas y lutitas. Carretera a Xicotepec. Foto de Zaragoza 2010

El análisis geomorfológico permitió integrar la información geológica, de génesis y morfología de una manera estructurada, en el cual se presentan los límites precisos que ayudaron a una mejor interpretación y entendimiento de las condiciones naturales del territorio de Filomeno Mata. El mapa geomorfológico (**anexo 1**), tiene una gran importancia y utilización tanto en el trabajo de campo como para identificar aquellas zonas susceptibles a presentar procesos de ladera y que represente un riesgo para la población (figura 41).

La aplicación del estudio geomorfológico en Filomeno Mata, es la identificación de los procesos de ladera, su distribución, espacialidad e incluso temporalidad. Ya que, la lluvia es un fenómeno natural, previsible, esperable y cíclico, pero, cuando aumenta su magnitud e intensidad, más de lo esperado, entonces se vuelve un riesgo, que aunado a vulnerabilidad física (relieve) y socio-económico del territorio de Filomeno Mata es que se ocasiona el desastre.

Figura 41. Afectaciones y peligro para la población por los procesos de remoción en masa.

<p>A)</p> 	<p>Escuela Secundaria Técnica 83, Ahuacatlán, Puebla.</p> <p>En la parte trasera de la escuela se observa una corona de deslizamiento reciente y el escarpe.</p>
<p>B)</p> 	<p>En la Sierra Norte de Puebla es frecuente encontrar pequeñas poblaciones aisladas, las viviendas son precarias y no cuentan con los servicios necesarios ni con vías de comunicación adecuadas.</p> <p>Afectación a casas habitación por un depósito de deslizamiento.</p>
<p>C)</p> 	<p>En esta imagen se aprecian construcciones de casa habitación, eran la propuesta de reubicación para personas que habían perdido sus viviendas anterior a 1999, sin embargo las fuertes lluvias de ese año generaron inundaciones y diversos procesos de remoción en masa que afectaron a toda la población.</p>

4.4. Relación entre la geomorfología y los procesos de remoción en masa.

Las fuertes lluvias son un fenómeno natural que cuando incrementan su magnitud e intensidad se convierten en un peligro, como las ocurridas en 1999, sus efectos como los procesos de remoción en masa y las inundaciones tuvieron repercusiones sociales, políticas, económicas y naturales al grado de afectar la sustentabilidad de desarrollo de la región.

El análisis de los procesos de ladera, como un fenómeno natural y elemento activo de la geomorfología, permite identificar aquellas unidades del relieve susceptibles a dichos movimientos.

El relieve de Filomeno Mata, comprendido en la Sierra Madre Oriental, está expuesto a condiciones de temperatura y alta humedad, como las lluvias torrenciales ocurridas en 1999, condiciones que fomentan el intemperismo y la erosión. El primero alterando las rocas y provocando la debilidad de los materiales, aunque, también se presenta en zonas de aparente estabilidad como en rocas masivas de caliza sobre las que se ha formado la terra rossa.

La erosión está presente con diversos procesos como lo kársticos, fluviales y los que atañe en este trabajo, los procesos de ladera que generan un desgaste permanente de la Sierra Madre Oriental. Al relacionar las características del relieve con los procesos de remoción en masa, existe un vínculo con la altimetría, pendiente, litología y morfología.

a) Procesos de remoción en masa y la altimetría.

El mapa altimétrico, como un elemento cuantitativo del relieve, permite distinguir lo siguiente:

Los valores con más de 1200 metros concentran gran cantidad de procesos de remoción en masa; abarca la mayor parte del territorio de Filomeno Mata y corresponde con la estructura de la Sierra Madre Oriental. Se observa que, a mayor altitud, los procesos de ladera son de mayor magnitud en la lateral y mayor profundidad.

Sin embargo, también se observan en altitudes de 500-900 metros, en las estribaciones de la Sierra, donde las laderas de los valles fluviales llegan a presentar profundidades de más de 300 metros.

Considerando el valor inferior de 500 metros como parámetro en la presencia de procesos de remoción en masa y el más alto de 2520 metros, la diferencia 2020 metros, representa un potencial de erosión en la zona de estudio y por tanto una mayor susceptibilidad a que se generen dichos procesos de gran magnitud.

b) Procesos de remoción en masa y pendiente

Otro elemento cuantitativo del relieve es la pendiente y su mapa correspondiente muestra la distancia vertical en grados de las inclinaciones del relieve; de tal manera que los procesos de ladera de gran magnitud se concentran en las laderas con inclinaciones de más de 25°. Sin embargo, para hablar de susceptibilidad se tomaron dos rangos:

El primero, con valores de más de 35°, correspondiente con una mayor susceptibilidad a los procesos de remoción en masa, abarca las laderas de montaña de la

Sierra Madre Oriental intensamente modeladas con sus valles profundos. El mapa de pendientes evidencia los escarpes de montaña, incluso paredes verticales cercanos a los 90°, en los cuales los procesos de caída son los principales. Así mismo, resaltan los circos de erosión, los cuales se encuentran en un constante crecimiento en la horizontal y en donde se pueden encontrar procesos como deslizamientos, caídas y flujos.

El segundo rango de 25°-35°, corresponde con las estribaciones tanto de la Sierra Madre Oriental como del Cinturón volcánico Transmexicano. Es importante señalar que en el trabajo de campo se observó que una de las actividades económicas principales es la agricultura de maíz, café y diversos árboles frutales. Dichos cultivos se desarrollan en las laderas con estos valores de pendiente. Así mismo, se observó que la construcción de casas habitación se encuentran al pie o en el intermedio de estas laderas, situación que incrementa la vulnerabilidad de la población.

Cabe mencionar que, la zona de estudio se encuentra enclavada en la Sierra Madre Oriental, en un relieve de montaña, por lo que no se pretende desestimar pendientes inferiores a los 25°, ya que, también son susceptibles a presentar procesos de ladera, pero de menores dimensiones y magnitudes, y los cuales pueden ser desencadenados, además de las fuertes lluvias, por las actividades humanas como el cambio de uso de suelo.

c) Procesos de remoción en masa y litología

En el mapa geomorfológico se observa que el mayor número de procesos de ladera se concentra en la estructura de la Sierra Madre Oriental, en particular en las unidades litológicas de caliza y lutitas y que se disponen de manera predominante de NW-SE en la zona de estudio.

De acuerdo con la escala empleada en la fotointerpretación y posteriormente su respectiva cartografía, solo son visibles los procesos de ladera de más de 300 metros. Sin embargo, en campo se observó que donde predominan las limolitas, lutitas y areniscas existen un sin número de procesos de ladera, los cuales no fueron posible cartografiar. Pero, en la mayoría de los circos fluviales observables, principalmente los correspondientes con ríos de primer orden, que se caracterizan por ser altamente erosivos, se asociaba con algún tipo de proceso de ladera: caída, deslizamiento o flujo.

Con respecto a las calizas masivas, las características que favorecen los procesos de ladera son la altura, la pendiente y la estructura de fracturas, propias de la Sierra Madre Oriental. Las propiedades de los movimientos de ladera son las dimensiones en su tamaño, de más de 300 metros, y la proporción en cuanto al material removido de toneladas de: roca masiva, detritos, suelo y capa de vegetación. Es así que, su frecuencia es menor pero su nivel destructivo es mayor.

Otros procesos asociados a esta unidad litológica son los kársticos como las dolinas de diversos tamaños y profundidades en superficie. Debido a que se trata a una forma negativa del relieve, en sus límites se observan movimientos de caídas. Otro procesos asociado a las calizas masivas es el lapiaz, por lo que es común observar procesos de caída en las paredes verticales de esta unidad así como vuelcos o desplomes de grandes bloques, debido a que las grietas que hay en la roca son más susceptibles al intemperismo y erosión, esto debilita la cohesión del material.

d) Procesos de remoción en masa y morfología.

De acuerdo con las formas de relieve, las laderas de montaña intensamente modelada, es la unidad morfológica que presenta el mayor número de procesos de remoción en masa; abarca una considerable parte del territorio de Filomeno Mata y corresponde con la estructura de la Sierra Madre Oriental. Se caracteriza por presentar una fuerte erosión fluvial con valles profundos de más de 500 metros. Los escarpes y los circos de erosión están alineados y siguen las fracturas de plegamiento de la Sierra Madre Oriental. Asimismo, los circos erosivos están en constante erosión remontante y con un crecimiento en la lateral, esto se debe a que en su evolución se presentan movimientos de caída, deslizamiento y flujos.

Otra unidad con un aparente menor número de procesos de ladera, es el relacionado con las estribaciones del Cinturón Volcánico Mexicano como son las mesetas de lava y las cubiertas de ceniza. En las mesetas de lava, que tienen una mayor resistencia a la erosión, se definen sus límites por escarpes en los cuales los procesos de caída son los más comunes. Y en las cubiertas de ceniza, los procesos de ladera son dimensiones menores debido a que el material volcánico atenúa la estructura montañosa de la Sierra Madre Oriental, además, por la escala de interpretación no se pudieron cartografiar, pero en campo se apreciaban con una alta frecuencia y de menor tamaño.

Conclusiones

Las lluvias extraordinarias ocurridas en el mes de octubre de 1999 afectaron a un gran número de municipios localizados en la Sierra Norte de Puebla. En el contexto y contribución de este trabajo sobre el territorio de Filomeno Mata se tiene:

- Los trabajos previos al desastre de 1999 solo se relacionaban con estudios regionales o por provincias fisiográficas, las cuales abarcan grandes extensiones. No se aportaba un análisis en particular de esta parte del país. Por otro lado, el territorio de Filomeno Mata no cuenta con estudios de caso, excepto Zapotitlán de Méndez, localizado en la porción SE, por lo que, con este trabajo, se consigue un primer análisis geomorfológico de esta fracción de la Sierra Norte de Puebla.
- La aplicación de una metodología con un sustento conceptual y verificada con el trabajo de campo, facilitó el conocimiento y comprensión de los fenómenos naturales que pueden ocasionar desastre.
- El análisis de los aspectos físicos del paisaje contribuyó a entender el territorio de Filomeno Mata. La interacción de la geología, el clima y las actividades humanas que se llevan a cabo en la Sierra Norte de Puebla, propician el desarrollo de procesos que dan forma al relieve.
- En la cartografía geomorfológica, se representan todas las formas del relieve que se encuentran sobre el terreno y en la que se aprecia la génesis, morfología, dinámica y material involucrado. El agua es el principal modelador de la superficie terrestre. En el paisaje de Filomeno Mata, las escorrentías superficiales del agua junto a los fenómenos de remoción en masa constituyen un proceso geomorfológico de erosión, transporte y acumulación sedimentaria.

- Otra aportación de la cartografía geomorfológica es que permite identificar las unidades de mayor susceptibilidad a los procesos de ladera. Así mismo, tomando en cuenta la cartografía geomorfológica y las características cuantitativas del relieve, altimetría y pendiente, así como la litología, se determinaron unidades de susceptibilidad a los procesos erosivos de remoción en masa.
 - La primera de ellas corresponde con: las laderas de montaña intensamente plegadas, las cuales presentan un mayor número de deslizamientos, caída y flujos de gran magnitud. Esta unidad está formada por rocas sedimentarias plegadas del Jurásico y Cretácico. La litología involucrada es de calizas y lutitas, principalmente, y forman parte de la estructura de la Sierra Madre Oriental; los valores altimétricos van de los 1200 metros a los 2520 metros y con pendientes de más de 35° de inclinación.
 - La siguiente unidad corresponde con las estribaciones de la Sierra Madre Oriental y el Sistema Volcánico Transmexicano, se caracteriza por tener inclinaciones de laderas de los 25° a los 35°, sus valles tienen profundidades de aproximadamente 300 metros. Un dato a destacar es que esta unidad presenta un menor número de procesos de remoción en masa de gran magnitud, pero en campo la frecuencia fue mayor y los movimientos implicados fueron deslizamientos de detritos y de suelos. El material involucrado es de intercalaciones de caliza, lutitas, areniscas y limolitas.
 - La tercera unidad en presentar procesos de ladera corresponde con las estribaciones del Sistema Volcánico Mexicano. El mapa geomorfológico muestra movimientos aislados y una aparente estabilidad, sin embargo, no

se exime por dicha situación, ya que, la velocidad de erosión está amortiguada por la cubierta piroclástica que corona las partes altas de la Sierra Norte de Puebla. Esta unidad no está exenta de presentar movimientos que sigan la estructura de la Sierra Madre Oriental.

En el territorio de Filomeno Mata, las afectaciones son cíclicas en las temporadas de lluvia y la población ha convivido con este tipo de riesgo que ha generado desastre.

Los procesos de ladera afectan la vida cotidiana de las personas, dañan la infraestructura de servicios, como las vías de comunicación: caminos, puentes y líneas de teléfono. También provocan daños a los cultivos de maíz, café, frutales, entre otros; así como a las viviendas y los servicios de drenaje, agua potable, pavimentación y luz.

Finalmente, el legado de este trabajo es el de un registro histórico sistemático de la ocurrencia de los procesos de remoción en masa en Filomeno Mata, con el cual se espera sentar la base para estudios más precisos sobre dichos fenómenos y elaborar planes sobre medidas de mitigación o prevención, de tal manera que la población conviva con el riesgo que implican los movimientos de remoción en masa, de una forma planeada, estructurada y segura.

Bibliografía

- Alcántara-Ayala, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, núm. 41
- Alcántara-Ayala, I. (2010). Derrumbes: una luz al final del túnel. Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección General de divulgación de la Ciencia, 29p.
- Ayala-Carcedo, F. y Olcina-Cantos, J. (coordinadores) (2002). *Riesgos naturales*. Ariel Ciencia, Barcelona, 1512p.
- Belt, B. C. (1925). Stratigraphy of the Tampico District of Mexico. *Bulletin American Association of Petroleum Geologist*, 9(1): 136-144
- Bitrán-Bitrán, D. (2000). *Evaluación de los principales desastres naturales ocurridos en la República Mexicana durante 1999*, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Cuaderno de investigación 50, 194p.
- Bitrán, D; Rueda, S; Salas, M. A. (2000) Evaluación del impacto económico de las lluvias torrenciales ocurridas en octubre de 1999 en el estado de Veracruz. en: Bitrán-Bitrán, D. (2000). *Evaluación de los principales desastres naturales ocurridos en la República Mexicana durante 1999*, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Cuaderno de investigación 50. Pp. 121-160.
- Capra-Pedol, L., Lugo-Hubp, J., Dávila-Hernández, N. (2003). Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: relación entre litología y tipo de movimiento. *Revista mexicana de ciencias geológicas*. Vol. 20, núm. 2, pp. 95-106.

- CENAPRED (1996). Inestabilidad de laderas naturales y taludes. Secretaría de Gobernación. Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastre. *Fascículo no. 11*. México. 34p.
- CENAPRED (2001). Heladas, *Serie: Fascículos*, Centro Nacional de Prevención de Desastre, 35p.
- Corominas, J. (2000). *Tipos de rotura en laderas y taludes*. Universidad Politécnica de Cataluña. Pág 1-17.
- Corominas, J. y García Yagüe, A. (1997). "Terminología de los movimientos de ladera". IV *Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Granada. Vol. 3: 1051-1072
- Crozier, M. J., 1986, *Landslides; Cause, Consequences and Environment*: Londres, Croom Helm, 252 p.
- Dumble, E. T. (1911). *Rediscovery of some conrad forms*. *Science*. S. S. Vol. XXXIII. No. 860.
- Dikau, R., D. Brunsten, L. Schrott and M.-L. Ibsen (eds.; 1996), *Landslide Recognition*, John Wiley and Sons, Chichester.
- Eguiluz de Antuñano, S; Aranda García, M y Marrett, R. (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. En *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. V.LIII pág. 1-26.
- EPOCH (European Community Programme; 1993), Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community, Flageollet, J. C. (ed.), 3 volumes, Contract no. 90 0025
- García-Arizaga, M. (1995). *Origen y evolución de un deslizamiento de tierras en Metztlán, Hidalgo, México*. Tesis de Maestría, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, D. F. 138p.

- García-Yagüe, A. y García-Álvarez, J. (1988) "Clasificación tipológica de los movimientos de ladera". Comunicaciones II. *Simposio sobre Taludes y Laderas inestables*. Andorra la Vella. Pp. 53-64
- Gutiérrez-Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación. S. A., Madrid. 898 p.
- Hutchinson, J. N. (1988). General report: Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and hydrogeology. In Bonnard C & Balkema A. A. (Editor). In: Proceedings of 5th international symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, Vol. 1, pp. 3-35
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (1983). *Carta Topográfica Filomeno Mata, clave F 14D84*. Escala 1:50 000, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (1984). *Carta Geológica-Minera Poza Rica, clave F 14-12, Veracruz, Puebla, Hidalgo*. Escala 1:250 000, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (1995). Fotografías aéreas de la zona F14-12. Escala 1:75 000. Líneas 175, 176, 177. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- López- Ramos, E. (1979). *Geología de México*. Tomo II, México. Edición escolar. 454p.
- Lugo-Hubp, J. I. (1988). *Elementos de Geomorfología Aplicada (métodos cartográficos)* Universidad Nacional Autónoma de México. Núm. De págs. 128
- Lugo-Hubp, J. (1990). El relieve de la República Mexicana. Instituto de Geología. UNAM. *Revista* volumen 9, número 1, pp. 82-111

- Lugo, J., García, F., Matías, L.G. (1999). Evaluación de daños y recomendaciones en algunas localidades del estado de Puebla a partir de la visita técnica realizada durante los días 23 y 24 de octubre de 1999, en: Bitrán-Bitrán, D. (2000). *Evaluación de los principales desastres naturales ocurridos en la República Mexicana durante 1999*, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Cuaderno de investigación 50. Pp. 185-190.
- Lugo-Hubp, J., Inbar, M. (2002). Desastres naturales en América Latina. *En Desastres naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica. Pp9-33
- Lugo-Hubp, J., Zamorano-Orozco, J. J., Capra-Pedol, L., Inbar, M., Alcántara-Ayala, I., (2005). Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: causas y efectos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 22, núm. 2, pp. 212-228
- Lugo-Hubp, J. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. Instituto de Geografía. UNAM. 479 p.
- Muir, J. M. (1934). *Limestone reservoir rocks in the Mexican oil field*: in Problems of Petroleum Geology: Tulsa, Am. Assoc. Petroleum Geologists, p. 377-398
- Panizza, M. (1993). *Geomorfologia Applicata. Metodi di applicazione allá Pianificazione territoriale e allá Valutazione d'Impatto Ambientale*. La Nuova Italia Scientifica. Roma, 1993. Pp 342.
- Parrilla, G. y Palacios, D. (1995). Bibliografías específicas sobre un proceso de ladera: flujo masivo de depósito (debris flows), cuando es generado por lluvias intensas en áreas no volcánicas. *Anales de Geografía de Universidad Complutense*, núm.14. ser. Publicaciones, pp. 225-266.

- Pedraza-Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones*. Editorial Rueda, Madrid, 414 p.
- Pérez-Riobo, A., Vrba, A. (2017). *Ciencias de la Tierra*, editorial Maipue, Ituzaingó, Buenos Aires, 120p.
- Romero, G., Maskrey, A. (1993). Como entender los desastres naturales, en: Maskrey, A. (compilador), 1993. *Los Desastres no son Naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La RED), pp 6-10.
- Salazar-Mandujano, S. (1969). Estudio geológico regional del prospecto Zacatepec: México. *DF, Petróleos Mexicanos*.
- Sharpe, C F. S., 1938, Landslides and related phenomena: Ney York, Columbia University Press, 137 p.
- Stephenson, L. W. (1922). *Some Upper Cretaceous shells of the rudistid group from Tamaulipas, Mexico* (Vol. 61). US Government Printing Office.
- Varnes, D. J., 1958, Landslide types and processes, en Eckel, E. B. (ed.), *Landslides an Engineering Practice*: Washington D. C., National Research Council, Highway Research Board, Special Report, 29, 20-47
- Varnes, D. J., 1978, Slope movement and processes, en Schuster, R. L., Krizek, R. J. (eds.), *Landslides Analysis and Control*: Washington D. C., National Academy of Sciences, Transportation Research Board, Special Report 176, 11-13.
- Vázquez-Conde, T., Echavarría-Luna, A. (1999). Visita al noroeste de Puebla los días 16 y 17 de octubre, en: Bitrán-Bitrán, D., 200, *Evaluación de los principales desastres naturales ocurridos en la República Mexicana durante 1999*, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Cuaderno de investigación 50. Pp. 191-194.

Vidal-Zepeda, R. (2005). Las regiones climáticas de México I.2.2. *Temas selectos de Geografía de México*. Instituto de Geografía, UNAM, 210 p.

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

Záruba, Q., Mencl, V., 1969, *Landslides and their Control*: Nueva York, Elsevier y Academia de Ciencias de Checoslovaquia, 205 p.

Mesografías.

Benemérita Universidad de Puebla:

<http://148.228.11.41/cupreder-2020/desastres/?q=lluvias-de-octubre-de-1999-en-la-sierra-norte-de-puebla>

Cenapred:

<https://www.gob.mx/cenapred>

La jornada de Oriente. (1999, octubre 6). Se desgajó un cerro en Teziutlán; podría haber decenas de personas sepultadas. *La Jornada de Oriente*. Recuperado en agosto de 2020 de: <https://www.jornada.com.mx/1999/10/06/est-unos.html>

Hernández-Alcántara, M., (1999, octubre 21) La SG cuenta 22 muertos en Tapayula; un ex edil, 180 fallecidos y 80 desaparecidos. *La jornada de Oriente*. Recuperado en agosto de 2020 de: <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/1999/10/21/oriente-e.htm>

Fernández-Fuentes, A., Macías-Medrano, J. M. (2009, octubre 5). Lo natural del desastre de octubre de 1999. *La Jornada de Oriente*. Recuperado en agosto de 2020 de:

<https://www.lajornadadeoriente.com.mx/2009/10/05/puebla/perfil.pdfv>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática:

<https://www.inegi.org.mx/>

INEGI, 2020, mapa de la República Mexicana, digital:

<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjIzLjMyMDA4LGxvbjotMTAxLjUwMDAwLHo6MSxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dGMxMTFzZXJ2aWNpb3M=>

LANDSAT (2000). Imagen de satélite Teziutlán.

Servicio geológico mexicano:

<https://www.gob.mx/sgm#2017>

Servicio Meteorológico Nacional:

<https://smn.conagua.gob.mx/es/>

<https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/etapas-de-evolucion>

Sociedad geológica mexicana:

<http://www.igeofcu.unam.mx/sgm/>

The Geological Society:

<http://www.ukgeohazards.info/index.html>

Televisión Azteca. Noticia:

“Luto en la Sierra Norte de Puebla”

<https://www.youtube.com/watch?v=L8DHYPiX0qE>

“Declaran emergencia en Puebla tras paso del huracán Earl”

<https://www.youtube.com/watch?v=BW1oRyy8jRA>

“Caen puentes en Puebla e incomunican a comunidades”

<https://www.youtube.com/watch?v=8iVg2SV73lw>

“Earl acabó con 80% de economía en Sierra de Puebla”

<https://www.youtube.com/watch?v=reJCWLq1-pY>

“Derrumbe en Puebla afecta camino y ductos de Pemex”

<https://www.youtube.com/watch?v=FmMA5IA0Gug>

“850 alumnos sin clases en Puebla”

<https://www.youtube.com/watch?v=G6vJnPYX7gA>

Bibliografía de la tabla del apartado de antecedentes, capítulo 1:

Alcántara-Ayala, I., Esteban-Chávez, O. and Parrot, J. F. (2006). Landsliding related to land-cover change: Adiachronic analysis of hillslope instability distribution in the Sierra Norte, Puebla, México, *Catena*, 65 (5): 152-165.

Alcántara-Ayala, I., Garnica-Peña, R. J., Coll-Hurtado, A., Gutiérrez de MacGregor, M. (Coordinadores) (2017). *Inestabilidad de laderas en Teziutlán, Puebla. Factores inductores del riesgo de desastre*, Universidad Nacional Autónoma de México, 224p.

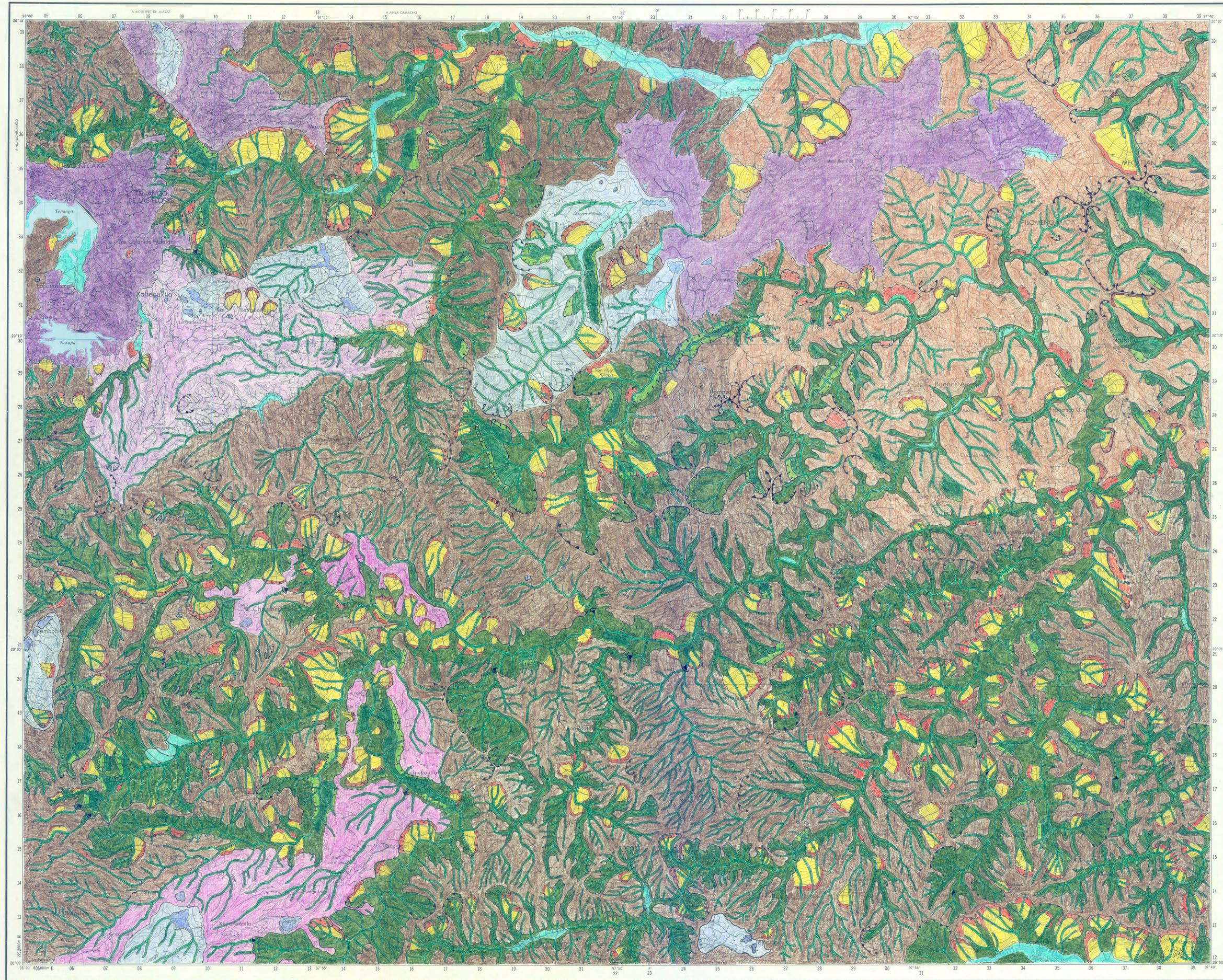
- Alcántara-Ayala, I., Murillo-García, F. G. (2008). Procesos de remoción en masa en Méxicio: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional: *Investigaciones Geográficas*, UNAM, núm. 66, pp. 47-64
- Borja-Baeza, R. (2003). *Análisis de susceptibilidad y riesgo asociados a procesos de remoción en masa en Zacapoaxtla, Puebla: México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis de licenciatura, 154p.
- Borja-Baeza, R., Alcántara-Ayala, I. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla: *Investigaciones Geográficas*, UNAM, núm. 53, pp. 7-26
- Borja-Baeza, R. C., Alcántara-Ayala, I. (2010). Susceptibility to mass movement processes in the municipality of Tlatlauquitepec, Sierra Norte de Puebla: *Investigaciones geográficas*, UNAM, núm. 73, pp. 7-21.
- Capra-Pedol, L., Lugo-Hubp, J. I., Borselli, L. (2003a). Mass movements in tropical volcanic terrain: the case of Teziutlán (México): *Engineering Geology*, *Elsevier*, núm. 3-4, pp. 359-379
- Capra-Pedol, L., Lugo-Hubp, J., Dávila-Hernández, N. (2003b). Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: relación entre litología y tipo de movimiento. *Revista mexicana de ciencias geológicas*. Vol. 20, núm. 2, pp. 95-106.
- Capra-Pedol, L., Lugo-Hubp, J., Zamorano-Orozco, J. J. (2006). La importancia de la geología en el estudio de los procesos de remoción en masa: el caso de Totomoxtla, Sierra Norte de Puebla, México: *Boletín de la sociedad Geológica Mexicana*, Vol. 58, núm. 2, pp. 205. 214.

- Dávila-Hernández, N. (2003). *Zonificación del peligro por procesos de remoción en masa con base en la aplicación de un análisis estadístico multivariado condicional; la barranca El Calvario, Teziutlán, Puebla*: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis de licenciatura, 116p.
- Flores-Lorenzo, P. (2002). *Inestabilidad de las laderas y riesgos asociados en Teziutlán, Puebla: México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis de licenciatura, 120p.
- Flores-Lorenzo, P., Alcántara-Ayala, I. (2002). Cartografía morfogenética e identificación de procesos de ladera en Teziutlán, Puebla: *Investigaciones Geográficas*, UNAM, núm. 49, pp. 7-26.
- Galindo-Serrano, J.A., Alcántara-Ayala, I. (2015). Inestabilidad de laderas e infraestructura vial: análisis de susceptibilidad en la Sierra Nororiental de Puebla, México, *Investigaciones Geográficas*, UNAM, núm. 88, pp. 122-145.
- Hernández-Aguilar, B., Ruiz-Rivera, N. (2016). The production of vulnerability to landslides: the risk habitus in two landslides-prone neighborhoods in Teziutlán, México: *Investigaciones Geográficas*, UNAM, núm. 90, pp. 7-27.
- Hernández-Madrigal, V. M., Garduño-Monroy, V. H., Alcántara-Ayala, I. (2007). Estudio geológico para entender los procesos de remoción en masa en la región de Zacapoaxtla, Puebla, México, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 59, núm. 2, p 147-162.

- Hernández-Mena, Z. (2002). *Estudio geológico y geotécnico del deslizamiento de Zapotitlán de Méndez, ubicado en la Sierra Norte del Estado de Puebla*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis de licenciatura, 97p.
- López-Mendoza, M. (2003). *Diseño de un programa de prevención y mitigación de desastres asociados a inundaciones y procesos de remoción en masa en Zapotitlán de Méndez, Pue.*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis de licenciatura, 244p.
- Lugo-Hubp, J., Vázquez-Conde, M., Melgarejo-Palafox, G., García-Jiménez, F., Matías-Ramírez, G. (2001). Procesos gravitacionales en las montañas de Puebla: *Ciencia y Desarrollo*, Vol. XXVII, núm. 157, pp. 24-33.
- Lugo-Hubp, J., Zamorano-Orozco, J. J., Capra-Pedol, L., Inbar, M., Alcántara-Ayala, I. (2005). Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: causas y efectos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 22, núm. 2, pp. 212-228
- Marcos-López, J. (2003). *Distribución espacial de los procesos de remoción en masa y riesgos asociados en el municipio de Tlautlauquitepec, Puebla*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis de licenciatura, 151p.
- Murillo-García, F. G., Alcántara-Ayala, I. (2017). Landslide inventory, Teziutlán municipality, Puebla, México (1942-2015): *Journal of Maps*, vol. 13, núm. 2, p. 767-776

- Ochoa-Tejeda, V. (2004). *Propuesta metodológica para el estudio de inestabilidad de laderas a partir de los MDT y la percepción remota: México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis de maestría, 213p.
- Ochoa- Tejeda, V., Parrot, J. F. (2007). Extracción automática de trazas de deslizamientos utilizando un modelo digital de terreno e imágenes de satélite de alta resolución IKONOS. Ejemplo en la Sierra Norte de Puebla, México, *Revista mexicana de ciencias geológicas*, vol. 24, núm. 3. pp. 354-367.
- Oliva- Aguilar, V. F., Garza-Merodio, G. G., Alcántara-Ayala, I. (2011) Configuration and temporal dimensión of vulnerability: mestizo spaces and disasters in the Sierra norte de Puebla: *Investigaciones Geográficas*, UNAM, núm. 75, pp 61-74.
- Zaragoza-Zúñiga, N. (2006). *Procesos de ladera en la región de Cuetzalan; un enfoque geomorfológico: México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de filosofía y Letras, tesis de licenciatura, 102p.

Geomorfología de Filomeno Mata



- I RELIEVE ENDÓGENO MODELADO**
- Sierra Madre Oriental**
- 1.1 Laderas de montaña intensamente modeladas; constituidas en su mayor parte de calizas
 - 1.2 Sierras menores
- Estribaciones de la Sierra Madre Oriental**
- 1.3 Cubiertas piroclásticas con morfología tabular
 - 1.4 Mesas de lava
- II RELIEVE EXÓGENO**
- A. Erosivo fluvial**
- 2.1 Valles fluviales
 - a) Menores a 20 m de profundidad
 - b) Entre 20 y 40 m
 - c) Mayores a 40 m
 - 2.2 Circo de erosión fluvial
 - a) Activo
 - b) Inactivo
 - 2.3 Salto de cabecera
- B. Acumulativo fluvial**
- 2.4 Llanura aluvial
- C. Erosivo cárstico**
- 2.5 Cuencas endorreicas
 - 2.6 Dolinas
- D. Erosivo gravitacional**
- 2.7 Deslizamientos
 - a) Corona
 - b) Superficie de deslizamiento
 - 2.8 Caídas
 - a) Escarpe
 - b) Ladera susceptible
- E. Acumulativo gravitacional**
- 2.9 Lóbulos de deslizamientos
 - 2.10 Rampas coluviales
- ESCALA 1:50,000