



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**



**APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL
RIESGO POR CAÍDAS DE BLOQUES ASOCIADO A LA
SISMICIDAD. CASO DEL ESTUDIO: SANTA MARÍA
TIXMADEJÉ, ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO.**

QUE PRESENTA PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA:

JUÁREZ SÁNCHEZ ANDREA

ASESOR DE TESIS:

DR. DAVID A. NOVELO CASANOVA

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. David A. Novelo Casanova por su apoyo y confianza para la realización de este trabajo.

A la maestra Azalía Monroy Salazar por brindar toda la información necesaria para la realización de esta investigación.

Al Ingeniero José Arturo Montiel Rosado por el apoyo y asesoría durante el trabajo de campo.

A mis compañeros y amigos Jonathan Castrejón Gómez y Leonel Gutiérrez Claudio por su tiempo y apoyo brindado durante la práctica de campo.

A Héctor Miguel Huerta Espinoza por la asistencia con el programa ArcGis 9.3.3 para la realización de los mapas.

Este trabajo fue realizado como parte del proyecto “Construcción de Escenarios de Riesgo para la Reducción de Desastres. Proyecto piloto en la Sierra Madre de Chiapas”.

Financiado por el CONACYT (PTO. No. 56624).

Y por último a mi pequeña enorme familia: mi madre Luisa, mi hermano Erik y mi padre Andrés que aunque no está presente físicamente, está en espíritu.

Sin su apoyo no sería posible éste nuevo logro que también es de ellos.

A todos ellos, gracias.

INDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	4
CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
2.1 Cinturón Volcánico Mexicano	13
2.2 Graben de Acambay	15
2.3 Falla Acambay-Tixmadejé.....	18
2.4 Sismo de 1912	20
2.5 Origen del sismo	20
2.6 Daños	21
2.7 Elementos geológicos de Tixmadejé	22
CAPITULO 3: TRABAJO DE CAMPO: IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO POR CAÍDAS DE BLOQUES.....	26
3.1 Metodología para identificar caída de bloques	28
3.2 Procesamiento de datos	38
3.3 Caída de bloques identificados	42
CAPITULO 4: CARACTERÍSTICAS DE LA VULNERABILIDAD EN SANTA MARÍA TIXMADEJÉ .	44
4.1 Zonificación de la vulnerabilidad social y económica.....	46
4.2 Zonificación de la vulnerabilidad educativa	52
4.3 Zonificación de la vulnerabilidad estructural.....	54
4.4 Zonificación de la vulnerabilidad total.....	57
CAPITULO 5: ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR CAÍDA DE BLOQUES ASOCIADA A LA SISMICIDAD.....	60
5.1 Nivel de riesgo por caída de bloques asociado a la sismicidad	61
5.2 Mapa de riesgo	67
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA	80

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la Tierra, los fenómenos naturales han estado presentes, tornándose como una constante inherente a ella. Existe una amplia diversidad de ellos, por ejemplo: las inundaciones, procesos gravitacionales, ciclones, sismos, la actividad volcánica, sólo por mencionar algunos. Si bien, un fenómeno natural forma parte del proceso dinámico del planeta, cuando estos procesos alteran las actividades humanas, pueden llegar a tornarse en un peligro natural para una sociedad vulnerable.

Por otro lado, el crecimiento y desarrollo de una sociedad depende del aprovechamiento de los recursos naturales del lugar donde se establece, ocasionando que al satisfacer las necesidades de una población, cambiante y con un crecimiento desmedido, el equilibrio de los procesos naturales se rompa, lo cual altera el espacio en el que vive y se sustenta. Siguiendo esta idea, sin lugar a dudas, algunos desastres son causados por las actividades humanas, de esta manera, el desastre torna al ser humano como protagonista, pues no es posible hablar de peligro, riesgo o desastre, si no existe el factor humano.

Por lo anterior, el tema de riesgos por fenómenos naturales resulta de particular interés a una variedad de disciplinas, principalmente las vinculadas con las ciencias de la Tierra, las cuales estiman el fenómeno natural extremo con una valoración cualitativa, lo que determina el nivel de peligro.

Para Lavell (2002), el peligro está definido como los posibles eventos físicos dañinos que en caso de que se produzcan sobre grupos de población vulnerables, su producción e infraestructura, dará lugar a pérdidas económicas y sociales que pueden alcanzar la magnitud de un desastre. Es así que una amenaza se torna en peligro, cuando los elementos que la envuelven (magnitud, área de impacto, período de recurrencia) pueden ser potencialmente dañinos para una población vulnerable.

Por su parte, Romero y Maskrey (1993), indican que ciertos procesos naturales (por su tipo y magnitud, así como por lo sorpresivo de su ocurrencia) resultan desastrosos cuando afectan a una fuente de vida con la cual el hombre contaba o un modo de vida realizado en función de una determinada geografía.

Para Wilches-Chaux (1998) la amenaza es la posibilidad teórica de que suceda un evento natural que tenga un potencial de daño sobre una población vulnerable, en contraste, el peligro surge cuando dicha amenaza pasa de la posibilidad a la probabilidad de que un evento se produzca en un determinado tiempo y región que además, no está adaptada para afrontar tal evento. Afirma que aunque un hecho sea posible, no quiere decir necesariamente que sea probable, es decir, que exista alguna certeza de que pueda llegar a suceder en la realidad, en cambio, en la evaluación del peligro existe la certeza (probabilidad) de su ocurrencia.

Aunque los conceptos anteriores definen el peligro, el cual está vinculado con las características del evento natural con potencial de daño, en todos los conceptos el componente social es el protagonista en sus acepciones. Es por esto, que las ciencias sociales conciben al riesgo como un proceso socialmente construido, debido a que las condiciones en las que se da la interacción entre los elementos naturales y sociales, generan el riesgo. En este sentido, la Geografía es privilegiada por cobijar ambas temáticas dentro de su campo de estudio.

De esta forma, los componentes que integran el riesgo son el peligro o amenaza natural al que está expuesta una comunidad y el grado de vulnerabilidad de la misma. Entonces, el peligro es el elemento natural y la vulnerabilidad el elemento social (Mansilla, 2000).

El concepto que expone mejor los elementos del riesgo es el establecido por Burton (1999), el cual explica que el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un proceso natural extremo, potencialmente peligroso para una comunidad y susceptible de causar daño a las personas, sus bienes y sus obras. No obstante,

identificar el nivel de riesgo en una localidad es complejo y varía de una población a otra, aun cuando se presente el mismo tipo de evento natural (Arenas, 2010).

Si bien, un evento natural extremo no se puede evitar, es posible evitar que éste se convierta en desastre mediante la mitigación de la vulnerabilidad. De acuerdo con Maskrey (1993), la vulnerabilidad es el grado de susceptibilidad hacia un peligro o amenaza el cual está integrado por la población y diversos componentes del desarrollo humano. Lavell (1996) señala que la vulnerabilidad es la propensión a sufrir daños por la exposición a diferentes tipos de peligros, derivada de la incapacidad para hacerles frente y la inhabilidad para adaptarse activamente a ellos.

Identificar el nivel de vulnerabilidad ayuda a mostrar las debilidades de una comunidad que pueden llegar a ser perjudiciales al momento de enfrentar un peligro. Es por esto, que se debe estimar el índice de vulnerabilidad global (IVG), el cual debe ser veraz y preciso, pues con el conocimiento del mismo se pueden iniciar las medidas de mitigación que se requieren para evitar que un peligro se convierta en desastre (Aneas de Castro, 2000).

El IVG está integrado por diferentes tipos de vulnerabilidades como la social, la económica y la educacional, entre otras. La medición de dichas vulnerabilidades se realiza mediante la recolección de datos (en gabinete y trabajo de campo) que puedan ser medibles. Es decir, se tienen que obtener variables que puedan cuantificar el nivel de todos los tipos de vulnerabilidad estudiados y para posteriormente sumar todas las vulnerabilidades para poder deducir el IVG.

La elección de las diferentes vulnerabilidades que integran un IVG, varían según el autor, el tipo de riesgo y la zona que se esté analizando. Sin embargo, Aneas de Castro (*op. cit.*), establece que son tres las vulnerabilidades básicas que deben estar presentes en una valoración del IVG, las cuales son: tipo de casa, nivel educativo y la cohesión social. Si bien, los anteriores son indicadores

elementales en el IVG, no deben de tomarse como los únicos, pues resultan escasos para estimar la vulnerabilidad total.

De esta manera, el desastre está entendido como los efectos nocivos que los fenómenos naturales y humanos producen sobre una comunidad determinada, lo que obliga a sus habitantes a abandonar sus lugares y rutinas de trabajo o sus viviendas, cuando éste ocasiona la pérdida de bienes materiales o productivos (Wilches-Chaux, 1998). En términos simples el desastre es un evento consumado, es decir, es la materialización de los peligros sobre contextos vulnerables (Mansilla, 2000).

Los fenómenos naturales extremos han generado pérdidas materiales y humanas en todo el mundo, tales como las constantes inundaciones en Bangladesh por la ocurrencia de monzones, el terremoto de 1923 en Japón que ocasionó un incendio que destruyó Tokio y causó la pérdida de 130,000 vidas; la erupción de 1985 del volcán Nevado del Ruiz, Colombia, que generó un flujo piroclástico, el cual ocasionó que la parte superficial del glaciar que cubría el cráter se derritiera formando un lahar que viajó por más de 50 km a lo largo del río Guali sepultando al poblado de Armero (Blaikie *et al.*, 1994; Mercado, 2002); sólo por mencionar algunos ejemplos.

El problema principal de los eventos anteriores, fue que la población no estaba preparada para enfrentar eventos naturales extremos, esta situación incrementó los daños ocasionados por estos fenómenos naturales, al no contar con información adecuada y las medidas de mitigación necesarias. Es por lo anterior, que la finalidad del estudio y diagnóstico en los distintos espacios de manifestación de los fenómenos naturales extremos, es identificar las características y factores que hacen que dicho fenómeno sea un riesgo, así como determinar la forma en que estos eventos inciden en los asentamientos humanos, en la infraestructura y en el entorno. Ello es el punto de partida para la puesta en práctica de acciones de protección civil y políticas de prevención y mitigación del impacto de los desastres.

Una manera efectiva para integrar la información referente al estudio del riesgo, es por medio del despliegue digital de la información espacial que aborda el análisis del peligro y la vulnerabilidad de una población determinada, a través del empleo de herramientas especializadas como lo son los sistemas de información geográfica (SIG). Estos sistemas informáticos, son una de las herramientas para la representación del riesgo, así como la generación de diferentes escenarios a través de modelos y simulaciones matemáticas. Es así, que se han generalizado metodologías como la de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2007) para evaluar el riesgo o la del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2004) que estima la vulnerabilidad, que trabajada de manera conjunta con el peligro, crean sinergias que permiten calcular el riesgo. Estas metodologías fueron utilizadas en la presente investigación

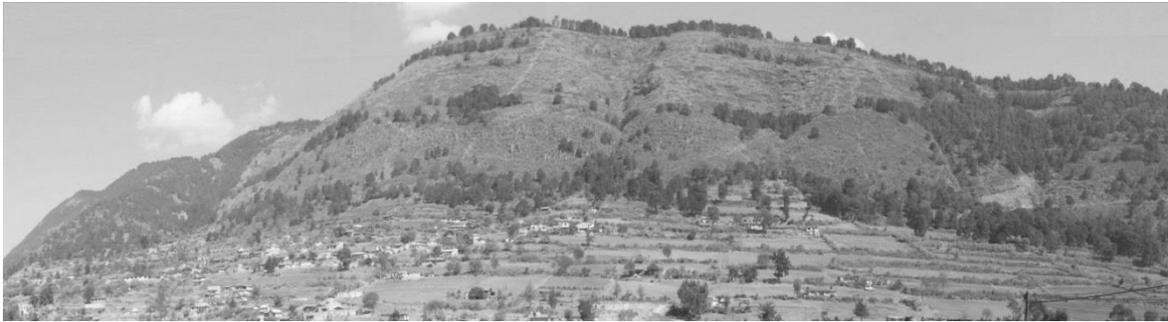
Existe una gran variedad de métodos, cuyo fin es abordar el riesgo de la mejor manera para obtener los resultados más certeros. No obstante, no existe un método perfecto que arroje resultados precisos, sino existen aquellos que se adaptan mejor al contexto del área que es objeto de estudio. A modo de comparación se puede mencionar tres trabajos. Alva-Hurtado y Chang-Chang (1987) presentaron los avances del mapa de los niveles de peligro de deslizamientos por sismos en Perú; González y Baires (1996) describen los derrumbes en el Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador; y Capra *et al.* (2006) abordaron el estudio de los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, México.

El primero de estos estudios, si bien pareciera un trabajo relevante para el propio país, lo es aún más si se contextualiza de manera global a una escala nacional y en un país en desarrollo. Sin embargo, lo expuesto por ellos (Alva-Hurtado y Chang-Chang, 1987; González y Baires, 1996; Capra *et al.*, 2006) únicamente muestra una de las fases necesarias para estimar el peligro, debido a que el trabajo únicamente hace referencia a los episodios registrados de deslizamientos asociados a sismos y no deja claro qué otros factores pudieron

facilitar estos deslizamientos. Caso contrario ocurre en el trabajo de Capra *et al.* (2006), donde además de identificar distintos eventos de procesos de remoción en masa para un cierto periodo, vincula los eventos a distintas causas como la composición geológica, la geomorfológica, los patrones hidrometeorológicos o la deforestación de las laderas.

De la misma forma, el trabajo de González y Baires (1996) identifica sitios de ocurrencia de deslizamientos e inundaciones en el país de El Salvador, aunque de manera puntual, sin establecer niveles de riesgo, puesto que el mayor énfasis, en la realización del trabajo, se le da a la construcción de las vulnerabilidades, igualmente de manera puntual sobre un mapa. Es importante resaltar que, tanto en este trabajo como en el de Alva-Hurtado y Chang-Chang, la finalidad es presentar los resultados en un mapa. Por el contrario, Capra *et al.* (2006) intentan resaltar la importancia del factor físico en la construcción del riesgo; aunque esta idea coincide con la de Alva-Hurtado y Chang-Chang (1987), al solo centrarse en el aspecto físico, pues ambos trabajos dejan de lado la construcción social de la vulnerabilidad.

Como se aprecia con los ejemplos anteriores, la forma de abordar los efectos de los fenómenos naturales es muy variada. Dado que a medida que los trabajos e investigaciones en el área de riesgos por fenómenos naturales (RFN) crecen, los conceptos y terminología manejados deben ser cada vez más precisos en su razonamiento. Por esta circunstancia es totalmente imprescindible hacer explícitos los significados que serán tomados como base para fines de esta investigación.



CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio de esta investigación es la que comprende el poblado de Santa María Tixmadejé perteneciente al municipio de Acambay en el Estado de México (Figura 1). El relieve del municipio de Acambay es montañoso con un número importante de conos volcánicos, muchos de los cuales aún conservan parte de sus cráteres aunque hoy en día están cubiertos por bosques. Según Romero-Quiroz (1992) por el número de volcanes presentes se trata de una zona sísmicamente activa y volcánica.

El poblado de Santa María Tixmadejé se encuentra en la parte norte del Valle de Acambay o también conocido por los pobladores como Valle de los Espejos. Esto se debe a que en el fondo del valle se encuentran depósitos de agua que la población utiliza, y a los cuales denominan espejos de agua, puesto que al medio día, éstos reflejan la luz solar simulando precisamente “espejos” (Romero Quiroz *op. cit.*) (Figura 2).

El Valle de Acambay es aprovechado principalmente para la realización de actividades económicas de tipo primario, esencialmente se utiliza para la actividad agrícola, siendo los cultivos de temporal los predominantes. El segundo uso que se le da al valle es para la actividad pecuaria, también, se crían ganado bovino y avícola. Por último se le da un uso forestal debido a que la mayoría de los habitantes aún utilizan la madera como leña.

La localidad está limitada en la parte norte por un escarpe que alcanza una altura de 3040 msnm (Carta topográfica 1: 50 000; INEGI). Al este existe una extensa área de cultivos a cada costado de la carretera hacia Temascalcingo, la cual es la principal vía de comunicación de la localidad. Hacia el poniente se encuentra el poblado de Doxtejé Barrio Segundo y al sur se extiende una planicie donde se localizan los depósitos de agua.

Al continuar por la planicie hacia el sur, se alza el cerro La Magdalena llegando a los 2000 m (Carta topográfica 1: 50 000; INEGI). De esta manera, el poblado de Santa María Tixmadejé se asienta en el piedemonte del Valle de Acambay.

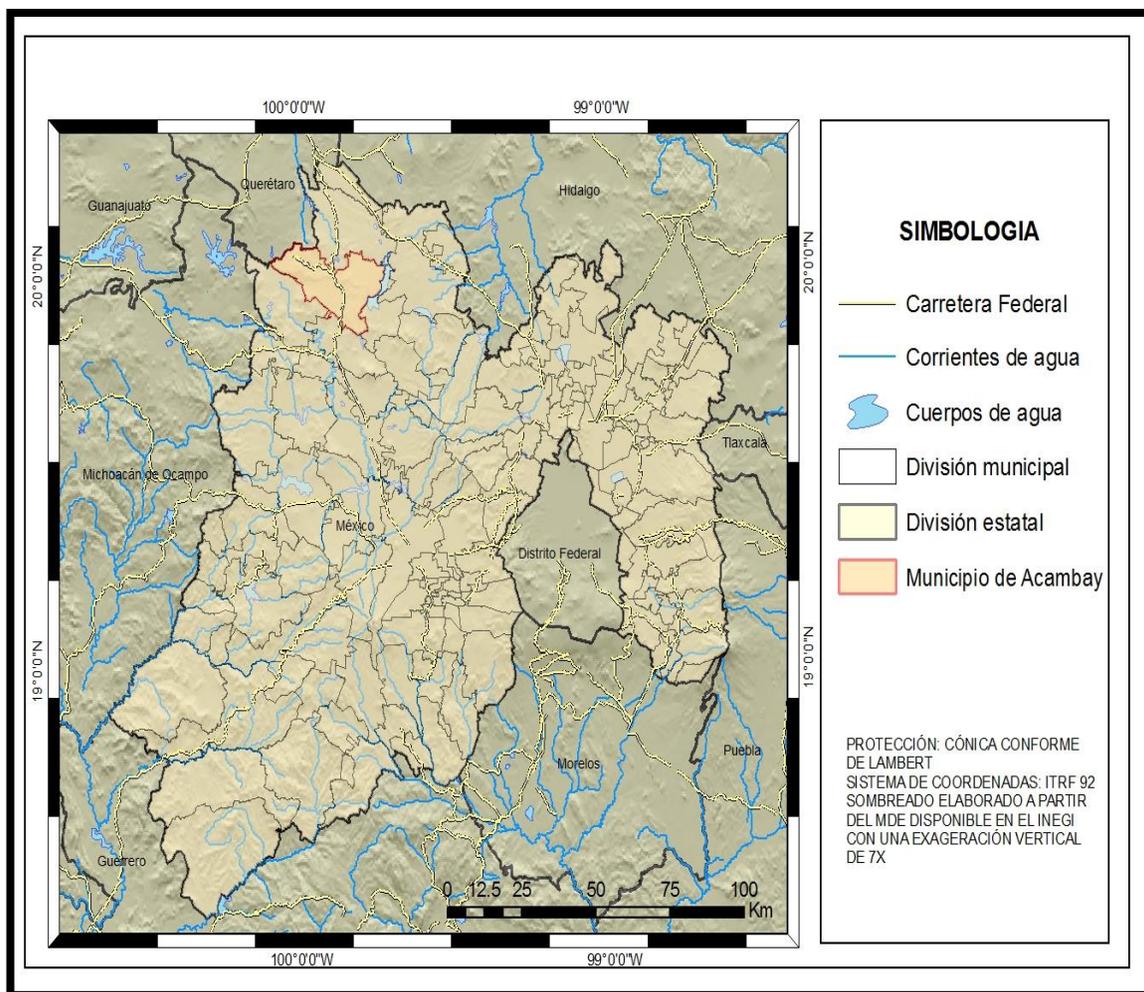


Figura. 1 Localización del municipio de Acambay, Estado de México.

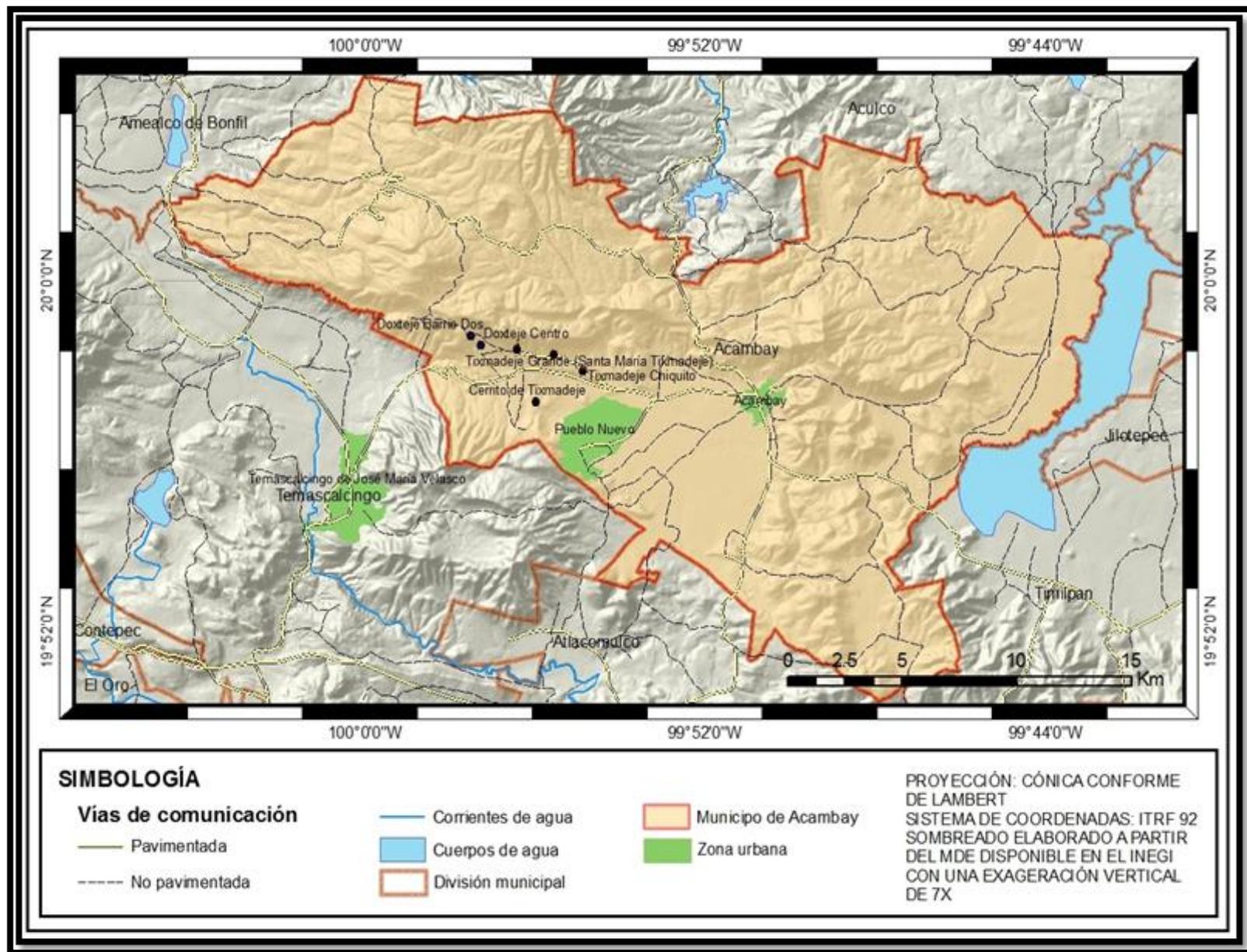


Figura 2. Municipio de Acambay. Se representan las localidades urbanas del municipio y de Temascalcingo, además de los poblados de Tixmadejé y Doxtejé.

2.1 Cinturón Volcánico Mexicano

Por su localización, México es un país que se caracteriza por actividad sísmica y volcánica, asociadas principalmente a su tectónica. Al norte del país se encuentra la placa Norteamericana, al suroeste las placas Rivera, Cocos y Pacífica y al sureste, la placa del Caribe.

Una de las regiones que se ha formado por la convergencia de las placas ubicadas al suroeste, es el Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) el cual pertenece al Mioceno-Cuaternario. Pasquaré *et al.* (1987), García Palomo *et al.* (2008) y Cano Cruz (2007) describen al CVM, como una estructura calcico-alkalina de aproximadamente 20-150 km de ancho, la cual consiste en una serie de planicies escalonadas que se extienden desde las costas del Pacífico en el estado de Nayarit, hasta las costas del Golfo de México en el estado de Veracruz (Figura 3).

A escala regional, el CVM se ha dividido en tres grandes sectores:

- Sector 1. El occidental, activado en el Plioceno caracterizado por la intercepción de tres fosas tectónicas denominadas Tepic, Colima y Chapala.
- Sector 2. Según Suter *et al.* (1992), Pasquaré *et al.* (1987) y Cano Cruz (2007) la porción central (concerniente al presente trabajo) está limitada por el rift de Colima y el sistema de fallas Taxco-Guerrero. Es cortada por marcadas fallas normales W-E de edad cuaternaria que definen unos 25 a 55 km de ancho de la zona de extensión distribuida de norte a sur y está constituida por vulcanismo monogenético de la región de Michoacán-Guanajuato.

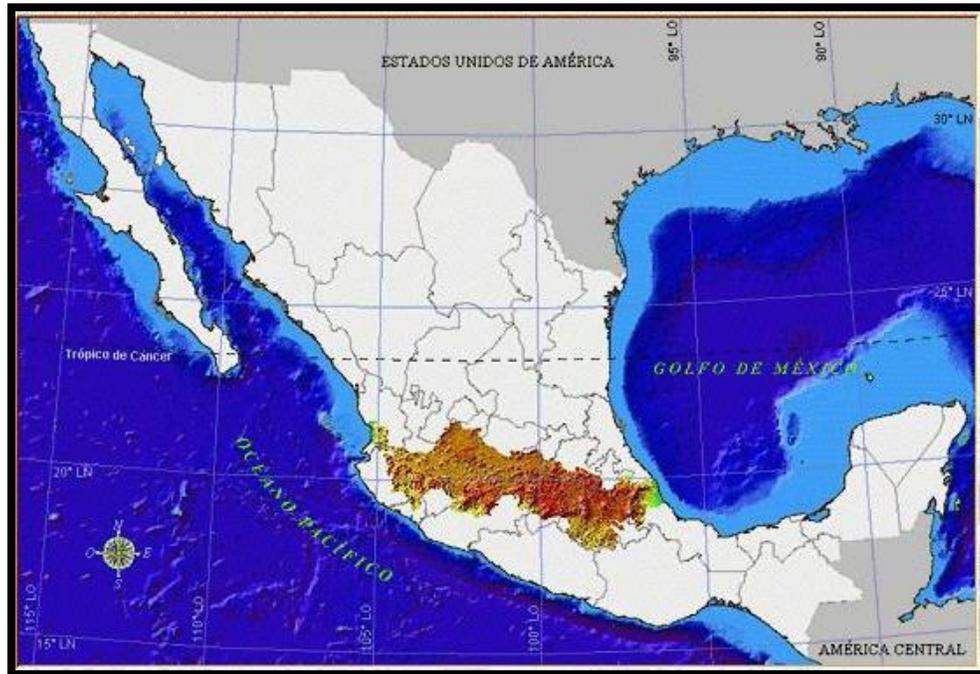


Figura 3. Localización del Cinturón Volcánico Mexicano (www.inegi.org.mx).

- Sector 3. El sector oriental se desarrolla completamente dentro de la Sierra Madre Oriental, caracterizado por el alineamiento de grandes estratovolcanes en dirección general N-S.

Todas las estructuras de los sectores mencionados anteriormente, se interrumpen por el sistema de fallas del río Balsas, desarrollándose un amplio colapso en dirección E-W (Pasquaré *et al.*, 1987).

La actividad sísmica registrada en el CVM se considera moderada (Singh *et al.*, 1984; Soler, 2000). Sin embargo, sismos de magnitud 7 pueden ocurrir en las estructuras más grandes dentro del CVM como en el sistema de fallas Chapala-Cuitzeo y en el graben de Acambay (Singh, 1987). La actividad sísmica reciente es la registrada en la parte central del CVM en 1912 cerca del municipio de Acambay con una magnitud de 6.9 (Ramírez Herrera, 1998). Este sismo fue provocado por la reactivación de la falla Acambay-Tixmadejé que es la que delimita el graben de Acambay (Landridge, 2000). Otro episodio tuvo lugar cerca

del poblado de Maravatío en 1979 con magnitud de 5.3. Este sismo se asoció a la falla Venta de Bravo (Garduño Monroy *et al.*, 2001).

2.2 Graben de Acambay

El graben de Acambay, localizado en la parte central del CVM, es una estructura orientada este-oeste, que data del Cuaternario (Ramírez Herrera, 1998). Según Suter *et al.* (1995) el graben de Acambay tiene una longitud de 27-40 km y 12-15 km de ancho. La altura máxima es de 500 m., llegando en la parte central a los 400 m. Está delimitado al norte por las fallas Acambay-Tixmadejé y Epitacio Huerta y al sur por las fallas Venta de Bravo y Pastores (Roldán-Quintana *et al.*, 2011), formando paredes o escarpes que bordean el graben al norte y al sur. De igual manera, se localizan dentro del graben otros dos grupos de fallas: Temascalcingo y Tepuxtepec que forman escarpes pronunciados (Fries, 1960). En la descripción que realizó Fries (1960) del graben, hace referencia a que los escarpes formados por las fallas son rocas principalmente de origen volcánico, ígneas y metamórficas que corresponden al Mioceno y Cuaternario (Figura 4).

En la parte central del graben existen depósitos aluviales y coluviales en forma de piedemonte. También se localizan depósitos de toba. Ambos depósitos están separados por una serie de conos de ceniza y lava. El graben de Acambay exhibe una importante discontinuidad de falla, que parece que es concordante con los sistemas regionales de fallas NNW-SSE, lo que pone de manifiesto la estructura asimétrica de una mitad del graben en la parte occidental (Ramírez-Herrera, 1998).

El origen del Graben de Acambay, según proponen Mooser (1989) y Luhr (1984) está vinculado a la cizalladura episódicamente activa lateral-izquierda de la sección superior de la corteza generada en la trinchera Mesoamericana y el reciente desarrollo del graben de Colima.

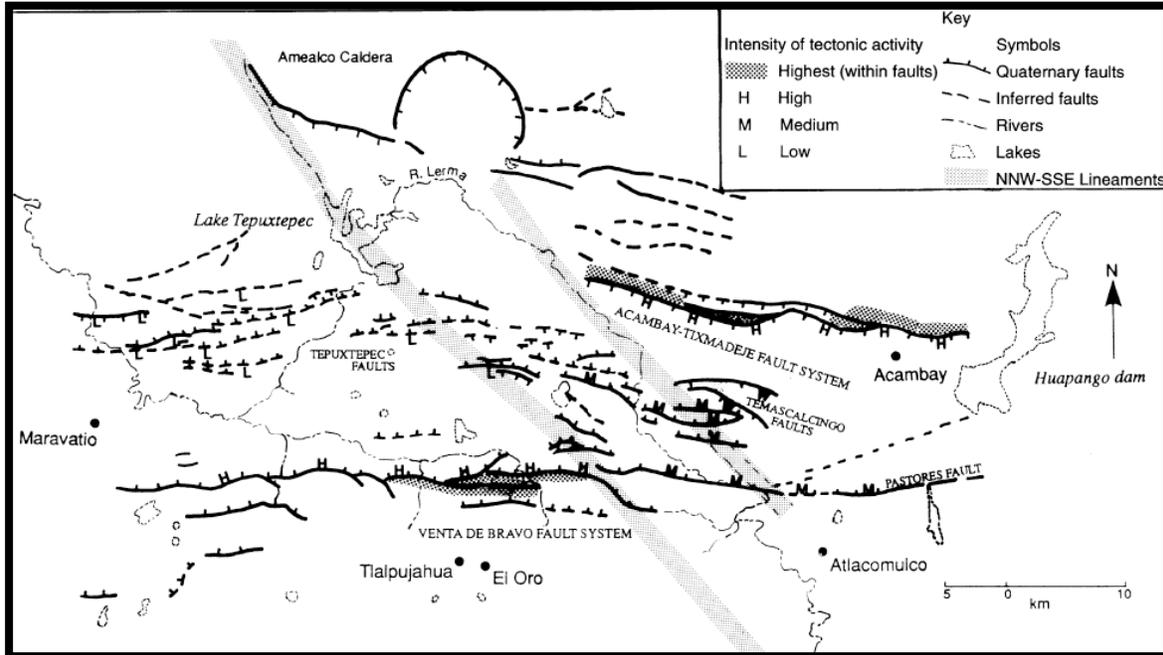


Figura 4. Mapa general de las fallas del Cenozoico tardío en el Graben de Acambay, parte central del Cinturón Volcánico Mexicano (Ramírez Herrera 1998).

Otros investigadores han propuesto un fallamiento normal con un componente lateral izquierdo transcurrente como el principal proceso neotectónico en la parte central del CVM (Astiz, 1980; Johnson, 1987; Johnson y Harrison, 1990; Mooser 1969).

Ramírez-Herrera (1998), a través de evaluación geomorfológica, obtuvo evidencia que sugiere actividad tectónica importante en el graben de Acambay, las cuales son:

1. El río Lerma que cruza la falla Pastores de sur a norte, presenta terrazas fluviales que se alzan y continúan río abajo, donde el río fluye sobre el bloque hundido. El origen de estas terrazas podría ser la respuesta a los cambios del nivel base del río, debido a ascensos del bloque sur.
2. Los frentes Venta de Bravo (Figura 5) y Acambay-Tixmadejé muestran el nivel más alto de elevación en el graben de Acambay, indicando

índices relativamente altos de actividad tectónica. Situación que no es similar en los escarpes de Pastores, Temascalcingo y Tepuxtepec, los cuales se presentan más sinuosos con un menor desarrollo de las facetas triangulares, aumento de la disección y cuencas semi alargadas, sugiriendo tasas relativamente bajas de levantamiento tectónico.

3. La parte más occidental del frente montañoso de la falla Pastores donde muestra un escarpe casi continuo con baja disección, cuencas alargadas con valles en forma de V, lo que sugiere tasas relativamente altas de levantamientos en este sector del frente.

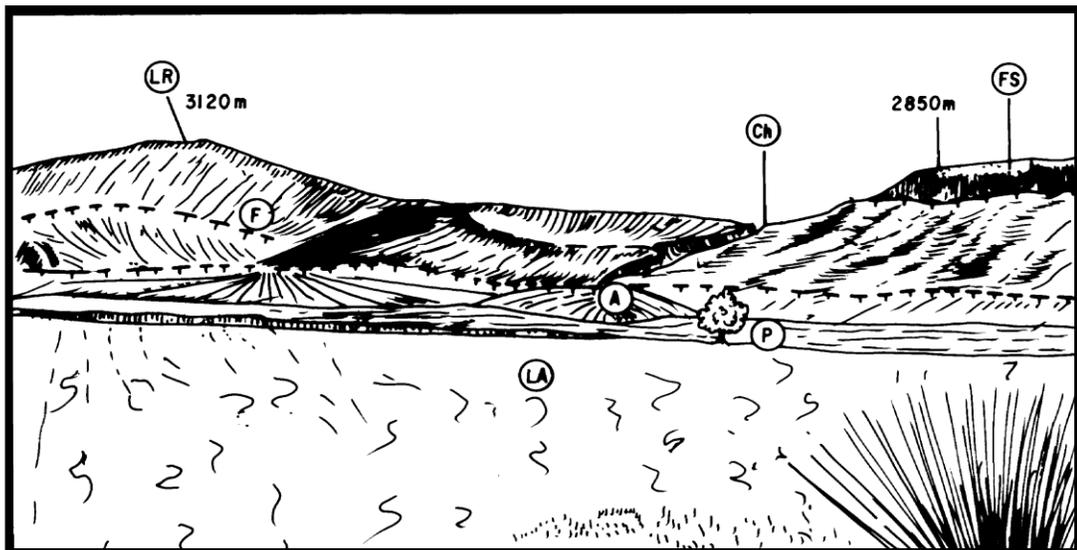


Figura 5. Bosquejo morfológico a lo largo de la falla Venta de Bravo mostrando facetas triangulares y valles en forma de V. Símbolos: Fs, escarpe de falla; P, piedemonte, F, falla, TF, facetas triangulares; PI, llanura aluvial; Ch, canal (Ramírez Herrera, 1998).

2.3 Falla Acambay-Tixmadejé

El poblado de Santa María Tixmadejé está asentado a corta distancia de la traza de la falla homónima de la localidad. Por lo anterior, su ubicación la hace vulnerable ante un movimiento telúrico que se llegué a producir por dicha falla.

La falla de Acambay-Tixmadejé (Figura 6) es una falla de tipo normal que cruza todo el municipio de Acambay con una longitud aproximada de 40 km. Tiene una orientación ESE-WNW y constituye la pared septentrional del graben de Acambay (Garduño-Monroy *et al.*, 2001).

La falla activada en el año de 1912, tiene como característica particular, la formación de escarpes en su parte oriental y al centro de la misma. La mayor altura la alcanza en su parte central en proporción a las que alcanza el centro del graben de Acambay. Se ha documentado que el buzamiento que presenta el escarpe varía entre los 60° y los 70° en dirección sur (Quintero Legorreta, 2002).

Según registros de Urbina y Camacho (1913), durante la activación de la falla ocurrieron desplazamientos de hasta 50 cm en la parte central del trazo de la falla y de 20 cm en la parte occidental. Por lo anterior, la mayor actividad por desplazamiento, ocurre en la parte central. Es importante señalar, que el poblado de Santa María Tixmadejé, se encuentra asentado a 1 km de distancia por debajo del centro de la falla Acambay-Tixmadejé.

Datos morfométricos y de campo combinados sugieren, que el frente montañoso Acambay-Tixmadejé exhibe la segunda actividad tectónica más alta en el graben de Acambay, seguido de los frentes Pastores, Temascalcingo y Tepuxtepec (Ramírez Herrera, 1998).

Evidencia geomorfológica analizada por Ramírez Herrera (*op. cit.*), sugiere que son cuatro elementos que indican actividad tectónica en la falla Acambay-Tixmadejé:

- En la pared inferior del escarpe en dicha falla se exponen estrías superficiales de fricción sugiriendo actividad tectónica.
- Las numerosas facetas triangulares que marcan el frente montañoso aportan pruebas de su levantamiento en el Cuaternario.
- Conos de lava desplazados y abanicos aluviales no atrincherados.
- Los abanicos aluviales en la base de la pared inferior del frente del escarpe todavía recibe sedimentos de la parte alta del abanico (Bull y McFadden, 1977).

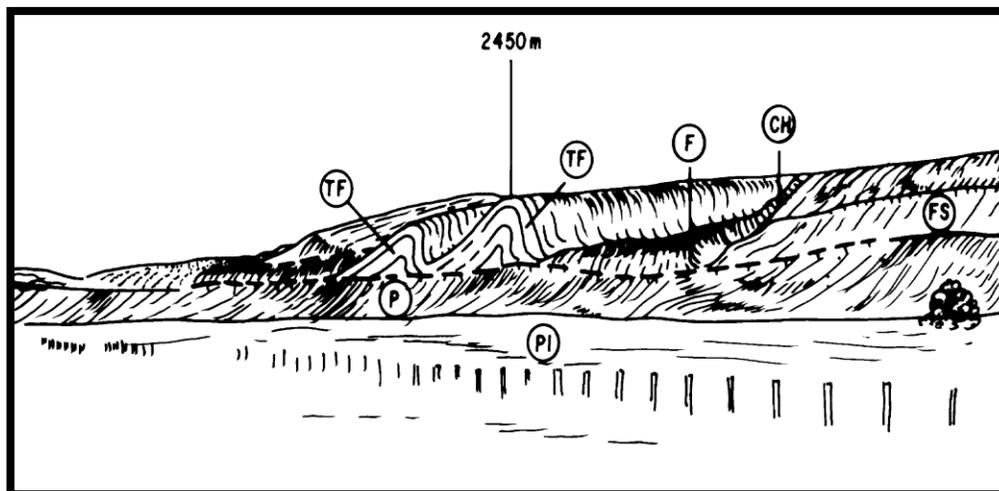


Figura 6. Bosquejo morfológico del frente montañoso Acambay-Tixmadejé, flanco norte del graben de Acambay (para localización ver Figura 4). Símbolos: A, abanicos aluviales, FS, escarpe de falla, P, piedemonte, LA, cuenca lacustre-aluvial, LR, crestas lineales, F, falla, Ch, canal (Ramírez Herrera, 1998)

2.4 Sismo de 1912

Uno de los mayores sismos registrados en el CVM, con epicentro dentro del graben de Acambay, fue el ocurrido el 19 de noviembre de 1912, con una magnitud de 6.9 en la escala de Richter (Ramírez-Herrera, 1998). Urbina y Camacho (1913) fueron los primeros en reportar, a través de la observación directa, el origen y los daños que causó el terremoto. Recorrieron los poblados cercanos a la cabecera municipal de Acambay (localidad más afectada por el sismo). Recolectaron datos de las construcciones caídas, así como de aquellas que sufrieron daños y de los testimonios de los sobrevivientes. La observación directa de las construcciones que cayeron a causa de dicho movimiento fue su principal fuente de información, puesto que, con la determinación de la dirección de caída de los muros, lograron estimar el comportamiento de las ondas sísmicas.

2.5 Origen del sismo

Para Urbina y Camacho (1913) son principalmente dos factores que han originado la orografía en los límites y dentro del graben. El primero de ellos es el vulcanismo que es el proceso más antiguo dentro de la región, en tanto que el segundo es la dislocación existente al norte y al sur del graben, siendo la falla trazada en la pared norte del graben (Acambay-Tixmadejé) la de mayor relevancia, debido a que es la que presenta un plano de inclinación mayor hacia el sur. Ambos procesos por sí mismo, producen sismos y al mismo tiempo se encuentran relacionados. Sin embargo, el ocurrido en 1912 fue claramente tectónico debido a la dislocación al norte del graben.

La forma de la falla es escalonada, lo que indica que el proceso de formación de dicha falla fue durante largos períodos con movimientos verticales.

Es así, como se determinó que el proceso de desnivel en la pared septentrional del graben fue el que originó el terremoto de 1912.

2.6 Daños

Las localidades que presentaron mayores daños, según Urbina y Camacho (1913) fueron las que están localizadas próximas a la falla Acambay-Tixmadejé, donde las localidades de Acambay, San Antonio Detiñá, Santa María Tixmadejé y Toxí resultaron ser las más afectadas. En éstas las comunicaciones quedaron interrumpidas, un número significativo de casas fueron derribadas, además de los templos locales que colapsaron.

Los poblados de San Pedro el Alto, Temascalcingo y San Andrés Timilpan, también resultaron afectados. Aunque en menor medida, se presentaron cuarteaduras en las paredes de las casas, con algunos colapsos. En los pueblos más alejados de la falla Acambay-Tixmadejé (Hacienda de Huapango y Hacienda de Ñadó), hacia los extremos de la delimitación del graben también se percibió el sismo aunque no registraron mayores daños (Urbina y Camacho, *op. cit.*).

Otro de los datos que obtuvieron Urbina y Camacho (*op. cit.*) fue la dirección del movimiento de las ondas sísmica, aunque el sismo fue de corta duración. Las oscilaciones más amplias fueron de N-S, pero el choque que ocasionó colisiones, fue por una onda longitudinal hacia el SE, próxima a la dirección N-S. Este tipo de movimiento ocasionó grietas en algunas viviendas con dirección de este a oeste, transversales a la línea de mayor movimiento del sismo.

Este episodio es registrado como uno de los más significativos dentro del CVM, pero no ha sido el único (Monroy-Salazar, 2009). Landridge (2000) reportó, con base en mediciones instrumentales, que existe un intervalo de recurrencia de sismos en la falla Acambay-Tixmadejé de cada 3600 años.

Uno de los sucesos que tuvieron lugar durante el sismo, fue la caída de bloques con un volumen de más de 100 m³ llegando incluso a los 300 m³, que

ocasionaron daños en pueblos aledaños a la falla (Santa María Tixmadejé, Dongú, San Pedro Potla) (Inbar *et al.*, 2002).

Los bloques con mayor volumen se asentaron en la base de la ladera del valle. Esto es, justo en el poblado de Santa María Tixmadejé (Inbar, *op. cit.*). Debido a que la pendiente se reduce en esta parte del valle, Monroy Salazar (2009) señaló que la pendiente debajo del escarpe es de aproximadamente 36° y se reduce a 4.5° en la parte baja donde se asientan las viviendas.

2.7 Elementos geológicos de Tixmadejé

Ya se ha descrito de manera general la geología regional del área de estudio incluyendo las características del graben de Acambay dentro del CVM. Siguiendo la misma línea, se ha detallado el proceso de formación de la falla Acambay-Tixmadejé, la cual ocasionó el sismo de 1912. En este apartado se describirá de manera particular las formas del relieve y los elementos geológicos del área de estudio.

El área de estudio se delimitó con base en la traza de la falla Acambay-Tixmadejé. Se incluyó al poblado de Santa María Tixmadejé (en la parte norte del polígono); al este por la carretera de Temascalcingo, se limitó a partir de la desviación que lleva a la localidad. Hacia la parte sur el polígono de este estudio llegó hasta la parte aluvial del valle de Acambay. Finalmente, hacia el oeste, se consideraron unos cuantos metros del área comprendida de Santa María Tixmadejé, esto con el propósito de tener un mejor análisis de los procesos de remoción en masa que se tienen en el lugar (Figura 7).

Durante la realización del trabajo de campo realizado como parte de esta investigación, se reconocieron cinco elementos geológicos (Figura 8), las cuales se enumeran a continuación. Se inició en la porción NW y se continuó en el sentido de las manecillas del reloj:

-
1. Falla Acambay-Tixmadejé. Su formación corresponde al Terciario Plioceno temprano y está compuesto por roca volcánica. Presenta un escarpe pronunciado, donde se localizan zonas con material inestable.
 2. Mogote. Dentro de la toba de talud, se encuentra una pequeña formación que por sus características morfológicas, en este trabajo se denominará como "mogote". El mogote tiene su origen en el Plioceno y está compuesto por roca volcánica. Su altura máxima llega a los 2 600 msnm (carta Atlacomulco, 1:50 000).
 3. Toba de talud o TdT. Bajo la falla se localiza la toba de talud que es un depósito procedente de la Caldera Amealco y emitida aproximadamente hace 4.7 Ma. (Aguirre, 1995).
 4. Aluvión. Localizado en la parte baja del valle en la parte este. Es un depósito formado por el acarreo fluvial y posterior almacenamiento de la zona lacustre.
 5. Talud de escombros. Se extiende a lo largo de la carretera principal del poblado (que va a Temascalcingo) hasta llegar al piedemonte, por debajo de la falla Acambay-Tixmadejé. En esta parte se encuentran bloques de tamaño considerable, los cuales fueron analizados para estimar el riesgo que representan para la población.

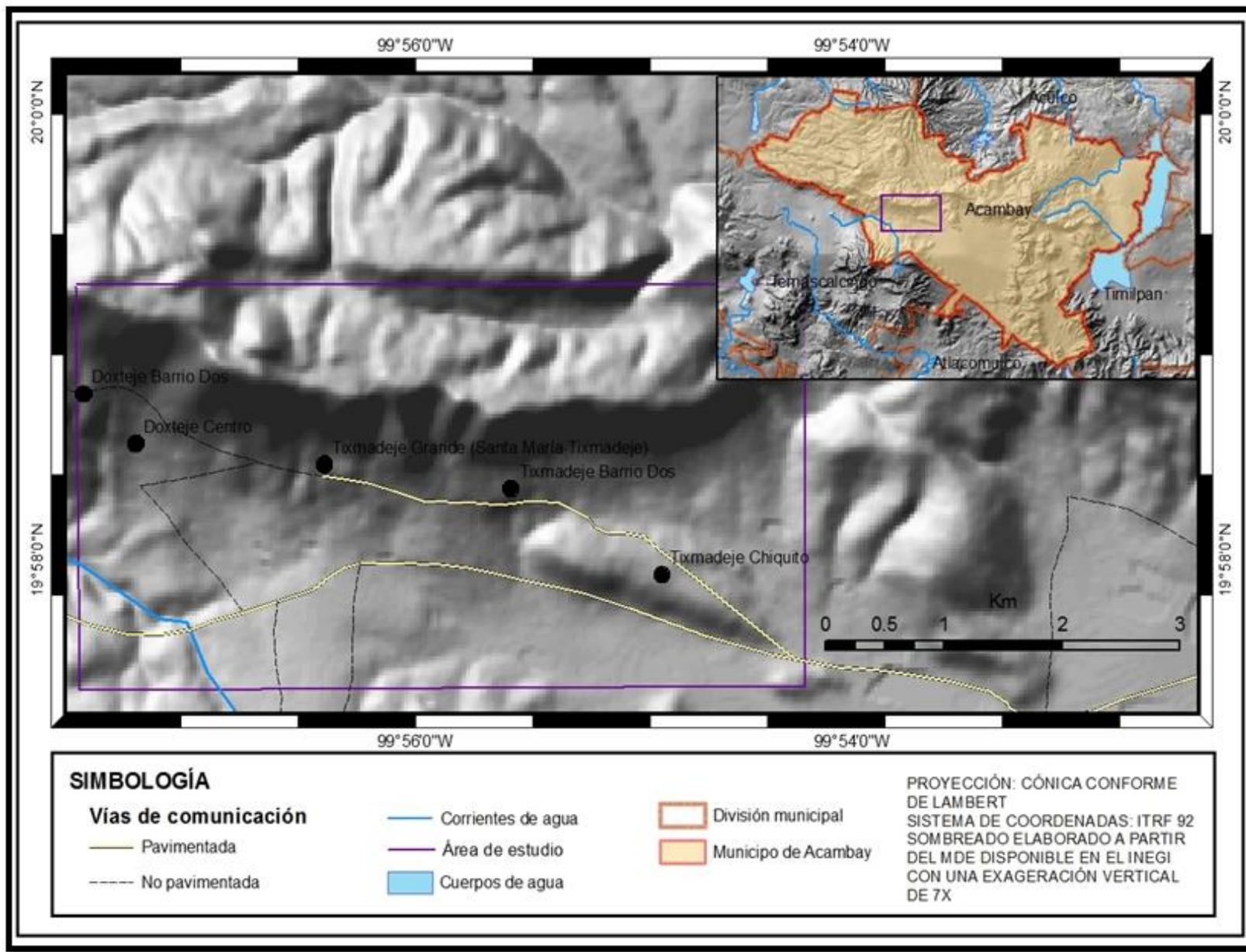


Figura 7. Localización del área de estudio. Se muestra el polígono en el que se trabajó durante el trabajo de campo.

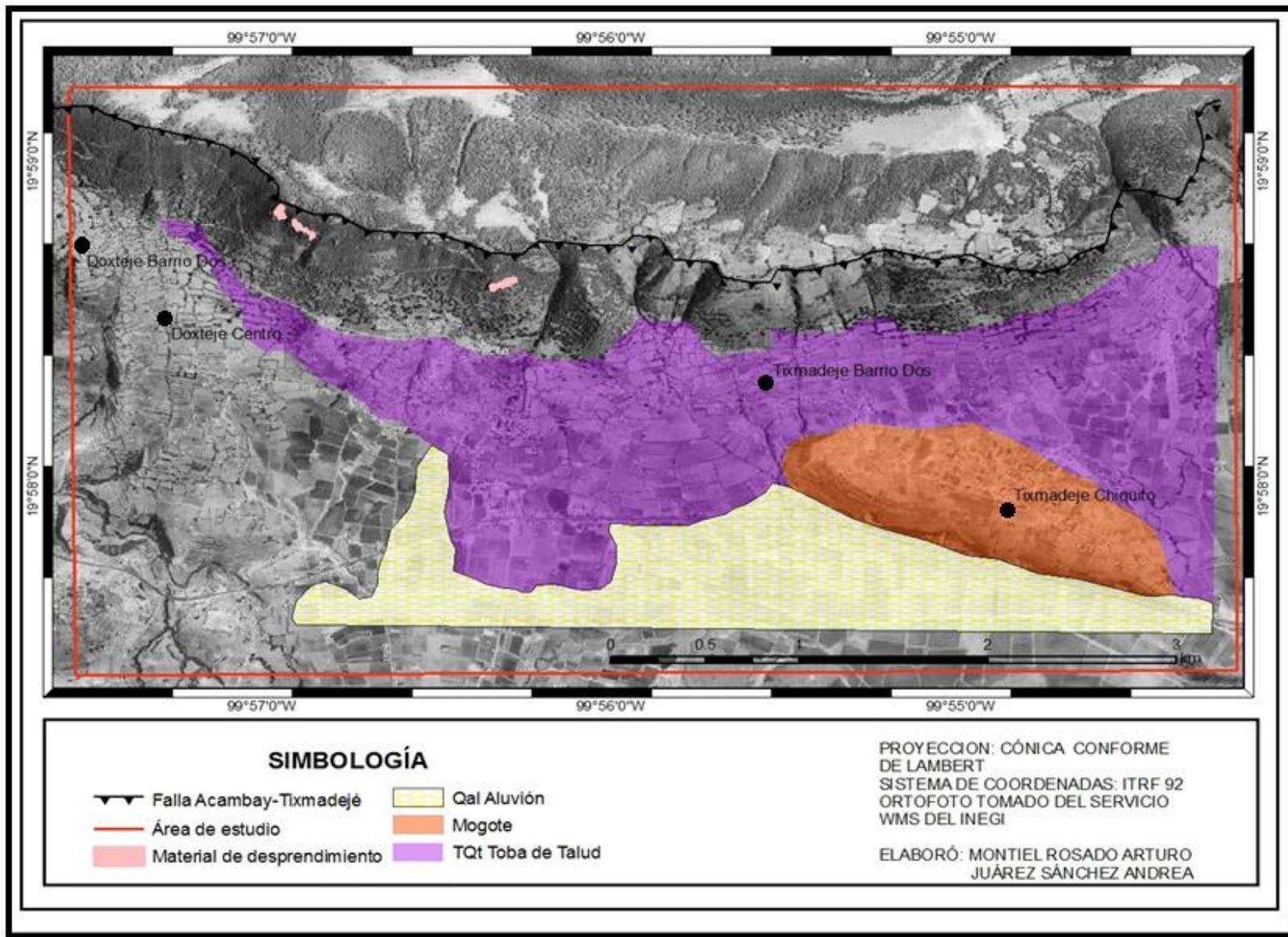


Figura 8. Representación de los elementos geológicos identificados en el poblado de Tixmadejé durante la realización del trabajo de campo.



CAPITULO 3: TRABAJO DE CAMPO: IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO POR CAÍDAS DE BLOQUES

Uno de los efectos secundarios que se generaron en el poblado de Tixmadejé a causa del sismo de 1912, fue la caída de bloques y megabloques de rocas. Este tipo de fenómeno forma parte de los denominados movimientos de terreno o procesos de remoción en masa (PRM) definidos como la movilización lenta o rápida de un volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores (Hauser, 1993).

Cada año los desastres originados por los PRM ocasionan numerosas víctimas, heridos y damnificados, así como cuantiosas pérdidas económicas. El impacto que este tipo de peligros provoca es de mayor magnitud en países de escasos recursos debido a su alto grado de vulnerabilidad (CENAPRED, 2008).

En México, un país donde predominan los sistemas montañosos, el registro de estos procesos es numeroso. Por ejemplo, a finales de septiembre y durante la primera semana de octubre de 1999 la depresión tropical número 11 ocasionó lluvias importantes en el noreste del país. El efecto de las lluvias consistió en miles de procesos de remoción en masa en la ladera oriental de la Sierra Norte de Puebla (Lugo Hubp *et al.*, 2001).

El origen y mecanismo de los PRM es complejo y diverso, debido a que elementos como la pendiente, la gravedad y las fuerzas de resistencia y fricción

favorecen un movimiento de ladera. Sin embargo, eventos como precipitaciones intensas y sismos de magnitud considerable también pueden provocar PRM (Cuanalo *et al.*, 2006). Por otro lado, componentes como el tipo de suelo, la litología, el tipo de vegetación, la capacidad de permeabilidad o de infiltración, entre otros, son factores que determinan la velocidad y el tipo de movimiento.

Alcántara Ayala (1999) establece que dada su terminología en inglés al ser traducida al español, el vocabulario usado para la clasificación de los procesos de ladera no se utiliza de forma correcta. A continuación se presenta la categorización que está autora hace de acuerdo al tipo de movimiento, material y mecanismo, aceptada a nivel internacional con la definición de cada tipo de movimiento.

- Caídas o desprendimientos (falls): son los movimientos en caída libre de distintos materiales como rocas, detritos o suelos. Este tipo de movimiento se origina por el desprendimiento del material de una superficie inclinada, el cual puede rebotar, rodar, deslizarse o fluir ladera abajo posteriormente (Alcántara Ayala, 1999).
- Vuelcos o desplomes (topples): son columnas rocosas o de tierras, que muestran un movimiento de rotación hacia delante y hacia el exterior de una ladera alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad (Copons, 2009).
- Deslizamientos (slides): es el movimiento de una porción de terreno a través de una superficie de rotura neta con la preservación general de la estructura interna original. Se pueden diferenciar dos tipos de deslizamientos: los rotacionales y los traslacionales (Copons, 2009).

-
- Expansiones laterales (lateral spreading): estos movimientos son el resultado de la fracturación y expansión de suelos o masas de roca compactos debido a la licuefacción o fluidización del material subyacente. Ocurren cuando materiales gruesos, como fragmentos de rocas, grava, etc., están inmersos en una matriz de material más fino o contiene arcillas (Alcántara Ayala, 1999).
 - Flujos (flows): un flujo es un movimiento continuo, similar a un líquido viscoso que no preserva la estructura interna original del material desplazado sino que adopta la morfología de la vertiente por la que discurre (Copons, 2009).
 - Movimientos complejos (complex movements): los movimientos complejos son resultado de la transformación del movimiento inicial en otro tipo de movimiento al ir desplazándose ladera abajo (CENAPRED, 2008).

3.1 Metodología para identificar caída de bloques

En la evaluación de cualquier tipo de peligro, se debe de contar con información histórica de los eventos naturales que tienen lugar en la zona de estudio, así como el reconocimiento de los procesos físicos en el mismo. Es por lo anterior, que en esta investigación se realizaron trabajos de campo enfocados a evaluar el nivel de peligro por caídas de roca en la zona de estudio.

La verificación de caída de material se llevó a cabo mediante un registro de bloques (nueve) asentados a lo largo del piedemonte dentro de los márgenes del polígono establecido para la realización de esta investigación. Las variables que se consideraron para verificar la caída de bloques fueron:

- Localización (georreferenciación de cada bloque)
- Altura en la que se localizaron los bloques
- Litología
- Características generales
- Medidas del bloque

Para estimar las dimensiones de cada bloque se tomó como referencia una medida estándar que en este caso fue una libreta de tránsito y la estatura de una persona (para los bloques más grandes) (Figura 9).

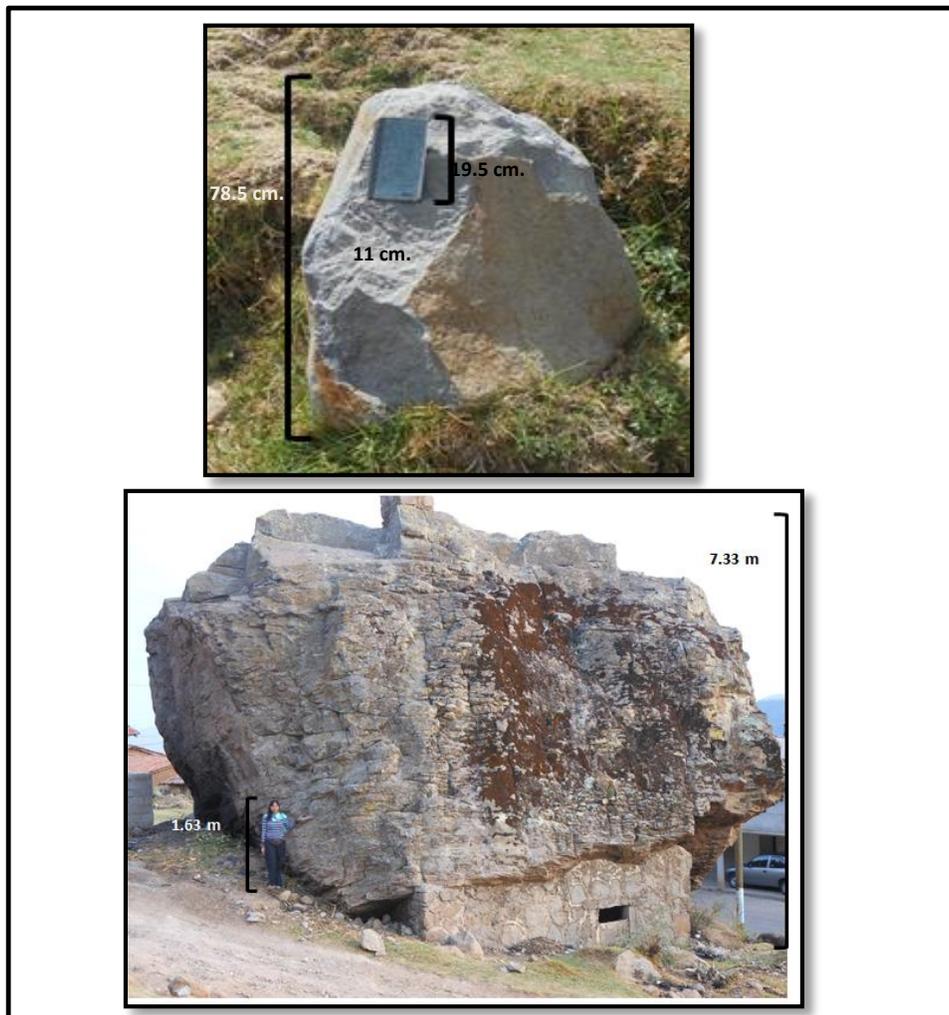


Figura 9. Ejemplos de la medición de los bloques analizados durante el trabajo de campo.

En los siguientes cuadros (a, b, c, d, e, f, g, h, i) se muestran fotografías tomadas de los nueve bloques registrados con algunas de las variables y características de los mismos cuyas localizaciones se muestran en la Figura 10. Las imágenes que se muestran están ordenadas conforme se fueron identificando los bloques asentados en el piedemonte (este a oeste con respecto del área de estudio).

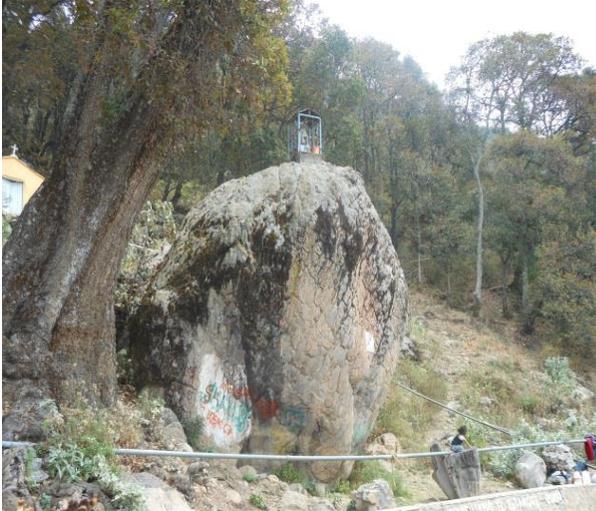
BLOQUES	LITOLOGIA	CARACTERISTICAS GENERALES	MEDIDA APROXIMADA
a 	Andesita	Forma angulosa, presenta un ligero patrón de fractura angular no medible	3 m ³

BLOQUES	LITOLOGIA	CARACTERISTICAS GENERALES	MEDIDA APROXIMADA
<p>b</p> 	Andesita	Forma sub-angulosa, bloque alóctono, fracturamiento irregular cerrado.	8 m ³
<p>c</p> 	Andesita	Bloque aloctóno, forma angulosa	4 m ³

BLOQUES	LITOLOGIA	CARACTERISTICAS GENERALES	MEDIDA APROXIMADA
<p>d</p> 	Andesita	Forma sub-anguloso, bloque alóctono, localizado sobre la carretera.	8 m ³
<p>e</p> 	Andesita	Bloque aloctóno, forma angulosa	16 m ³

BLOQUES	LITOLOGIA	CARACTERISTICAS GENERALES	MEDIDA APROXIMADA
<p>f</p> 	<p>Volcánica andesítica</p>	<p>Bloque aloctóno</p>	<p>100 m³</p>

BLOQUES	LITOLOGIA	CARACTERISTICAS GENERALES	MEDIDA APROXIMADA
<p>g</p> 	<p>Volcánica andesítica</p>	<p>Bloque anguloso.</p>	<p>300 m³</p>
<p>h</p> 	<p>Ignimimbrita</p>	<p>Bloque de flujo piroclástico. Por encontrarse una parte del bloque saliendo de la superficie no se pudo determinar la forma del mismo</p>	<p>100 m³</p>

BLOQUES	LITOLOGIA	CARACTERISTICAS GENERALES	MEDIDA APROXIMADA
i 	Volcánica andesítica	Por reconocer que cuenta con fracturas en múltiples direcciones, se dedujo que es parte de un peñasco	150 m ³

Es importante destacar que los habitantes del poblado utilizan el material desprendido para la construcción de las viviendas tal como se aprecia en la Figura 11, en donde las rocas son utilizadas para nivelar la casa con respecto al suelo debido al grado de pendiente.

Por su parte, el grado de pendiente se aprecia mejor en la Figura 12, donde el muro de la primera entrada hacia la iglesia, muestra un grado de inclinación de aproximadamente 15°. Este sitio, en donde se localiza el centro de Santa María Tixmadejé, es una zona de transición, puesto que el buzamiento va disminuyendo.

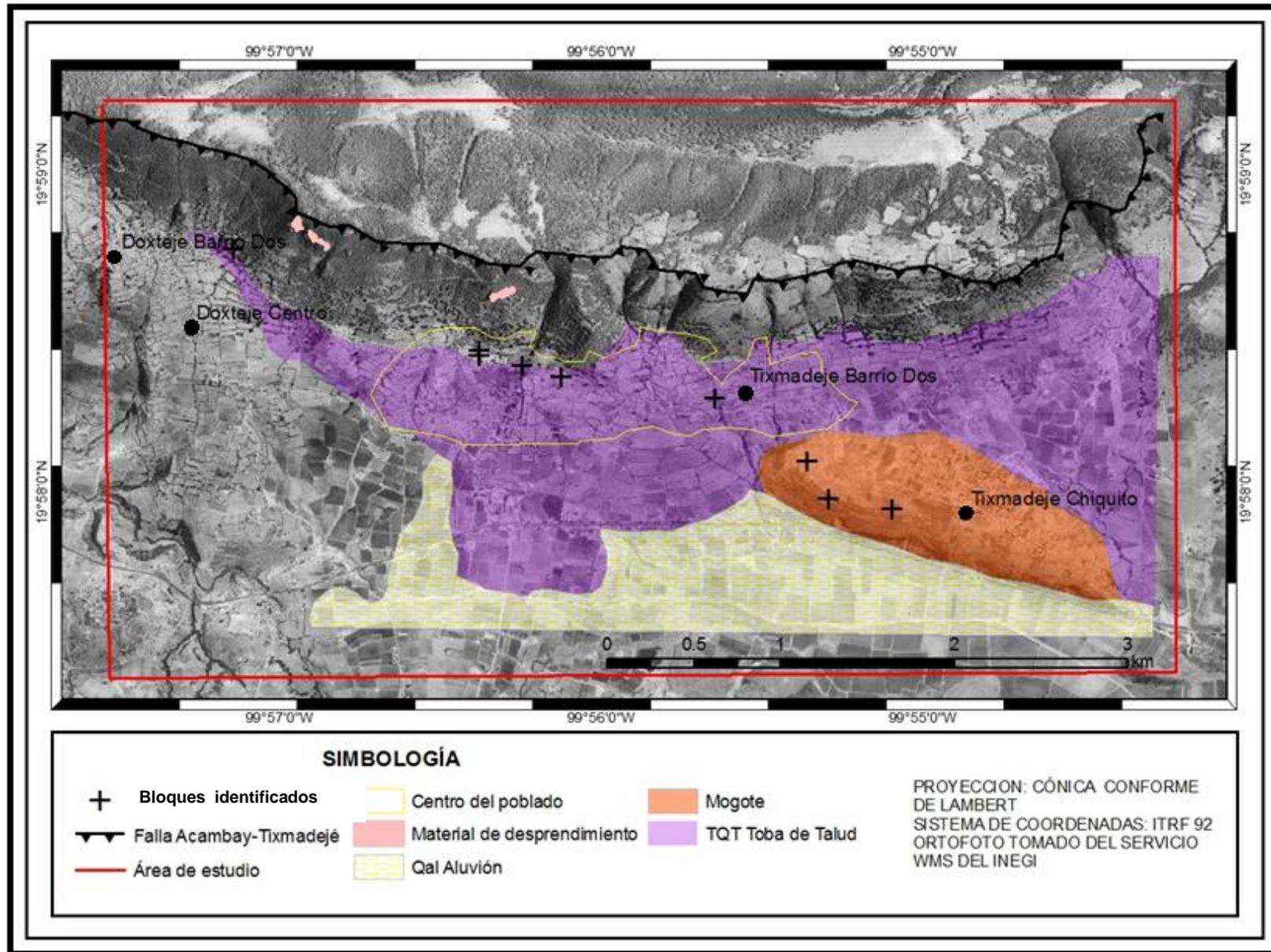


Figura 10. Localización de los bloques analizados y límites del centro del poblado.

Otro dato importante a considerar es que en este sitio se encontraron dos de los bloques más grandes (bloques 6 y 7) de todos los registrados a corta distancia uno del otro



Figura 11. Base de bloques que son utilizados para nivelar la vivienda.



Figura 12. Iglesia de Santa María Tixmadejé, ubicada en el centro del pueblo. Se observa la disminución de la pendiente en el centro del poblado.

3.2 Procesamiento de datos

Para realizar una valoración del nivel de peligro por PRM, es necesario contar con tres elementos: datos históricos, mapa de susceptibilidad de laderas, y conocimiento del tipo de suelo del lugar o sitio donde se producen los PRM. A continuación se describen cada uno de estos elementos.

- Datos históricos

Para el caso de Santa María Tixmadejé existe un registro de eventos por caída de bloques el cual surgió como consecuencia del sismo de 1912. Estos registros fueron realizados por Urbina y Camacho (1913) y revelan que al colapsar dichos bloques causaron severos daños en la infraestructura de los pueblos aledaños donde tuvo alcance dicho fenómeno. Como ya se mencionó con anterioridad, una de las poblaciones más afectadas por este fenómeno fue Santa María Tixmadejé. El desprendimiento del material se originó en los límites al norte y sur del graben de Acambay. En la Figura 13 se observa uno de los daños que ocasionó esta caída de bloques

En el trabajo de investigación llevado a cabo por Inbar *et al.* (2000), se señala que algunas caídas de bloques y megabloques alcanzaron 370 m de longitud. Por debajo del escarpe en la pared norte del graben estos bloques tuvieron hasta los 100 m³ de volumen, los cuales están localizados en la base de la ladera del escarpe. Sin embargo, hacia la parte baja del valle de Acambay no se tienen registros.



Figura 13. Daño al techo de una casa por caída de bloques la cual pudo originarse durante el sismo de 1912.

- Mapa de susceptibilidad de laderas

El mapa de susceptibilidad de laderas muestra la localización de los puntos, regiones o zonas (dependiendo del tipo de PRM), que son propensas a que ocurra un PRM. Este tipo de mapa es una herramienta que ayuda a representar espacialmente a los PRM. En este trabajo utilizando el software ArcGis 9.3 se obtuvo el mapa de susceptibilidad de laderas en base al grado de pendiente en la zona de estudio. En primera instancia se obtuvo un mapa de toda la región del graben para tener una perspectiva general de las zonas con mayor pendiente (Figura 14).

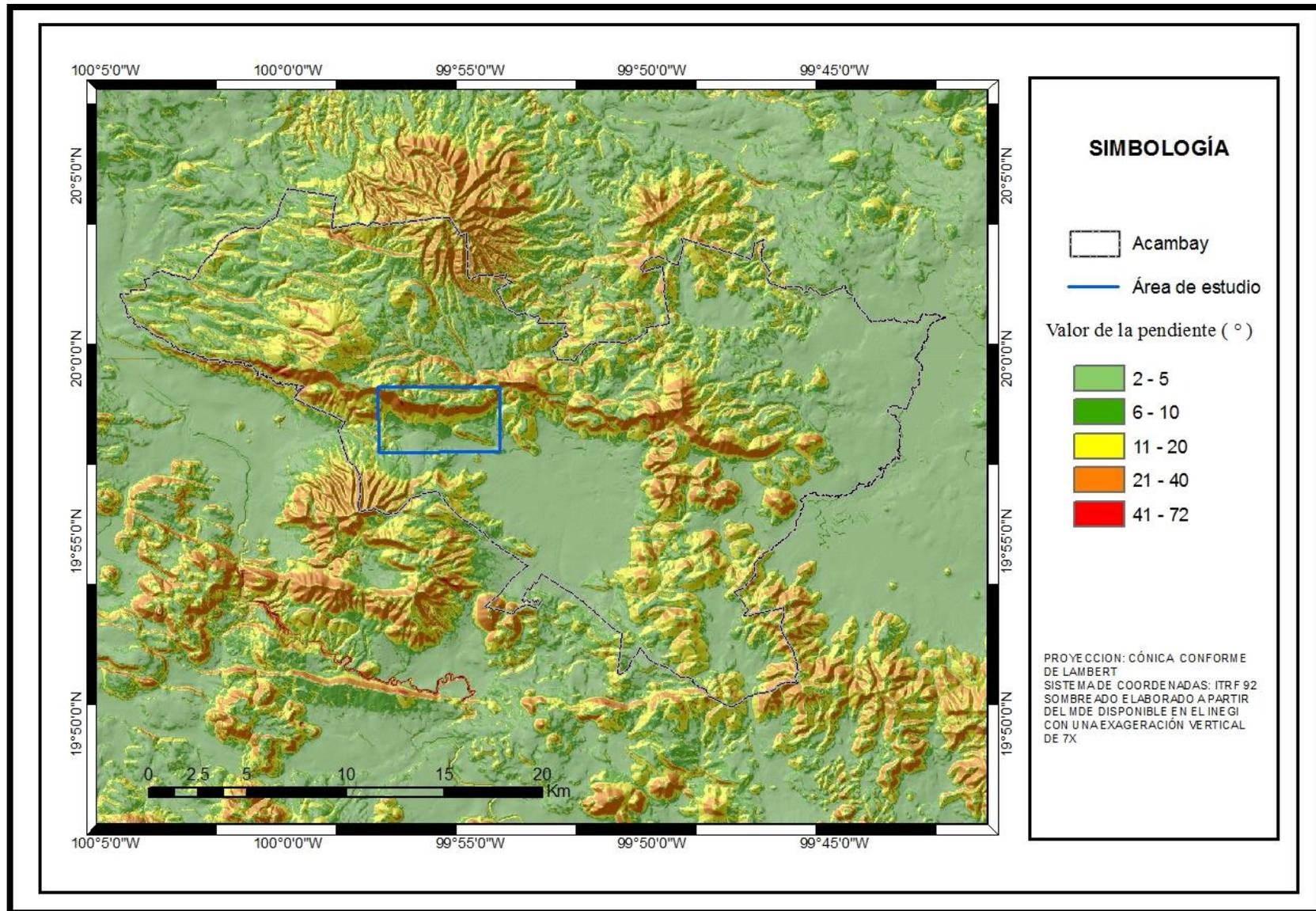


Figura 14. Mapa de susceptibilidad de laderas. Se muestran las zonas con mayor pendiente en el graben de Acambay. El rectángulo muestra el área de estudio.

- Conocimiento del tipo de suelo del lugar o sitio donde se producen los PRM

En cuanto a la edafología, en la pared norte del graben el tipo de suelo es feozem, donde el lecho rocoso cuenta con una profundidad de entre 10 y 50 cm. Hacia el sur, en el piedemonte del valle (Figura 15), el tipo de suelo es el mismo pero se encuentra material gravoso así como fragmentos menores a 7.5 cm en la superficie o cerca de ella (INEGI; carta edafológica 1:50 000).



Figura 15. Desprendimiento de material sobre la carretera que lleva a Doxtejé-Barrio Segundo en Santa María Tixmadejé.

3.3 Caída de bloques identificados

Para la identificación de los desprendimientos se realizó una sobreposición de capas utilizando el programa ArcGis 9.3. Es decir, al mapa de susceptibilidad de laderas se adicionó una capa con la información de la localización de los bloques registrados y la zona centro del poblado.

En la Figura 16 se aprecia la corta distancia que existe entre el escarpe y las concentraciones de la población de Santa María Tixmadejé. Como se describió anteriormente, la población se encuentra asentada en el piedemonte del valle, en el mismo sitio donde se identificaron los megabloques.

Aun cuando la pendiente es alta y el contenido de material rocoso se encuentra cerca o sobre la superficie, la caída de bloques puede asociarse principalmente a sismos debido a que no se han tenido registros de caída de bloques aislados. Es decir, el único registro obtenido de tal fenómeno fue a causa del sismo de 1912 y después de esta fecha no existen datos de la ocurrencia de este tipo de eventos.

La caída de megabloques puede llegar a causar daños en la infraestructura de la localidad, afectando principalmente las vías de comunicación terrestre, además de destruir las viviendas localizadas a corta distancia del trazo de la falla. Estas condiciones aumentan la posibilidad de que se genere un desastre en el caso de la ocurrencia de un sismo de magnitud 6.9 o mayor, como ha ocurrido en el pasado.

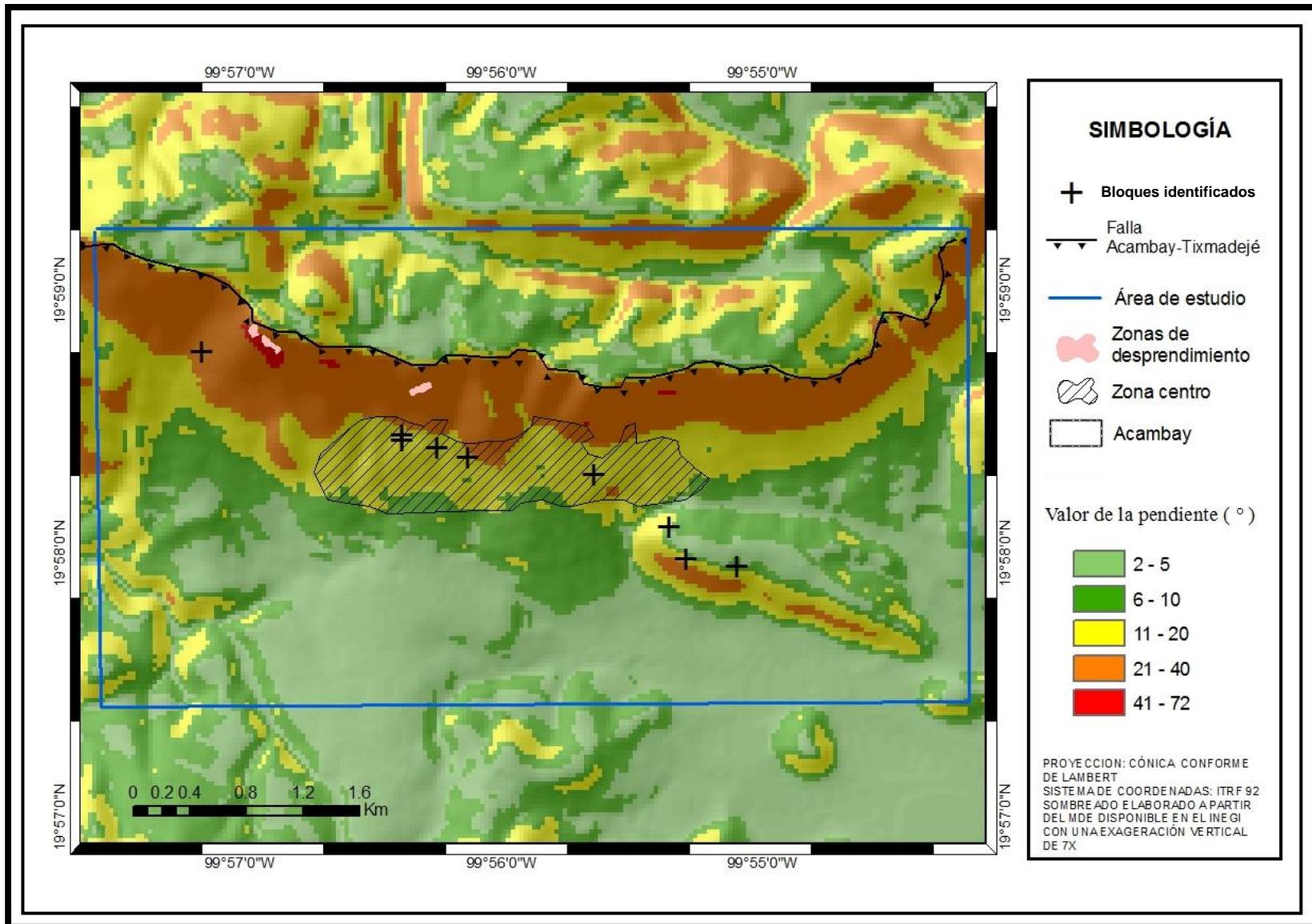


Figura 16. Localización de los bloques identificados en el área de estudio (rectángulo), así como la delimitación del centro del poblado y las áreas de desprendimiento de bloques.



CAPITULO 4: CARACTERÍSTICAS DE LA VULNERABILIDAD EN SANTA MARÍA TIXMADEJÉ

El grado de vulnerabilidad en Santa María Tixmadejé fue calculado por Monroy-Salazar (2009), como parte de la evaluación del riesgo sísmico en el poblado. Para obtener el índice de vulnerabilidad global se estimaron cuatro vulnerabilidades diferentes:

- Vulnerabilidad social
- Vulnerabilidad económica
- Vulnerabilidad educacional
- Vulnerabilidad estructural (viviendas)

El estudio de Monroy Salazar (2009) se basó en dos metodologías, la establecida por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). La misma autora explica que la primera tiene como primer paso la identificación de la amenaza para posteriormente realizar el análisis social, económico y ambiental. Por su parte, la metodología constituida por el CENAPRED está enfocada al análisis de la vulnerabilidad estructural, social, económica, educacional y global de una región,

estableciendo niveles de vulnerabilidad (alto, mediano, bajo, etc.). Los datos para la estimación de la vulnerabilidad se obtuvieron mediante encuestas, a su vez, la población encuestada fue elegida por un muestreo mínimo estadísticamente significativo.

A cada respuesta de la encuesta se le asignó una ponderación, según las metodologías y de acuerdo con lo observado en campo. Finalmente se obtuvieron cuatro niveles de vulnerabilidad (bajo, medio-bajo, medio-alto y alto). Los mapas del grado de vulnerabilidad global y riesgo sísmico elaborados por Monroy-Salazar (2009) muestran la distribución (de manera puntual) de los resultados obtenidos.

En esta investigación, se ampliaron los resultados puntuales de Monroy Salazar (2009) mediante la elaboración de mapas que permiten identificar las zonas espaciales de los cuatro niveles de vulnerabilidad (bajo, medio-bajo, medio-alto y alto) que se utilizaron para la evaluación del riesgo sísmico en Santa María Tixmadejé. Utilizando el software ArcGis 9.3.3, se interpoló la ponderación total asignada a los puntos de localización de cada encuesta realizada por Monroy Salazar en la evaluación de las cuatro clases de vulnerabilidades. De esta manera se obtuvieron áreas de los cuatro grados de vulnerabilidad. Así mismo, para la elaboración del mapa de vulnerabilidad global se empleó la herramienta Plus del ArcGis 9.3.3, la cual realiza la operación aritmética que permitió “sumar” cada una de las vulnerabilidades medidas.

En los siguientes apartados se describen brevemente los indicadores para estimar cada vulnerabilidad así como los resultados obtenidos. También se presentan los mapas de la distribución espacial de cada vulnerabilidad y del IVG.

4.1 Zonificación de la vulnerabilidad social y económica

La vulnerabilidad social está relacionada con la integración social de una comunidad. El sentido de pertenencia a un grupo social habla de la solidaridad en la población, característica que es favorable al momento de enfrentar una amenaza (Aneas de Castro, 2000).

Para la estimación de la relación social en Santa María Tixmadejé se tomaron en cuenta los siguientes parámetros (Monroy-Salazar, 2009):

- Número de habitantes en la vivienda
- Organización con vecinos
- Cohesión de la población
- Participación en eventos organizados por el pueblo
- Percepción del riesgo

En el último punto, se realizó un enfoque al conocimiento de lo que se debe hacer durante un evento, estimándose mediante la respuesta de tres reactivos, que son:

- Conocimiento de Protección Civil
- Me siento preparado para enfrentar un sismo
- Conocimiento de rutas de evacuación o lugares seguros

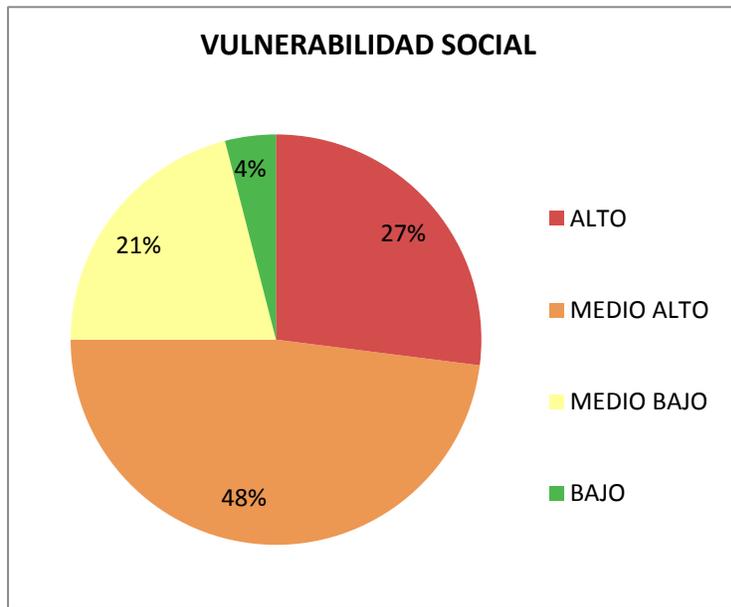


Figura 17. Gráfico con la estimación del nivel de vulnerabilidad social (Monroy Salazar, 2009).

Los resultados de Monroy-Salazar (2009) indican que la vulnerabilidad social media alta sobresale de los demás niveles de vulnerabilidad indicando que la relación social entre la comunidad es baja (Figura 17).

Espacialmente la vulnerabilidad social que predomina es la media-alta (Figura 18), coincidiendo con lo analizado por Monroy-Salazar (2009). Sin embargo, el presente análisis permite identificar que en el centro del poblado se localizan pequeñas zonas con vulnerabilidad social alta que es precisamente el sitio en donde se localiza la iglesia de la comunidad. Si bien la vulnerabilidad predominante es media-alta, en las zonas más susceptibles de sufrir daños por caída de rocas presentan vulnerabilidad social alta indicando que aun cuando la iglesia sea un centro de reunión para el poblado, no existen grupos sociales activos que fomenten la cohesión en la comunidad. Esta falta de vinculación permite la dispersión y poca comunicación entre los habitantes, limitando las actitudes favorables en caso de una emergencia.

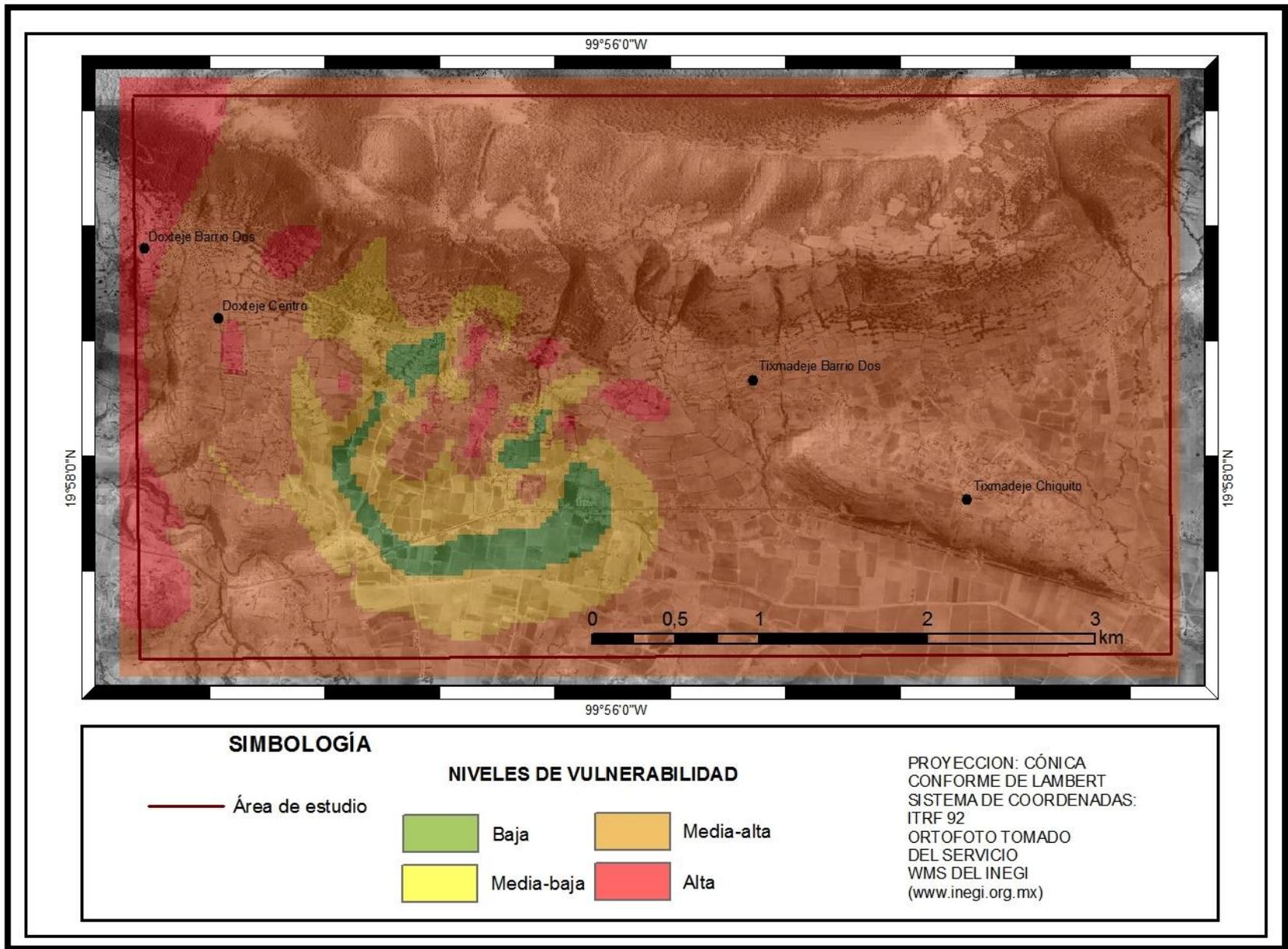


Figura 18. Zonificación espacial del nivel de vulnerabilidad social en Santa María Tixmadejé.

Por su parte, la vulnerabilidad económica se manifiesta en la insuficiencia de ingresos y/o la imposibilidad de acceder a todos los servicios formales de educación, recreación y salud (Monroy Salazar, 2009). Es así que para su estimación se consideraron los recursos básicos de agua, luz eléctrica y drenaje, dependiendo si una vivienda contaba con tres, dos, uno o ninguno de los recursos anteriores se asignaba una ponderación.

Las otras variables están dirigidas a los ingresos por familia y a la capacidad de administración de los mismos, como:

- Personas que contribuyen al gasto familiar.
- Si cuentan con una cuenta de ahorro.
- Número de actividad laboral (trabajos) de cada integrante en una familia.

Siendo una comunidad donde la actividad económica más importante es la agricultura, esta actividad se consideró como otra variable. Sin embargo, Monroy-Salazar (2009) señala que algunas personas que realizan ésta actividad son para autoconsumo y no representa una derrama económica importante en el grupo familiar. Se consideraron tres aspectos:

- Si la única actividad es ser agricultor
- Si además de ser agricultor existe otra actividad laboral
- Si además de ser agricultor existe más de una actividad laboral

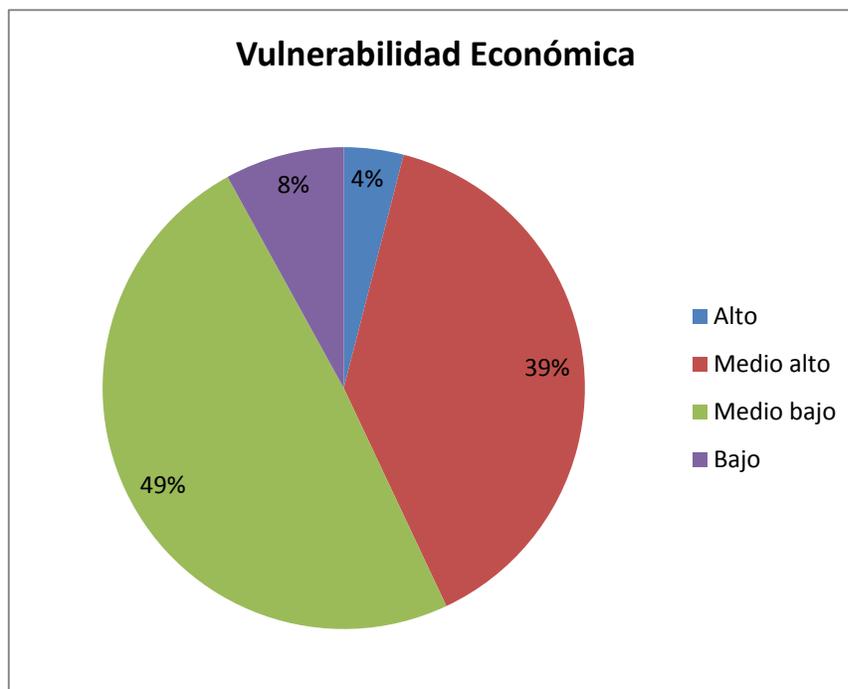


Figura 19. Porcentajes del nivel de vulnerabilidad económica (Monroy Salazar, 2009).

La vulnerabilidad económica más alta es la media baja (Figura 19), no obstante, existe una variación mínima entre la vulnerabilidad media alta y media baja.

En la Figura 20 se observa la distribución espacial de la vulnerabilidad mencionada, se observa claramente el predominio de dos niveles de vulnerabilidad (baja y media-alta). No obstante, la vulnerabilidad media-alta ocupa mayor territorio, esto es en la parte oriental del poblado hacia el centro del mismo, donde se concentran la mayoría de los cultivos de la localidad. Esta variación entre los niveles de vulnerabilidad dominantes, desfavorece la estabilidad económica de la localidad.

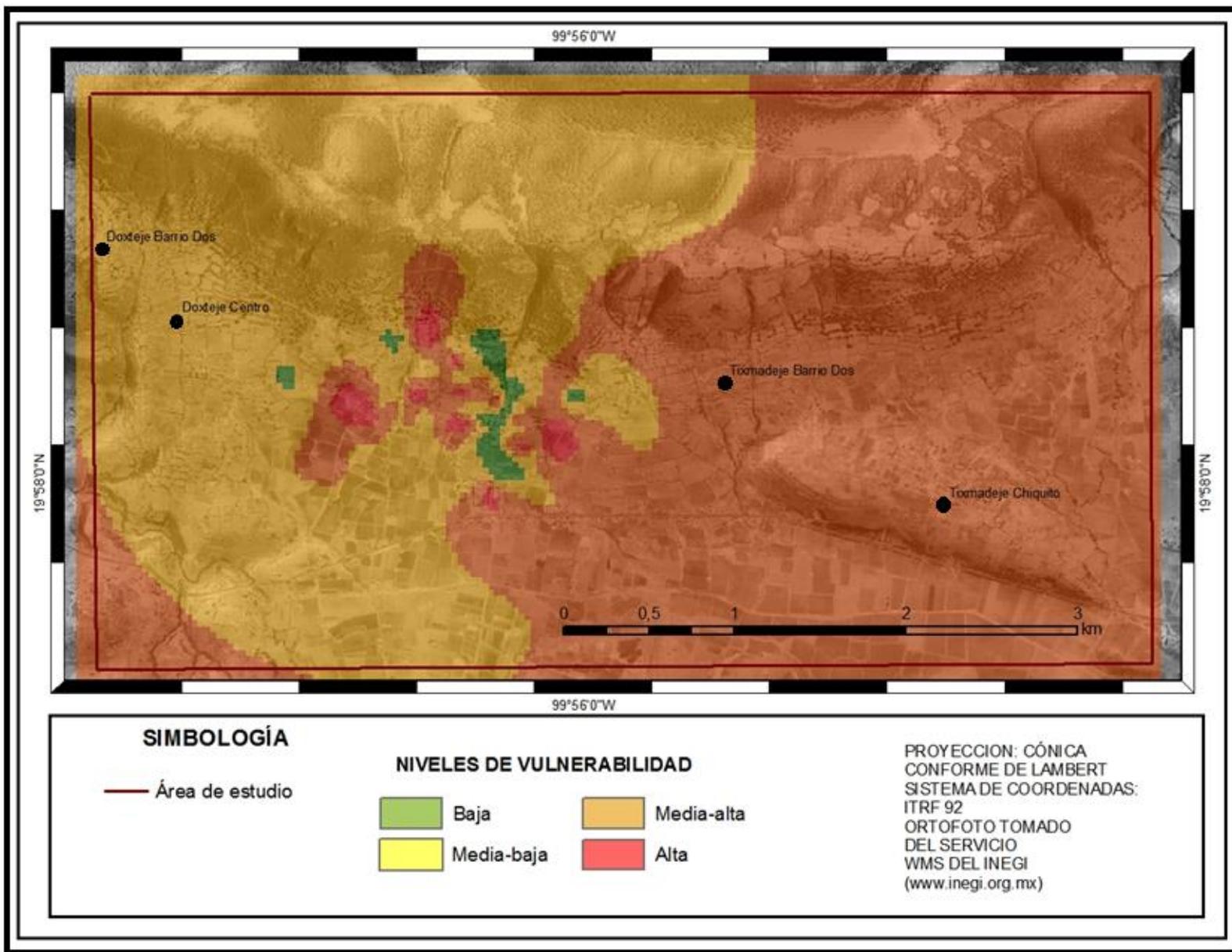


Figura 20. Mapa mostrando la zonificación del nivel de vulnerabilidad económica en Santa María Tixmadejé

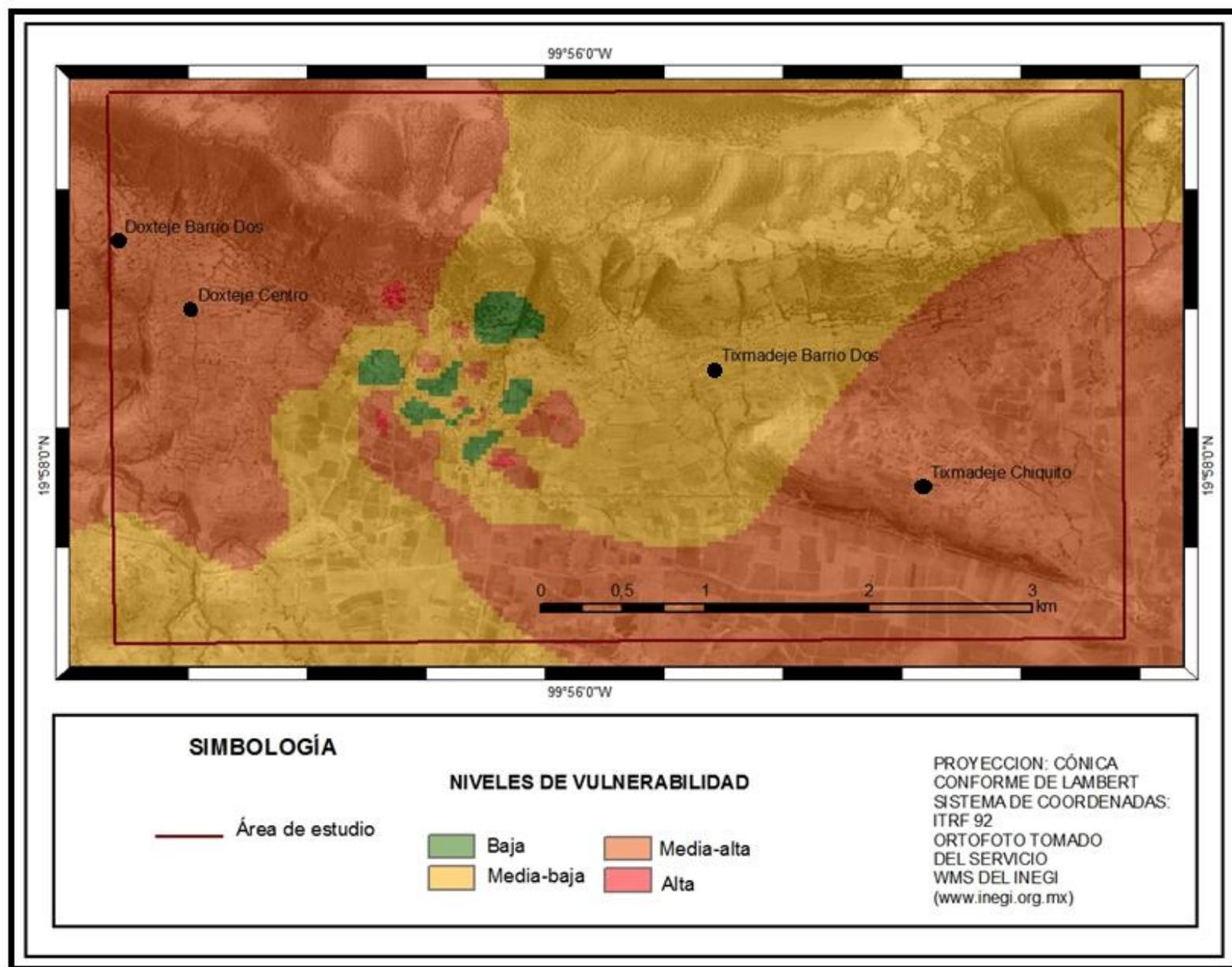


Figura 22. Zonificación espacial del nivel de vulnerabilidad educacional en Santa María Tixmadejé.

Al igual que la vulnerabilidad económica, la vulnerabilidad media-baja predomina con escasa diferencia, con respecto al nivel de vulnerabilidad media-alta (Figura 21). Espacialmente, los resultados son prácticamente los mismos pues también destacan la vulnerabilidad media-alta y media-baja, teniendo mayor cobertura la vulnerabilidad media-baja (Figura 22).

Es así que la distribución espacial de la vulnerabilidad educacional es el único caso donde la vulnerabilidad alta coincide con los resultados de Monroy-Salazar (2009). En los otros casos, la vulnerabilidad alta es mínima (2%-4%) y la localización de la misma tiene una cobertura espacial considerable. En este caso la vulnerabilidad media-baja se ubica en el centro del poblado extendiéndose al norte y al sur. A diferencia del resto de las vulnerabilidades calculadas, en el centro del poblado se ubican un número reducido de zonas de vulnerabilidad alta.

4.3 Zonificación de la vulnerabilidad estructural

En el análisis de la vulnerabilidad estructural de las viviendas en el poblado se consideraron dos características principales (Monroy-Salazar 2009):

(1) El tipo de material y el diseño de la vivienda:

- a) La cimentación
- b) Muros de carga
- c) Techos

(2) El desempeño sísmico de una vivienda, es decir, su resistencia:

- a) Unión entre el techo y muros
- b) Rigidez del techo
- c) Fuerzas laterales

Las variables anteriores fueron evaluadas con el apoyo de la tipología de viviendas del INEGI (2000) para los elementos estructurales y la establecida por el CENAPRED (2004) para el desempeño sísmico.

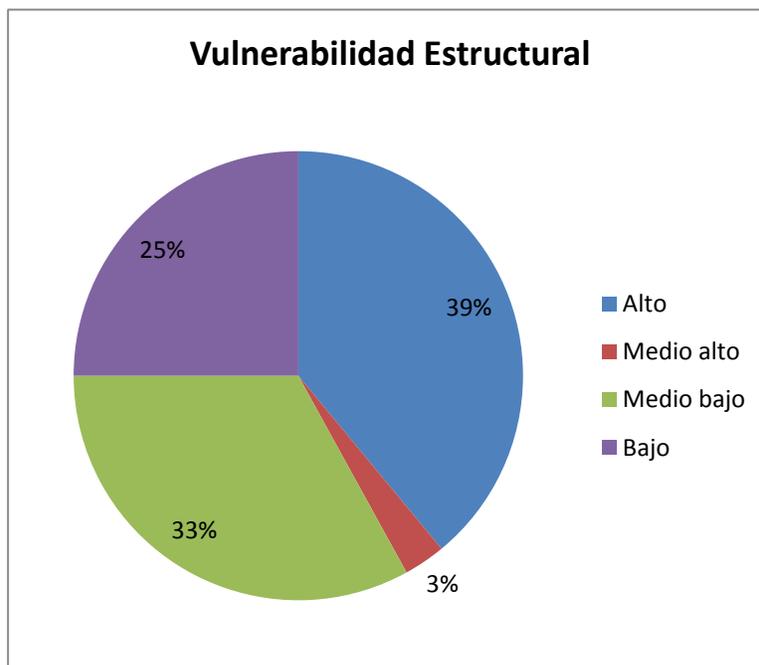


Figura 23. Porcentaje del nivel de vulnerabilidad estructural (Monroy Salazar, 2009).

En la Figura 23 se muestra que la vulnerabilidad estructural es alta, no obstante, prácticamente no existe diferencia entre los niveles de alto, medio-bajo y bajo, situación que hace difícil la comprensión de ésta vulnerabilidad.

Sin embargo, en el mapa con la distribución espacial de la vulnerabilidad estructural (Figura 24), se observa que la vulnerabilidad media-alta ocupa mayor área de terreno, seguida por la vulnerabilidad media-baja. Estos resultados no coinciden con los de Monroy Salazar, (2009). Nuestro procedimiento metodológico nos permite identificar tres zonas importantes de vulnerabilidad alta dentro de la región de vulnerabilidad media alta. Como en los resultados anteriores, estas zonas se concentran en el centro del poblado.

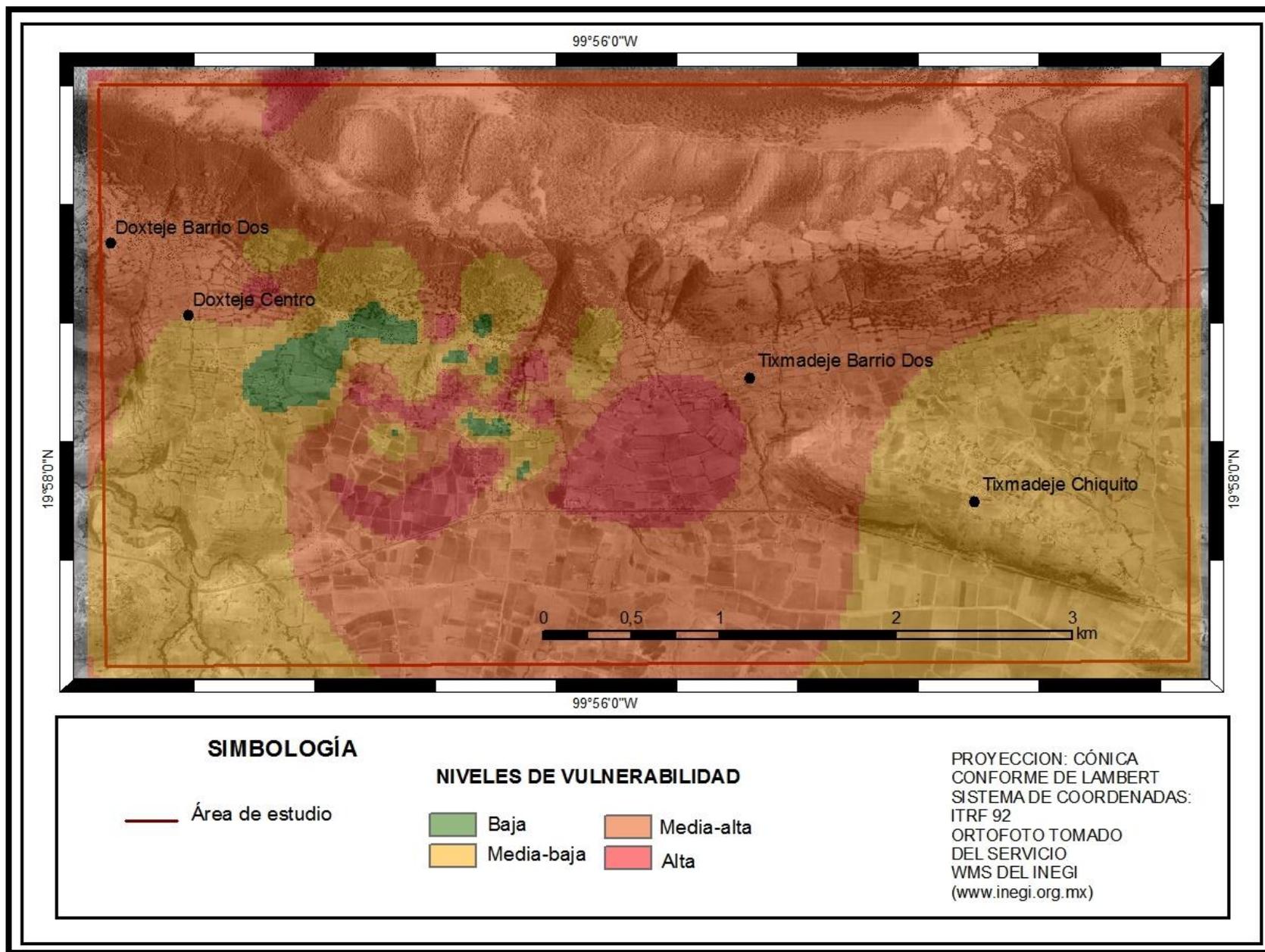


Figura 24. Mapa mostrando la zonificación del nivel de vulnerabilidad estructural en Santa María Tixmadejé.

4.4 Zonificación de la vulnerabilidad total

Los resultados de Monroy Salazar (2009) señalan que únicamente la vulnerabilidad económica y educacional obtuvieron el mismo grado de vulnerabilidad (medio-bajo). Por su parte, la vulnerabilidad social y la vulnerabilidad estructural adquirieron la categoría de vulnerabilidad alta.

En esta investigación, para obtener el mapa de vulnerabilidad total (Figura 25), se utilizó el programa ArcGis 9.3.3 con el cual se sumaron los valores de cada una de las áreas de la misma categoría de vulnerabilidad utilizando la distribución espacial de los cuatro mapas de vulnerabilidad presentados anteriormente.

La característica fundamental a destacar en el mapa de vulnerabilidad total, es que los cuatro niveles de vulnerabilidad se ubican en el centro del poblado debido a que el área que ocupa la categorización de los niveles de vulnerabilidad de tres de las cuatro vulnerabilidades medidas (social, económica y estructural) se agrupan en esta zona. Sin embargo, espacialmente, la vulnerabilidad total predominante es la media-alta. Esto se debe, principalmente a que la vulnerabilidad media-alta es la que tiene mayor distribución espacial.

Las tres áreas de vulnerabilidad baja ubicadas en el centro del área de estudio, están rodeadas de vulnerabilidad media-baja, seguidas de vulnerabilidad media-alta terminando con pequeñas zonas de vulnerabilidad alta, por lo que el incremento de la vulnerabilidad total en esta parte del poblado es radial.

Al sur del área de estudio, donde se localizan la mayoría de los cultivos, se el incremento de la vulnerabilidad de forma lineal. Es decir, al suroeste se ubican áreas de vulnerabilidad media-baja, al centro la vulnerabilidad es media-alta seguida de un área importante de vulnerabilidad alta. La diferencia es que el incremento de la vulnerabilidad en esta parte de la comunidad es de oeste a este.

Al existir contrastes tan marcados en un poblado, desfavorece implementar programas de mitigación ante un evento extremo natural debido a que los niveles

de vulnerabilidad no son los mismos en toda la localidad, a pesar de ser una comunidad pequeña. Es así que para disminuir el nivel de vulnerabilidad en Tixmadejé es recomendable implementar programas enfocados en primera instancia a la cohesión social de la población a través de la creación de grupos sociales.

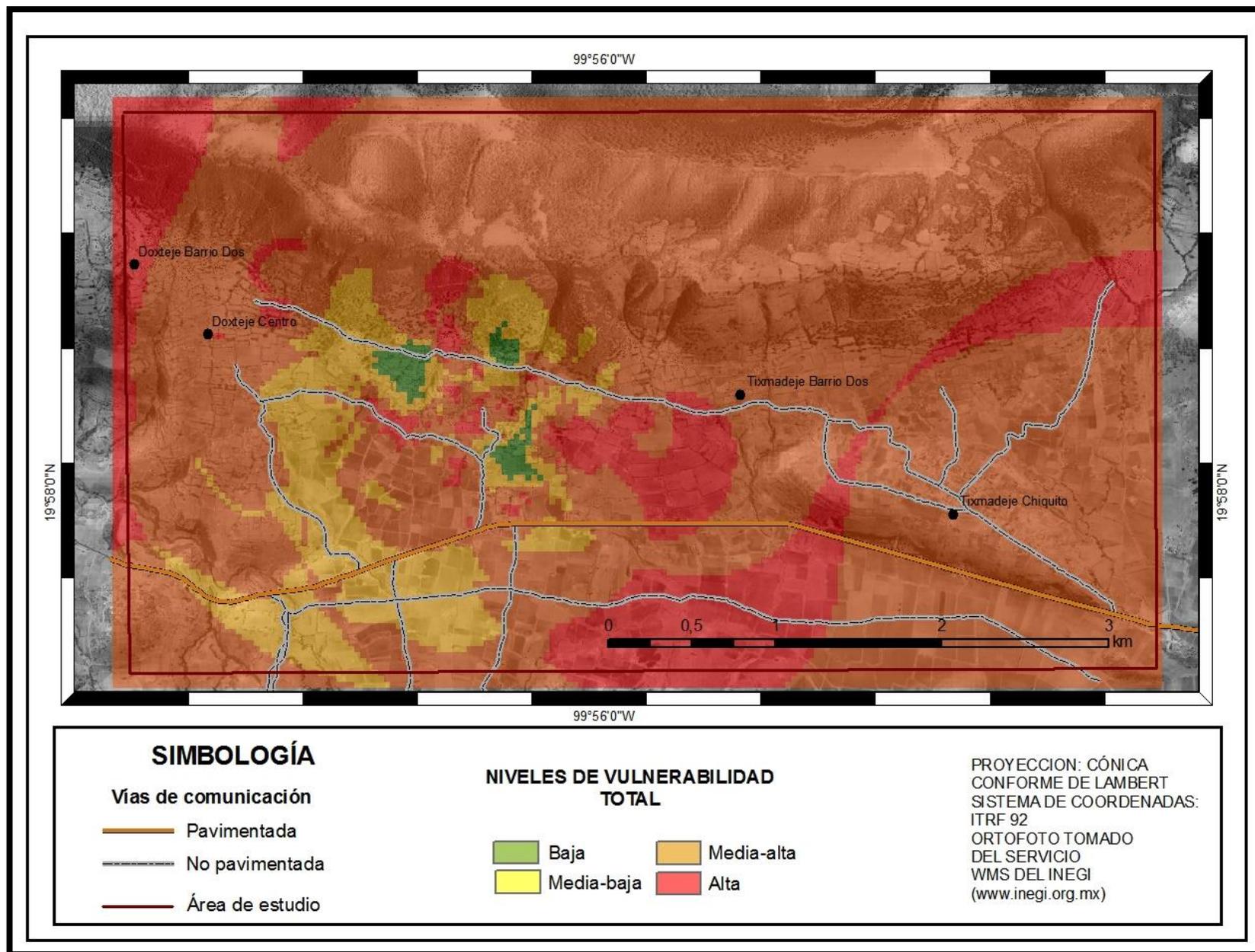


Figura 25. Zonificación del nivel de vulnerabilidad global en Santa María Tixmadejé.



CAPITULO 5: ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR CAÍDA DE BLOQUES ASOCIADA A LA SISMICIDAD

Los efectos de un desastre pueden amplificarse por diversas causas, como una mala planeación territorial, falta de medidas de seguridad, planes de emergencia incompletos o simplemente los habitantes de una localidad no conocen el riesgo en el que viven. Otro factor que incrementa el riesgo y favorece el desastre es la existencia de más de dos o más amenazas naturales en una comunidad. Tratándose de PRM es muy común que otros eventos naturales sean los detonantes de estos procesos.

Un ejemplo de lo anterior son los acontecimientos ocurridos en El Salvador y Venezuela. Según el CENAPRED (2008), en enero de 2001 en El Salvador un gran flujo de suelos y rocas sepulto por completo gran porcentaje de la zona habitada conocida como Las Colinas el cual se produjo como consecuencia de un sismo de 7.6 grados de magnitud, ocasionando la pérdida de más de 500 personas. En Venezuela, se presentaron precipitaciones extraordinarias durante casi 20 días en el mes de diciembre de 1999, provocando la saturación del suelo por el exceso de agua en la franja costera del país y causando no solo inundaciones, sino también el reblandecimiento y la inestabilidad de las laderas.

En el caso de Santa María Tixmadejé, Monroy-Salazar (2009) señala que son cuatro eventos naturales que afectan a la población:

- Inundaciones
- Sismos
- Incendios
- Caída de bloques

Sin embargo, dos de los eventos anteriores se manifestaron durante un mismo evento. Como ya se mencionó anteriormente, el sismo de 1912 ocasiono la caída de bloques, causando daños mayores en el poblado. Es por lo anterior que en este capítulo se expone la relación entre la amenaza sísmica y la caída de bloques así como sus respectivos mapas de riesgo en la comunidad de Santa María Tixmadejé.

5.1 Nivel de riesgo por caída de bloques asociado a la sismicidad

Para identificar una amenaza sísmica es necesario entender cuál es la dinámica del suelo en la región de estudio debido a que el movimiento de una onda sísmica cambia dependiendo de las propiedades geotécnicas y topográficas del terreno donde se desplaza (Guzmán, 1999).

En el estudio de riesgo sísmico en Santa María Tixmadejé llevado a cabo por Monroy Salazar (2009) para identificar la amenaza sísmica, se elaboró un análisis de comportamiento del suelo ante un evento sísmico. Se realizaron una serie de mediciones de la vibración natural del suelo en el poblado utilizando un sensor sísmico (acelerógrafo) en puntos fijos previamente determinados, obteniendo la respuesta de sitio en caso de la ocurrencia de un sismo en el futuro.

Los resultados de Monroy Salazar (2009) muestran en un mapa de microzonificación sísmica las curvas con el mismo periodo de respuesta del suelo (Figura 26). Este tipo de mapa muestra el comportamiento del suelo ante un evento sísmico. La característica fundamental en el mapa de isoperiodos del suelo de la comunidad muestra que la amplitud de las curvas cambia drásticamente en una pequeña porción de terreno. La amplificación sísmica presenta períodos altos en la parte oeste del poblado, mientras que en la zona noreste la corta distancia entre una curva y la otra indica períodos más cortos.

Así mismo, con la identificación de la amenaza sísmica Monroy Salazar (2009) estableció escenarios de riesgo para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años mediante el modelo de predicción de Poisson. Este modelo tiene las siguientes características (Monroy Salazar, 2009):

1. El número de sucesos en un intervalo de tiempo es independiente del número de eventos en otro intervalo de tiempo.
2. La probabilidad de sucesos durante un intervalo de tiempo corto es proporcional a la longitud del intervalo de tiempo.
3. La probabilidad de que un evento ocurra durante un intervalo de tiempo pequeño es insignificante.



Figura 26. Mapa de isoperíodos naturales del suelo en Santa María Tixmadejé (Monroy Salazar, 2009).

En estos escenarios se calculó la probabilidad de ocurrencia de un sismo para cada período de retorno analizado (Tabla 1).

Tabla 1. Escenario de probabilidades para el riesgo sísmico en Tixmadejé para diferentes períodos de retorno (Monroy Salazar, 2009).

Período (t)	Probabilidad	Nivel de riesgo
10	0.0023	Medio bajo y alto
50	0.0115	Medio bajo y alto
100	0.00229	Medio bajo y alto
500	0.884	Medio bajo y alto

El período de recurrencia de la amenaza sísmica medido anteriormente por Landridge (2000) en la zona de Acambay se calculó de 3600 a 5000 años, comparando con las estimadas por Monroy Salazar (2009), en ambas las probabilidades de que ocurra un sismo de magnitud 6.9 son bajas. Sin embargo, el riesgo estimado por esta autora no cambia a lo largo de los cuatro períodos. Es importante considerar que estas predicciones pueden cambiar de acuerdo a la dinámica de la población, la cual puede o no aumentar su riesgo.

Con la identificación de la amenaza sísmica y la vulnerabilidad total de la población, el riesgo sísmico en el poblado estimado por Monroy Salazar (*op. cit.*), presenta en la mayoría de las viviendas un riesgo medio-alto y alto. En la Figura 27 se muestra la distribución de los niveles de riesgo sísmico y los períodos de respuesta del suelo.

Al no contar con datos históricos suficientes sobre caída de bloques en la zona de estudio, es imposible establecer un período de recurrencia para este único evento.

Es así que para determinar el nivel de peligro por caída de rocas, este estudio se basó en las probabilidades establecidas por Monroy Salazar (2009), debido a que el único registro de este fenómeno es el que señalan Urbina y Camacho (1913) durante el sismo de 1912 y no existen registros de caídas de bloques asociados a otro fenómeno natural. Por esta razón, la caída de material rocoso proveniente de la pared norte del graben de Acambay, donde se traza la falla activa Acambay-Tixmadejé, se asocia principalmente a la sismicidad.

Sin embargo, otros agentes naturales como la precipitación y la temperatura, los cuales generan intemperismo y erosión contribuyendo a la fractura de las rocas expuestas, no son descartables debido a pueden causar caída de bloques aunque no se tenga el registro del mismo.

En otros estudios, la datación de caída de rocas en el municipio de Lorca en la Región de Murcia, España (Pérez López R. *et al.*, 2012), se basaron en la técnica de liquenometría. Este método permite fechar superficies rocosas mediante el estudio del crecimiento de las diferentes especies de líquenes sobre ellas. Por lo tanto, permite datar eventos geomorfológicos asociados a desprendimientos rocosos y deslizamientos (Pérez López, *op. cit.*). En este trabajo, los autores, verificaron la fecha de desprendimientos y su posible relación con la sismicidad histórica. Los resultados indicaron que al menos tres sismos de magnitud mayor a los 5.2 grados, ocasionaron la caída de rocas en el municipio.

Otro ejemplo, es el caso del estudio realizado en la sierra de Guadalupe al norte de la ciudad de México por Lugo Hubp y Salinas Montes (1996), en el cual para realizar el mapa de peligros de la zona se basaron en información morfogenética y periodística recopilada entre los años 1987 y 1995. Encontraron que el agente principal asociado a las caídas de rocas es la precipitación. En este caso, la amplia información existente del registro por estos eventos permitió hacer un análisis detallado del proceso.

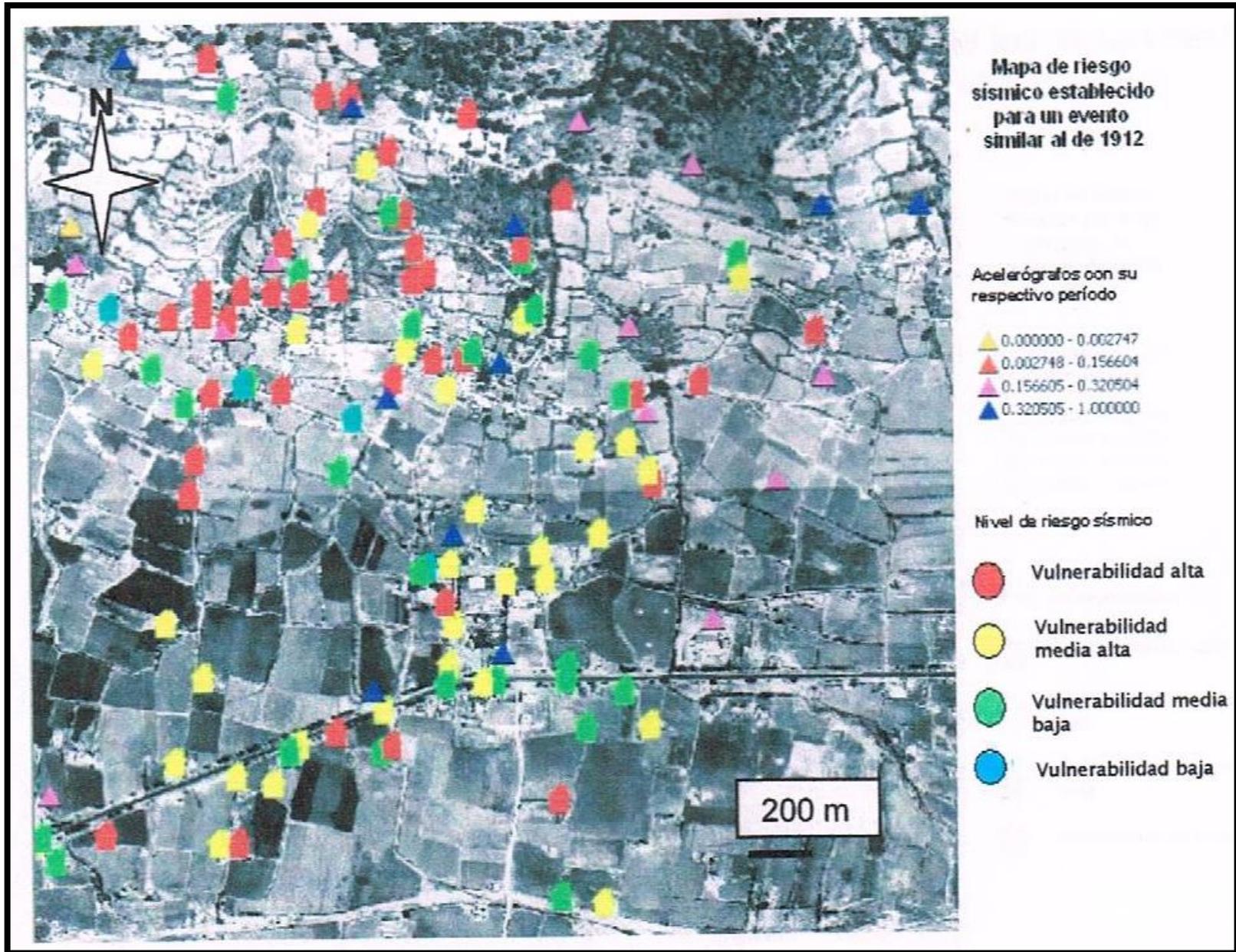


Figura 27. Mapa de riesgo sísmico para un evento similar al de 1912 en Santa María Tixmadejé (Monroy Salazar, 2009).

5.2 Mapa de riesgo

La evaluación del riesgo por caída de bloques en Santa María Tixmadejé se realizó mediante el análisis de los elementos que integran al mismo y utilizando el software ArcGis 9.3.3. Estos elementos fueron:

- a) La identificación de bloques de tamaño considerable para establecer el área de posible impacto.
- b) El período de recurrencia con datos de registros de eventos reportados de caídas de bloques.
- c) Información geológica y edafológica del poblado.
- d) Mapa de susceptibilidad de laderas con el propósito de identificar las regiones propensas a manifestaciones de caídas de material rocoso.
- e) La zonificación del grado de vulnerabilidad total en la comunidad.

Con el propósito de identificar las zonas de probable impacto, así como el posible daño a la infraestructura del poblado, se sobrepusieron las capas de información geográfica desarrollados. Es decir, a las áreas espaciales con los cuatro niveles de vulnerabilidad aquí determinados se añadieron la localización de los bloques registrados en campo, las áreas de desprendimiento, así como las áreas susceptibles a desprendimiento de material de roca (mapa de susceptibilidad de laderas).

En la Figura 28 se muestra de manera esquemática, el proceso realizado para la evaluación del riesgo por caídas de bloques asociado a la sismicidad.

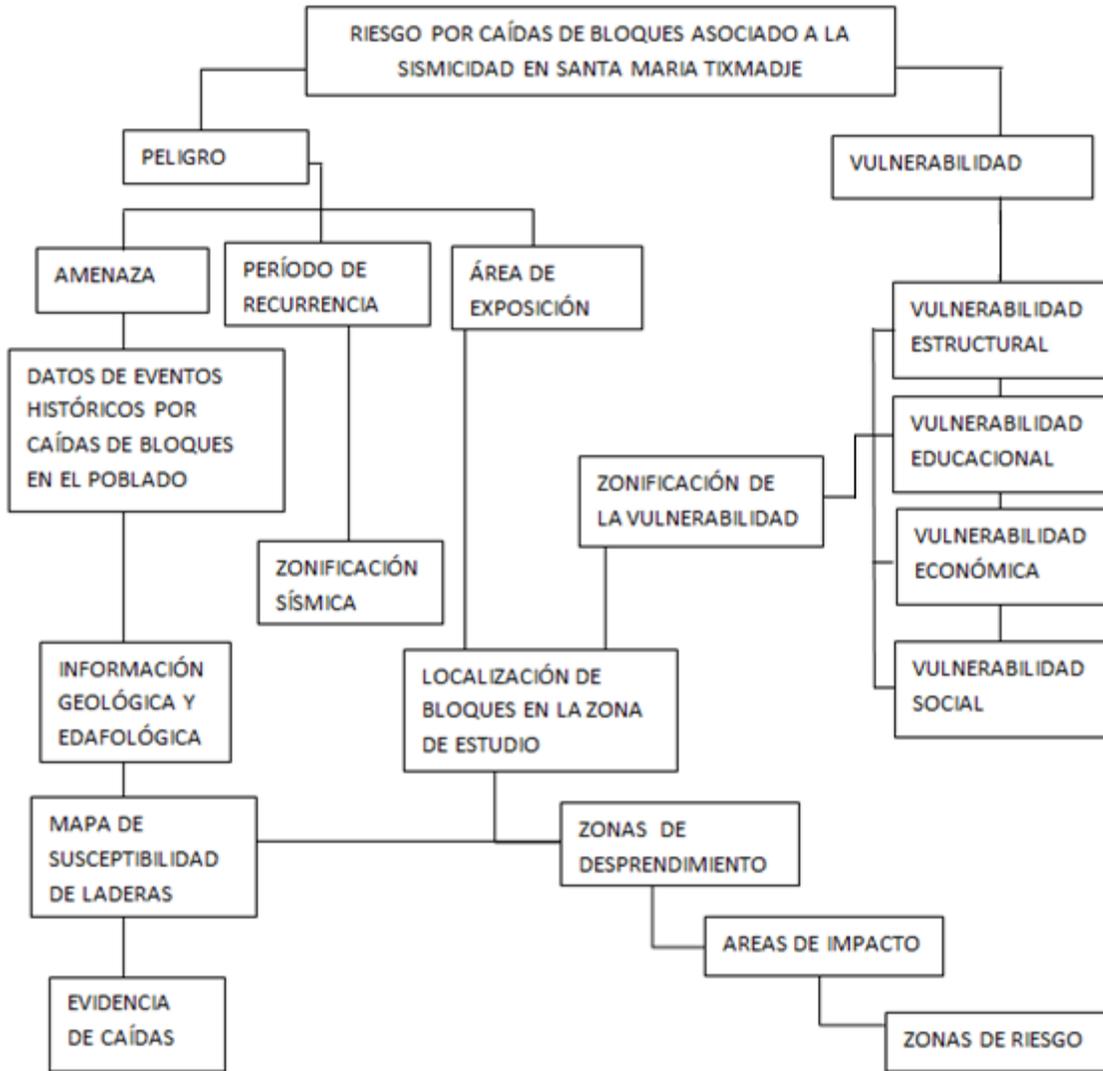


Figura 28. Proceso metodológico desarrollado para la evaluación del riesgo por caídas de bloques en Santa María Tixmadejé.

La metodología utilizada se basa en elementos cualitativos para la estimación de la vulnerabilidad. La valoración del peligro se obtuvo con información física, histórica y de campo, similar al estudio realizado en Medellín, Colombia, por Rendón *et al.* (2007). En este estudio la metodología empleada

para el análisis de la vulnerabilidad se basó en un análisis multicriterio, asignando a cada factor un valor ponderado en forma cualitativa, además de realizar un inventario de los bloques potencialmente inestables.

En el mapa de riesgo por caídas de bloques en Santa María Tixmadejé se presentan las zonas de desprendimiento de material rocoso provenientes de la pared norte del graben de Acambay (Figura 29). De igual manera, se muestran las zonas de impacto y las áreas de los niveles de riesgo por caída de bloques en la región. Aunque el área de la zona de estudio es pequeña, la escala de los mapas disponibles es un factor limitante para determinar las zonas de desprendimiento y las posibles afectaciones que los bloques pueden llegar a causar en la comunidad. En la Figura 30, con una vista de perfil, se muestra una de las zonas de desprendimiento y las dimensiones del material superficial que contiene, además el grado de la pendiente.

Las áreas de alto riesgo se extienden en la pared norte del graben de Acambay, debido al repentino cambio de pendiente en una extensión pequeña de terreno, el cual varía de los 20° a los 72° de pendiente.

El centro del área de estudio también tiene un riesgo alto, lugar donde se localiza la iglesia del pueblo, debido a que esta área es la de mayor impacto al encontrarse cinco de los nueve bloques identificados y por ubicarse a corta distancia de una de las áreas de desprendimiento.

Aun cuando las zonas de desprendimiento son pequeñas, la caída del material que contiene puede llegar a causar daños, en la carretera que va hacia Temascalcingo, que utiliza la población como vía principal para transportarse, afectando a las viviendas próximas a la carretera.

Por su parte, en la planicie aluvial del valle domina el riesgo medio-bajo con algunas áreas de riesgo bajo. Esta área está categorizada así por contar con una vulnerabilidad total de media-baja a media-alta. Sin embargo, el nivel de exposición ante un evento de caída de rocas es alto debido a que los bloques más

grandes identificados en el piedemonte del área de estudio, pueden volcar en caso de que ocurra un sismo de magnitud 6.9 o mayor ocasionando daño a más viviendas además de los caminos terrestres secundarios y la carretera principal hacia Temascalcingo.

El alcance de este tipo de evento natural, no sólo puede llegar a dañar a la población de Santa María Tixmadejé, sino que también puede causar daños en comunidades aledañas al área de estudio, tal como ocurrió durante el sismo de 1912. Una de las características a destacar en el mapa de riesgo sísmico realizado por Monroy Salazar (2009), es que entre un punto de riesgo bajo y un punto de riesgo alto, la distancia entre ambos es relativamente corta en una región pequeña, indicando la discrepancia entre los cuatro niveles de riesgo, situación que se repite en el mapa de riesgo por caída de bloques.

La zonificación de la vulnerabilidad total de la población permite visualizar las áreas más vulnerables, convirtiéndose en una de las herramientas principales para establecer medidas para reducir el nivel de riesgos a los que se encuentra expuesta la comunidad y evitar que se conviertan en desastre.

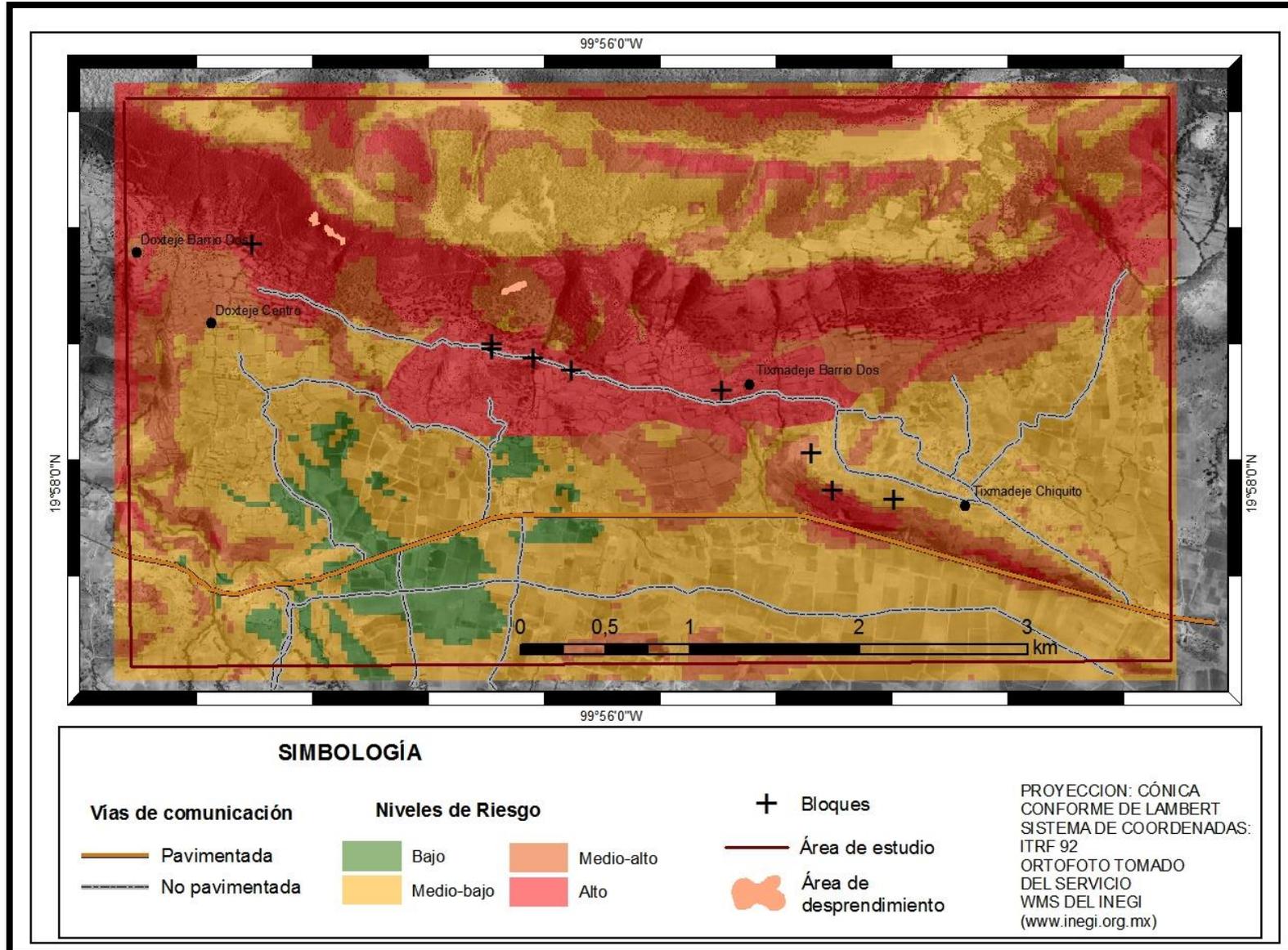


Figura 29. Mapa de riesgo por caídas de bloques en Santa María Tixmadejé. Se muestran los niveles de riesgo, las áreas de desprendimiento de material, la localización de los bloques caídos identificados y las instalaciones vitales en el poblado.

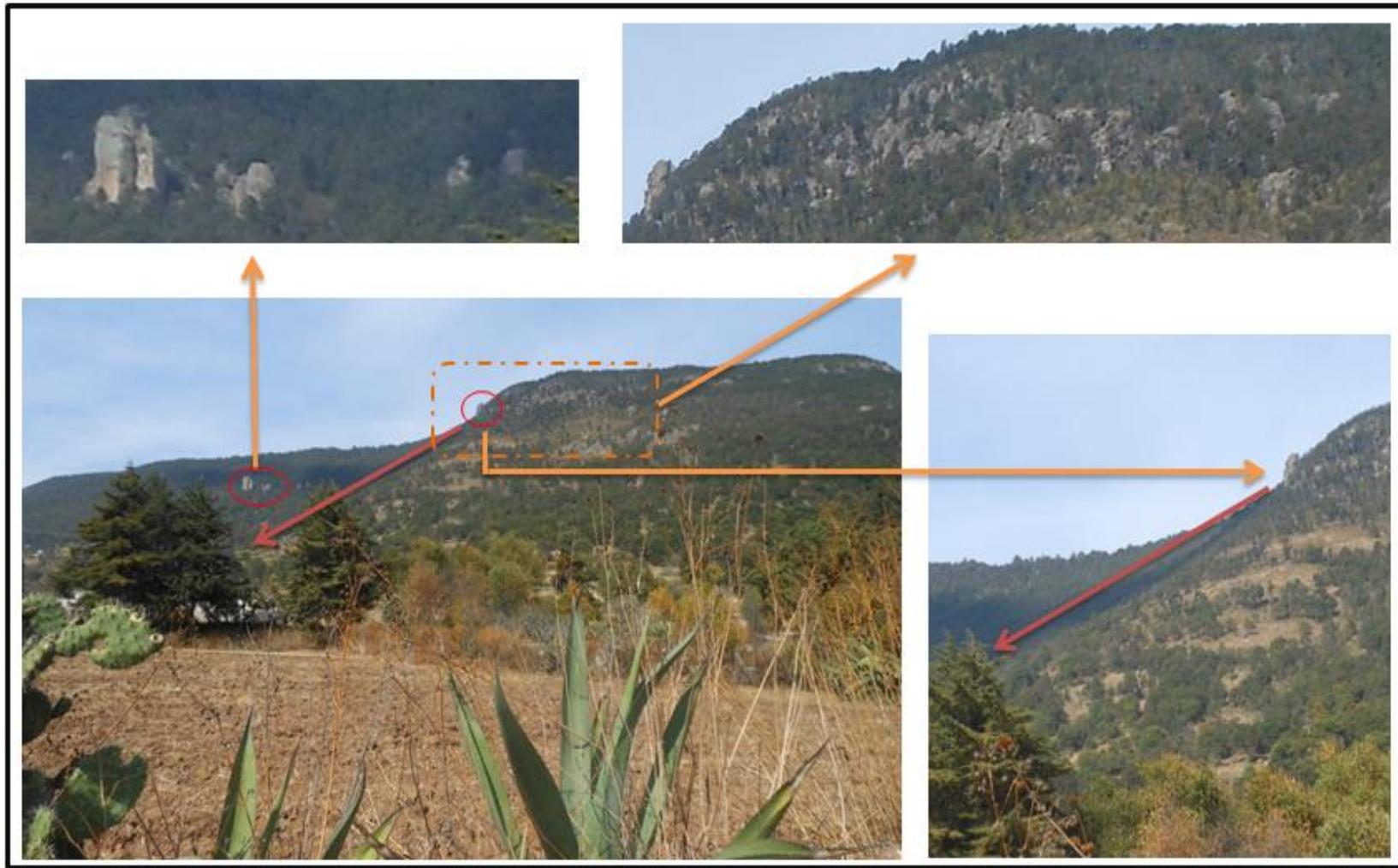


Figura 30. Vista de perfil de la pared norte del Graben de Acambay mostrando el grado de pendiente y las dimensiones del contenido rocoso en su parte más alta.



CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los aspectos fundamentales que hacen que la comunidad de Santa María Tixmadejé se encuentre en riesgo por caída de rocas son:

- Su localización geográfica. La comunidad se encuentra expuesta a dos tipos de amenazas principales:
 - a) Por sismos, al estar el poblado asentado a una corta distancia de la falla activa Acambay-Tixmadejé, la cual dio origen al sismo ocurrido en 1912.
 - b) Por caída de bloques, esto se debe a que sobre la traza de la falla se alza un escarpe pronunciado con contenido de material rocoso que puede llegar a colapsar sobre el poblado.

Si llegara a ocurrir un sismo de magnitud considerable, como el acontecido en 1912, además del desprendimiento de material rocoso expuesto sobre el escarpe, al menos tres de los bloques identificados sobre el piedemonte aumentan el nivel de riesgo en una zona de vulnerabilidad alta. Sin embargo, es importante señalar que la caída de bloques también puede ser provocada por agentes erosivos y no solo por sismos. Por lo tanto, el riesgo sísmico es mayor que el riesgo por caída de bloques, ya que un sismo de

magnitud considerable favorece el acontecimiento de otro evento natural, siendo en este caso la caída de bloques.

La identificación de caídas de bloques se basó en la evidencia de caídas ocurridas anteriormente, como lo registraron Moshe Inbar et al. (2000) en esta misma área, estableciendo que los bloques caídos durante el sismo de 1912 se depositaron en la base de la ladera. Aunque esta técnica es sencilla, el inventario de los bloques permitió ser un elemento importante en la estimación del riesgo utilizando el software ArcGis 9.3.3

- El grado de vulnerabilidad

En el estudio de Monroy Salazar (2009), se estimó que el nivel de vulnerabilidad predominante en el área de estudio es la media-alta, siendo la vulnerabilidad social y la vulnerabilidad educacional las que obtuvieron los niveles más altos, debido principalmente a las causas siguientes:

- a) No existe una coherencia social. Si bien existen grupos sociales en el centro del poblado éstos no están lo suficientemente asidos, por lo que es posible que no ofrezcan la respuesta adecuada ante una situación de emergencia o de desastre. Por su parte, hacia los límites del poblado, los grupos sociales son nulos debido a que los habitantes se encuentran dispersos ocasionando que no exista una relación social formal en toda la comunidad.
- b) La falta de conocimiento por parte de la población acerca de los peligros que amenazan a la comunidad. Existe una inadecuada difusión del riesgo existente, fomentando que no existan planes de respuesta, mitigación o prevención.

Con el análisis espacial de los cuatro grados de vulnerabilidad en Tixmadejé, se ampliaron los resultados de Monroy Salazar (2009). Se determinó con mayor detalle el área correspondiente a la vulnerabilidad media

alta. También se identificaron las zonas más propensas a ser afectadas por caída de bloques que representan una vulnerabilidad alta, aumentando así el nivel de riesgo por este evento natural.

La combinación del riesgo por caída de bloques con el riesgo sísmico incrementa el riesgo global de la comunidad.

A diferencia del resultado de Monroy Salazar (2009) que indica que la vulnerabilidad estructural que predomina es alta, la zonificación espacial aquí realizada demuestra que en realidad la vulnerabilidad media-alta ocupa mayor área del territorio de la comunidad y se localiza principalmente en el centro del poblado.

Después del sismo de 1912, a pesar de la gran cantidad de daños ocasionados en la infraestructura y el número de víctimas registrados, hasta el presente, no se han tomado las medidas de prevención adecuadas en la comunidad. Además, la percepción del riesgo es baja entre los habitantes (Inbar *et al.*, 2000). Esta situación es debida principalmente a la baja frecuencia con que suceden estos fenómenos. Hace poco más de cien años que ocurrió el último evento natural que causó desastre por lo que actualmente ya no está presente en la memoria colectiva de la localidad.

CONCLUSIONES

La metodología utilizada en el presente trabajo es similar a la utilizada por Salgado Montoya (2005) para la evaluación de riesgo por inundaciones y deslizamientos en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras. En este trabajo la estimación de la vulnerabilidad global se basa en diez diferentes clases de vulnerabilidad, las cuales se representan en mapas, de la misma manera se representa la evaluación del peligro, pues para cada variable (pendiente, tipo de suelo, precipitación y cobertura de microcuencas) se elaboró un mapa. Sin embargo, a diferencia de esta investigación no se elaboró un mapa final de riesgo haciendo difícil ubicar las zonas de mayor riesgo por ambos fenómenos. Es importante que la difusión de este tipo de información deba ser clara y concisa ya que va dirigida tanto a autoridades competentes (Protección Civil, Gobierno, etc.) como a la población en general, para que los

primeros puedan implementar medidas de mitigación adecuadas que puedan ser comprensibles para la comunidad que vive en riesgo.

Otras investigaciones se han enfocado en el análisis físico de la región de estudio considerando un número limitado de variables para la medición de la vulnerabilidad total, tal es el caso del estudio realizado por Rendón *et al.* (2007) para la evaluación del riesgo por caídas de rocas en entornos urbanos de Medellín, Colombia. En esta investigación, para la estimación de la vulnerabilidad únicamente se consideró la densidad de habitantes por vivienda, y la vulnerabilidad física de la vivienda. El enfoque de este estudio, se basa en el análisis geomorfológico del cerro El Picacho para determinar la evolución del fenómeno natural que se presenta (caída de rocas). Sin embargo, la evaluación de la vulnerabilidad es inadecuada debido a que las variables consideradas fueron insuficientes para determinar un índice de riesgo.

CONCLUSIONES

La vulnerabilidad en el estudio del riesgo (cualquiera que este sea), es el factor de mayor interés en la disminución y mitigación de este riesgo. Esto es debido a que el peligro que representa un fenómeno natural extremo no se puede evitar. Es por lo anterior que el análisis certero y eficaz de los resultados en la medición de la vulnerabilidad, permiten implementar las medidas de mitigación adecuadas, disminuyendo las probabilidades de un desastre. No obstante, dicho análisis depende de medidas cualitativas y no cuantitativas, por lo que el proceso en su cálculo varía de una metodología a otra.

Las principales recomendaciones como resultado del presente trabajo son:

1. En primera instancia, difundir información concisa y clara del riesgo que existe en Santa María Tixmadejé, además de implementar planes de emergencia diseñados de acuerdo con las

necesidades de la población y a las condiciones de riesgo reales existentes.

2. Fortalecer la cohesión social con la creación de grupos integrados por habitantes de la comunidad, asignando responsabilidades en caso de que acontezca alguna situación de riesgo, con la ayuda de Protección Civil. La finalidad es fortalecer la capacidad comunitaria para implementar acciones de respuesta así como para mitigar y prevenir el impacto de los desastres.
3. Aunque la construcción de viviendas ha cambiado con respecto al tipo de material que se utiliza, la ubicación de las nuevas viviendas (en las zonas de mayor riesgo) no disminuye su vulnerabilidad, por lo que es recomendable legalizar la construcción de nuevas viviendas en estas zonas.
4. Considerar la reubicación de la población ubicada en zonas expuestas al peligro por caída de rocas. Sin embargo, es posible que siendo una comunidad tan arraigada culturalmente, esta medida no pueda implementarse. De cualquier manera, es recomendable el desarrollo de programas de ordenamiento territorial y códigos de construcción.
5. Para disminuir el nivel de exposición en la zona de concentración de cultivos es importante remover los bloques que representan mayor peligro y que se encuentran ubicados en el piedemonte del valle.
6. Debido a que en Tixmadejé no existe una clínica que atienda a la población local en caso de emergencias o desastres, es de suma importancia la construcción de un centro de salud con códigos de construcción, una adecuada ubicación y el equipamiento necesario.

Son escasas las investigaciones que tratan de establecer una metodología para estimar el nivel de riesgo por caídas de rocas, esta situación limita las técnicas y metodologías empleadas para identificar el riesgo por este fenómeno. Así mismo, la escasa información de eventos históricos de este tipo de evento fue otro de los factores limitantes durante la realización de esta investigación.

Aun cuando es sabido que la República Mexicana tiene actividad sísmica alta, pocos son los lineamientos a seguir para mitigar los daños que pueda causar un movimiento telúrico, sobre todo, tratándose en comunidades rurales, como es el caso de Santa María Tixmadejé. Un mapa de riesgo, cualquiera que este sea, es una de las herramientas básicas para llevar a cabo las actividades de localizar, controlar y dar seguimiento a los agentes generadores de riesgos, naturales y sociales.

La aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG), los mapas de riesgo sísmico, caída de bloques y vulnerabilidad total, obtenidos en este trabajo, resultan de vital importancia para comprender la espacialidad y alcance territorial de cada elemento que constituye el riesgo en la comunidad de Tixmadejé. Si bien la ocurrencia de un fenómeno natural extremo no se puede predecir en tiempo y forma exacta, la vulnerabilidad de poblaciones asentadas en zonas susceptibles ante tales procesos puede ser reducida con el análisis adecuado de la información sobre los riesgos existentes y la implementación de acciones que permitan preparar a las poblaciones expuestas ante este tipo de eventos.

Con los resultados de esta investigación, las autoridades correspondientes conjuntamente con la población, tienen las herramientas necesarias para implementar acciones para reducir su vulnerabilidad y por lo tanto disminuir la posibilidad de un desastre en caso de la ocurrencia de un sismo de magnitud considerable que genere un proceso de caída de bloques. El daño producido por una catástrofe natural a menudo resulta de una peligrosa combinación entre las fuerzas de la naturaleza y la actividad del hombre.

Es evidente que el impacto de las catástrofes no sería tan devastador si la humanidad fuera prudente y previsor. Existen medidas que podrían adoptarse y que, sin embargo, en la mayoría de los casos son ignoradas. Sólo se puede estar prevenido y preparado para enfrentar una catástrofe cuando se tiene un adecuado conocimiento del fenómeno que lo origina y los riesgos que estos representan debido a las condiciones prevalentes de la vulnerabilidad.

BIBLIOGRAFIA

- Aguirre Díaz, G.J. (1995). *La Toba Amealco y su correlación con la Formación Las Américas a través del graben de Acambay, parte central de la Faja Volcánica Mexicana*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 12 (1), 17-21 pp.
- Alcántara Ayala, I. (2000). *Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología*. Investigaciones geográficas, Boletín, Instituto de Geografía, UNAM, México, (41), 7-25 pp.
- Aneas de Castro S. (2000). "Riesgos y peligros: una Visión desde la Geografía" en. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona, 60, 1-15 pp. Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>, consulta: 9 de octubre de 2012.
- Aneas de Castro S. (2006). En torno al diagnóstico de los riesgos, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, Universidad de Barcelona, X (218), disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-218-12.htm>, consulta: 15 de septiembre de 2012.
- Arenas F., Lagos M., Hidalgo R. (2010). *Los riesgos naturales en la planificación territorial*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Serie Temas de la agenda, Centro de Políticas Públicas, Instituto de Geografía UC. Santiago, 39, 1-11 pp.
- Alva Hurtado, J.E., Chang Chang, L. (1987). *Mapa de áreas de deslizamientos por sismos en el Perú* (resumen), en V Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones Lima, 13–15 Abril de 1987, Facultad de Ingeniería Civil, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 1-11 pp.
- Astiz, L. M. (1980). *Sismicidad en Acambay, Estado de México, El temblor del 22 de febrero de 1979*, México, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, Tesis de licenciatura, 130 pp.

-
- Blaikie P., Cannon T., Davis I., Wisner B. (2003). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*, 2a ed., Routledge, London.
- Burton I. (1999). *Peligros naturales y ambientales*. En Henry J. and Heineke, G., *Ingeniería Ambiental*, 2a ed. México; Argentina, Prentice Hall Hispanoamericana, 778 pp.
- Bull W. B., McFadden L. D. (1977). "Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California", in Doehring, D. O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*, Proceedings of Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, 115–138 pp.
- Cano Cruz M. (2007). *Evolución del Volcán Hoya de Estrada, México: Guanajuato, México*. Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Geociencias campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de maestría, 128 pp.
- Capra L., Lugo Hubp J., Zamorano Orózco 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, 43, 205-214 pp.
- Cardona D. (2005). "Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo" en Maskrey A. (compilador) *Los Desastres no son Naturales*, Bogotá, La RED.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (1999). *América Latina y el Caribe: El impacto de los desastres Naturales en el desarrollo 1972-1999*. Ciudad de México: CEPAL.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2004). *Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos*. Serie: Atlas nacional de riesgos. Secretaria de Gobernación, México.

-
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2006). Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos. Serie: Atlas nacional de riesgos. Secretaria de Gobernación, México.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2008). Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos. Serie: Atlas nacional de riesgos. Secretaria de Gobernación, México.
- Copons Llorens R., Corte Masquefa A. (2009). *Movimientos de ladera*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra disponible en: <http://www.raco.cat>, consulta: 25 de abril de 2012.
- Cuanalo C., Quezada P., Aguilar M., Olivian R., Barona D. (2006). *Sismos y lluvias, factores detonantes de deslizamientos de laderas en las regiones montañosas de Puebla, México*. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México, 28-30 pp.
- Espinosa Rodríguez L.M., Graniel Graniel J.H., Peña Manjarrez V., Reyes Enríquez. (1996), *La sismicidad y su relación con los procesos gravitacionales en el Municipio de Acambay, Estado de México (resumen)* en IV Reunión de Geomorfología, Pátzcuaro, Michoacán, México, Sociedad Mexicana de Geomorfología, Instituto de Geografía, Centro de Ecología, Morelia, UNAM, 28-30 pp.
- Fries C. (1960). *Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México*. Boletín, Instituto de Geología, UNAM, (60), 5-207 pp.
- García Palomo A., Zamorano Orozco J., López Miguel C., Galván García A. Carlos Valerio V., Ortega R., Macías J.L., (2008) “*El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central*”: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 25, (1), 158-178 pp.

-
- Garduño Monroy V., Arreygue Rocha E., Alcántara I., Rodríguez Torres G. (2001). *Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Departamento de Geología y Mineralogía, Ciudad Universitaria, Morelia, 18 (1), 37-54 pp.
- González M., Baires S. (1996). "De derrumbes e inundados". En: Lungo, M. y Baires, S. (compiladores) *De terremotos, derrumbes e inundados. La RED*.
- Guzmán J., (1999), *Comportamiento dinámico en suelos del Área Metropolitana San José utilizando técnicas empíricas*. Tesis de licenciatura, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José.
- Hauser A., 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Boletín. 45, p. 7-29 pp.
- Inbar M., Ramírez Herrera M.T., Reyes A., Graniel Graniel J. (2002) "Caída y deslizamiento de megabloques durante el sismo de Acambay, México, en 1912" en Lugo Hubp, J., Inbar, M. (eds.) *Desastres Naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica, México, 369-371 pp.
- INEGI (1975), Carta Edafológica, Hoja E14A17, "Atlacomulco", escala 1:50 000.
- INEGI (2002), Carta Uso de Suelo, Hoja E14A17, "Atlacomulco", escala 1:50 000.
- INEGI (2005), Carta Topográfica, Hoja E14A17, "Atlacomulco", escala 1:50 000.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), (2000), XII Censo de Población y Vivienda. Disponible en www.inegi.gob.mx
- Johnson C. A. 1987. *A study of neotectonics in central Mexico from Landsat thematic mapper imagery*, MS thesis, University of Miami, Coral Gables, Florida, 112 pp.

-
- Johnson C. A., Harrison, C. G. A. (1990). "Neotectonics in Central Mexico", *Phys. Earth Planet. Inter.*, 64(2-4), 187-210 pp.
- Lara C., Sepúlveda V., (2008). *Remociones en Masa Apunte del curso año 2008*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología, *Universidad de Chile*, 5-30 pp.
- Landridge R.M., Weldon R.J., Moya J.C., Suárez G. (2000). *Paleosismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadejé fault, Trans-Mexican Volcanic Belt.*, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105 (B2), 3019-3037 pp.
- Lavell A, Franco E. (edit.) (1996). *Estado, Sociedad y la Gestión de Desastres en América Latina: En Busca del Paradigma Perdido. La Red, Investigaciones Tecnológicas (ITDG), Perú*, 31.
- Lavell A. (com.) (1997). *Viviendo en Riesgo: Comunidades vulnerables y prevención de desastres* en *América Latina, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.*, La Red-CEPRENAC. Editorial Tercer Mundo, Bogotá, Colombia, 12.
- Lavell A. (2002). *An Approach to Concept and Definition in Risk management Terminology and Practice*, Latin American Social Science Faculty (FLACSO) and The Network for the Social Study of Disaster Prevention in Latin America La RED, 32 pp.
- Lermo, J., Ishizawa O., (2005) "Estimación de la peligrosidad de la ruptura de uno de los sistemas de fallas del graben de Acambay, México" conferencia dictada durante el Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, 16-19 de noviembre de 2005.
- Lugo Hubp J., Salinas Montes A. (1996), *Geomorfología de la Sierra de Guadalupe (Al norte de la ciudad de México) y su relación con peligros Naturales: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13 (2), Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 240-251 pp.

-
- Lugo-Hubp J., Vázquez Conde M.T., Melgarejo Palafox, García Jiménez F, Matías Ramírez G. (2001). *Procesos gravitacionales en las montañas de Puebla*: Ciencias y Desarrollo, XXVII (157), 26-36 pp.
- Luhr J. F., Nelson S. A., Allan J. F., Carmichael, I. S. (1984). "Active rifting in southwestern Mexico: manifestations of an incipient eastward spreading-ridge jump", *Geology*, 10, 37–48 pp.
- Martínez Reyes J., Nieto Samaniego. (1990), Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 9 (1), 33-50 pp.
- Mansilla E. (2000). *Riesgo y Ciudad*. Universidad Nacional Autónoma de México, División de estudios de Posgrado, Facultad de Arquitectura, La RED. Disponible en: <http://www.desenredando.org>
- Maskrey, A. (1989). *El manejo popular de los desastres naturales*: Estudios de Vulnerabilidad y Mitigación, Tecnología Intermedia (ITDG), Perú, 208 pp.
- Maskrey. (Ed), (1993). *Como entender los desastres naturales* en: Andrew Maskrey (comp.) *Los desastres no son naturales*", La RED, Bogotá.
- Mercado, M. (2002). "La erupción volcánica del Nevado de Ruíz, Colombia, de 1985" en: Lugo Hubp, J., Inbar, M. (eds.) *Desastres Naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica, México, 67-84 pp.
- Metodología de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), (2007). Disponible en: <http://www.csc.noaa.gov/products/nchaz/htm/methov.htm>
- Monroy Salazar, Silvia Flor de Azalia, (2009), *Riesgo Sísmico en Santa María Tixmadejé, Acambay, Estado de México*, Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México D.F., 190 pp.
- Mooser, F. (1969), "The Mexican Volcanic belt – structure and development", en *Pan-American Symposium on the Upper Mantle*, México, 2, 15–22 pp.

-
- Mooser, F., Ramírez-Herrera, M. T. (1989). "Faja Volcánica Transmexicana: Morfoestructura, tectónica y vulcanotectónica": Sociedad Geológica Mexicana, XLVIII (2), 75–85 pp.
- Pasquaré, G.; Vezzoli, L. y A., Zanchi, (1987) "Morphological and structural model of Mexican Volcanic Belt": *Geofísica Internacional*, 26 (2), 159-175 pp.
- Pérez López R., Martín González F., Martínez Díaz J. J. Y Rodríguez Pascua M.A., (2012), Datación mediante liquenometría de los desprendimientos rocosos asociados a la sismicidad histórica en Lorca (Murcia, SE de España). *Boletín Geológico y Minero*, 123 (4), 473-485 pp.
- Quintero Legorreta O. (2002), *Análisis estructural de fallas potencialmente activas*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LV (1), 1-11 pp.
- Ramírez-Herrera, M. A., (1998) "Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic Belt" in *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, pp. 317–332 pp.
- Rendón R., Albeiro de J.; Vargas F., Rubén D. y Arias I. (2007). *Propuesta Metodológica para priorizar Áreas con Amenaza por Caída de Rocas en entornos urbanos, como base para el Reordenamiento Urbano y la Mitigación del Riesgo*, *Boletín de Ciencias de la Tierra*.
- Romero G., Maskarey A. (1993), "Como entender los Desastres Naturales" en Maskrey A. (compilador) *Los Desastres no son Naturales*. La RED, 6-10 pp., disponible en: <http://www.desenredando.org>
- Romero Quiroz J. (1992). *Acambay. Fragmentos históricos*. Instituto Mexiquense de Cultura. H. Ayuntamiento de la Municipalidad de Acambay. Toluca.
- Roldán Quintana J., Aguirre Díaz G., Rodríguez Castañeda J. (2011). *Depósito de avalancha de escombros del volcán Temascalcingo en el graben de*

Acambay, Estado de México., Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 28, núm. 1, pp. 118-131 pp.

Ruiz Rivera, Naxhelli, (2012), *La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo.* Investigaciones. Geográficas, 77, 63-74 pp.

Salgado Montoya, Ramón Antonio., (2005), *Análisis integral del Riesgo a deslizamiento e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras.*, Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

Singh S.K., Rodriguez M. y Espíndola J.M. (1984). *A catalogue of shallow earthquakes of Mexico from 1900.* Bull. Seism. Soc. Am., 74, 267-280 pp.

Singh S.K., Mena E., Castro R. y Carmona C. (1987), *Empirical prediction of ground motion in Mexico city from Coastal earthquakes.* Bull. Seism. Soc., 77, 1862-1867 pp.

Soler Arechalde A.M., Urrutia Fucugauchi J. (2000). *Paleomagnetism of the Acambay Graben, central Trans-Mexican volcanic belt.* Tectonophysics. 318, 235-248 pp.

Suter, M. y O. Quintero, (1992) "Active Faults and State of Stress in the Central Part of the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico. The Venta de Bravo Fault" en Journal of Geophysical Research, 97, (B8), 11,983-11,993 pp.

Suter M., Quintero O., López M., Aguirre, G. y Farrar E. (1995). *The Acambay Graben: Active intraarc extension in the Trans-Mexican Volcanic Belt.* Tectonics, 14(6), 1245–1262 pp.

Urbina F. y Camacho H. (1913). *La zona megaseísmica Acambay-Tixmadejé. Estado de México, conmovida el 19 de noviembre de 1912.* Boletín del Instituto Geológico de México, 32, 25 pp.

Wilches Chaux G. (1996). *La vulnerabilidad global.* En: Andrew Maskrey (comp.). Los Desastres no son naturales, Colombia: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Wilches Chaux G. (1998). *Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, Mecánico y Soldador o Yo voy a correr el riesgo*. Perú: Guía de La RED para la gestión local del riesgo.