EVALUACIÓN DEL PELIGRO POR CAÍDA DE ROCAS EN SANTA MARÍA TIXMADEJÉ, ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

Problemas ambientales, cambio climático y gestión de riesgos,

Juárez Sánchez Andrea, Programa de Posgrado en Geografía Ambiental

Instituto de Geografía, andjs15@gmail.com

RESUMEN

El origen y mecanismo de los procesos de remoción en masa (PRM) es complejo, pues elementos como la pendiente, la gravedad y las fuerzas de resistencia y fricción favorecen estos eventos. Sin embargo, fenómenos como precipitaciones intensas y sismos de magnitud considerable también pueden provocar PRM. Uno de los efectos secundarios que se generaron en el poblado de Santa María Tixmadejé (SMT), perteneciente al municipio de Acambay en el Estado de México (México), a causa de un sismo de magnitud 6.9 en 1912, fue la caída de bloques y megabloques de rocas con un volumen superior a 100 m^3, llegando incluso a los 300 m^3; este evento ocasionó que los daños en la infraestructura del poblado y las pérdidas humanas se incrementaran después del sismo. El objetivo de este trabajo es evaluar el nivel de peligro por caída de rocas en SMT, a través de información geológica, edafológica, datos de eventos por caída de rocas, información del grado de pendientes en el área de estudio, además de trabajo de campo. Esta información se procesó en un sistema de información geográfica (ArcGis 9.3) para obtener un mapa de riesgo por este tipo de peligro. El trabajo de campo se enfocó en identificar la caída de material mediante un registro de bloques asentados a lo largo del piedemonte dentro de los márgenes del poblado. Las variables que se consideraron fueron: localización (georreferenciación de cada bloque), altura en la que se localizaron los bloques, litología, características generales y medidas del bloque. Por su parte, la identificación de las áreas inestables y el nivel de exposición en SMT, se realizaron con una sobreposición de capas digitales de información, es decir, a la información del grado de pendientes se adicionó la capa de la localización de los bloques registrados y la del centro del poblado. Los resultados muestran que aun cuando el contenido de material inestable es escaso, el centro del poblado es el área más expuesta por este peligro, debido a la corta distancia que existe entre éstas áreas y la población de SMT, aunado al grado de pendiente del área de estudio. Es así que la caída de bloques 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 de áreas inestables del material rocoso.

Palabras clave: peligro, procesos de remoción en masa, nivel de exposición, Santa María Tixmadejé

INTRODUCCIÓN

Cada año los desastres originados por los proceso de remoción en masa (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. Es común que otro tipo de fenómenos naturales originen PRM, 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). A su vez, 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.

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. Lavell (2002) define al peligro 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. Por su parte, Wilches-Chaux (1998) menciona que 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 que necesariamente 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. 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.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio de esta investigación es la que comprende el poblado de Santa María Tixmadejé (SMT) perteneciente al municipio de Acambay en el Estado de México, México. 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 SMT se encuentra en la parte norte del Valle de Acambay, también conocido por los pobladores como Valle de los Espejos. 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, se cría ganado bovino y avícola. Por último se le da un uso forestal debido a que la mayoría de los habitantes utilizan la madera como leña.

La localidad está limitada en la parte norte por un escarpe que alcanza una altura de 3040 msnm (INEGI, 2005). 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 depósitos de agua. Al continuar por la planicie hacia el sur, se alza el cerro La Magdalena llegando a los 2000 m (INEGI, 2005). De esta manera, el poblado de SMT se asienta en el piedemonte del Valle de Acambay (Figura 1).

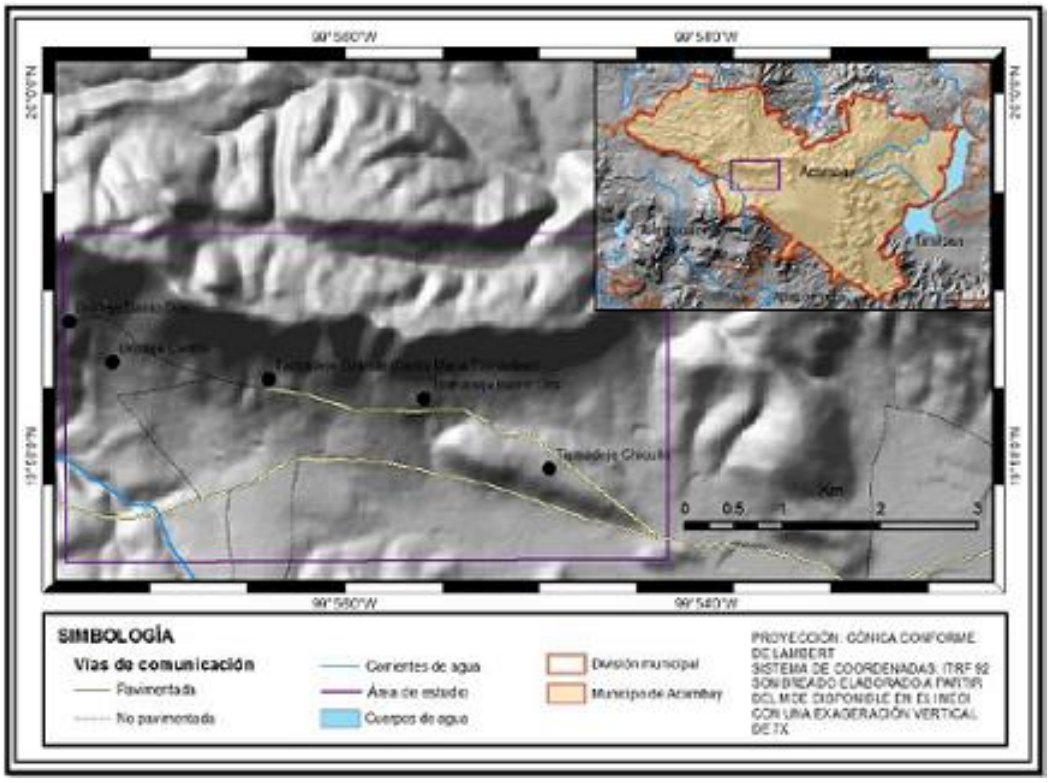

Figura 1. Localización del poblado de Santa María Tixmadejé

Graben de Acambay

El poblado que se estudia se encuentra dentro del graben de Acamabay (en la parte norte). Éste a su vez, se localiza en la parte central del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM). El graben de Acambay es una estructura orientada este-oeste, que data del Cuaternario (Ramírez-Herrera, 1998). Según Suter *et al.* (1995) el graben tiene una longitud de 27-40 km y 12-15 km de ancho; la altura máxima es de 500 m desde el nivel del suelo, 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), de tal forma que escarpes 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 2).

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 al parecer 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. 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 de falla de Venta de Bravo 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.

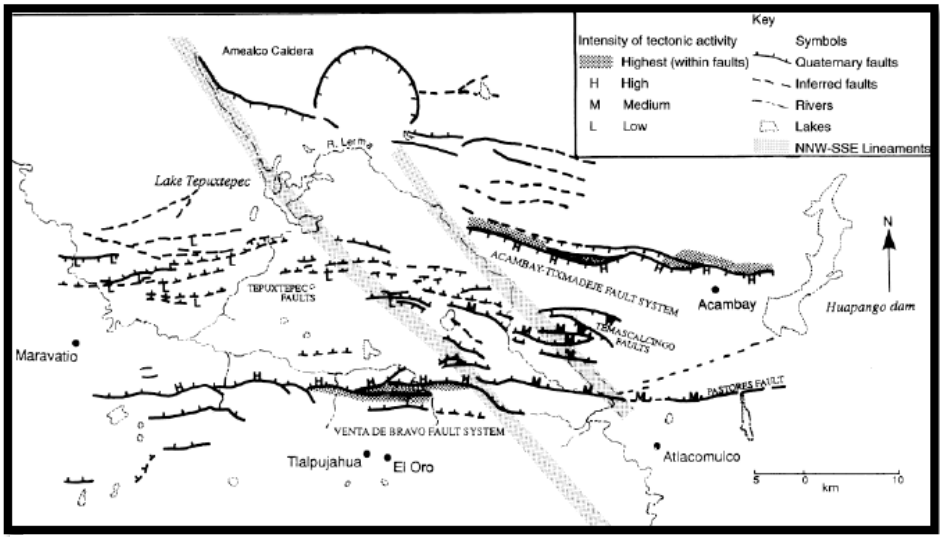

Figura 2. Mapa general de las fallas del Cenozoico tardío en el Graben de Acambay, parte central del Cinturón Volcánico Mexicano (Ramírez-Herrera 1998).

Falla Acambay-Tixmadejé

El poblado de SMT 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 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 SMT, 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 (1998), sugiere que son cuatro elementos que indican actividad tectónica en la falla Acambay-Tixmadejé:

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

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 cerccanos a al cabecera municipal de Acambay (localidad mas 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.

Para Urbina y Camacho (1913), son principalmente dos los factores que han originado la orografía en los límites y dentro del graben. El primero de ellos es el vulcanismo, es el proceso más antiguo dentro de la región; en tanto 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 mismos, 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.

Las localidades que presentaron mayores daños, según Urbina y Camacho (1913), fueron las que están localizadas próximas a la falla Acambay-Tixmadejé, donde las comunidades de Acambay, San Antonio Detiñá, SMT y Toxí resultaron ser las más afectadas. En éstas las comunicaciones quedaron interrumpidas, un número significativo de casas fueron derribadas, además los templos locales 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, hacia los extremos de la delimitación del graben (Hacienda de Huapango y Hacienda de Ñadó), también se percibió el sismo aunque no registraron mayores daños (Urbina y Camacho, 1913). 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 este-oeste, transversales a la línea de mayor movimiento del sismo (1913*)*.

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 m^3 llegando incluso a los 300 m^3, que ocasionaron daños en pueblos aledaños a la falla (SMT, 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 SMT (Inbar, 2002), 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.

Área de estudio

El área de estudio se delimitó con base en la traza de la falla Acambay-Tixmadejé. Se incluyó al poblado de SMT (en la parte norte del polígono; Figura 1); al este por la carretera de Temascalcingo, se limitó a partir de la desviación que lleva a la localidad. Hacia la parte sur llegó hasta la parte aluvial del valle de Acambay. Finalmente, hacia el oeste, se consideraron unos cuantos metros del área comprendida de SMT, esto con el propósito de tener un mejor análisis de los procesos de remoción en masa que se tienen en el lugar.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación del peligro se llevo a cabo, en un primer momento, con trabajo de gabinete, el cual consistió en la recopilación de información geológica y edafológica proveniente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1975, 2002, 2005). Por otra parte se utilizo un modelo digital de elevación del INEGI para la elaboración de un mapa de pendientes. Para establecer el periodo de recurrencia se buscaron datos de eventos ocurridos por caída de rocas en SMT, así como un mapa de microzonificación sísmica elaborado por Monroy-Salazar (2009), esto como parte de la evaluación del riesgo sísmico en SMT.

Como un segundo paso se realizo trabajo de campo. Éste estuvo dirigido a la identificación de áreas inestables con potencial de daño para la población, así como la verificación de caída de material. Para esto se hizo un registro de los 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), litología y medidas del bloque. La información anterior se plasmo en diferentes mapas (mapa geológico, mapa de pendientes y la localización de caída de material).

El mapa final se obtuvo, utilizando el software ArcGis 9.3, con una sobreposisción de capas de información de los mapas mencionados anteriormente, es decir, al mapa de pendientes se adicionó una capa con la información de la localización de caída de material, el mapa geológico y la zona centro del poblado.

RESULTADOS

De la conjunción del trabajo gabinete y campo se reconocieron cinco elementos geológicos (Figura 3), las cuales se enumeran a continuación, iniciando en la porción NW y siguiendo 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 (INEGI, 2005).
3. Toba de talud (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 en este estudio.

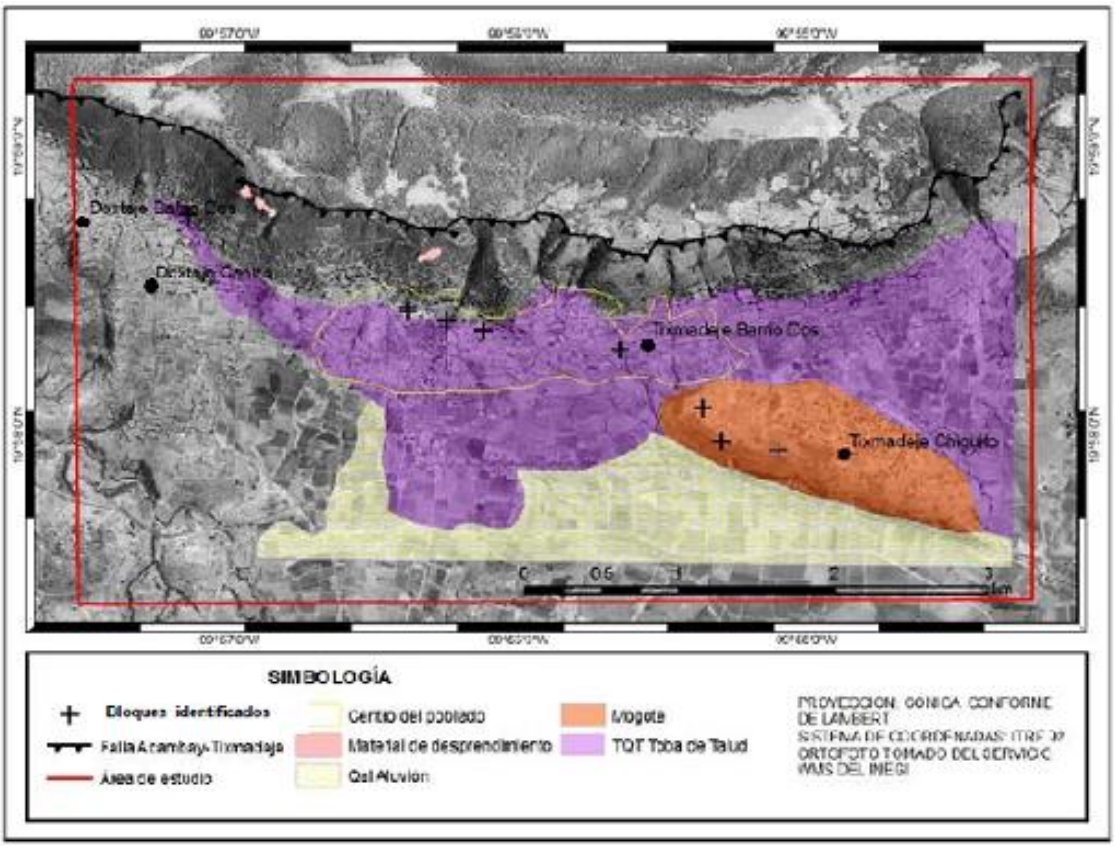

Figura 3. Elementos geológicos en SMT, localización de los bloques analizados y límites del centro del poblado.

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, 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, 1975). El mapa de pendientes 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 pendientes (Figura 4) con base al grado de pendiente en la zona de estudio. En este mapa se observa que la mayor pendiente se encuentra en la pared norte del graben de Acambay, sobre la falla Acambay-Tixmadejé llegando a los 72º de pendiente y la cual desciende en una proporción muy pequeña de terreno, llegando a los 6º de pendiente.

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, es imposible establecer un período de recurrencia para este evento. Es así que para determinar el nivel de peligro por caída de rocas, este estudio se basó en el estudio de riesgo sísmico en SMT llevado a cabo por Monroy-Salazar (2009).

Los resultados de Monroy-Salazar (2009) se muestran en un mapa de microzonificación sísmica (curvas con el mismo periodo de respuesta del suelo; Figura 5). 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 periodos 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.

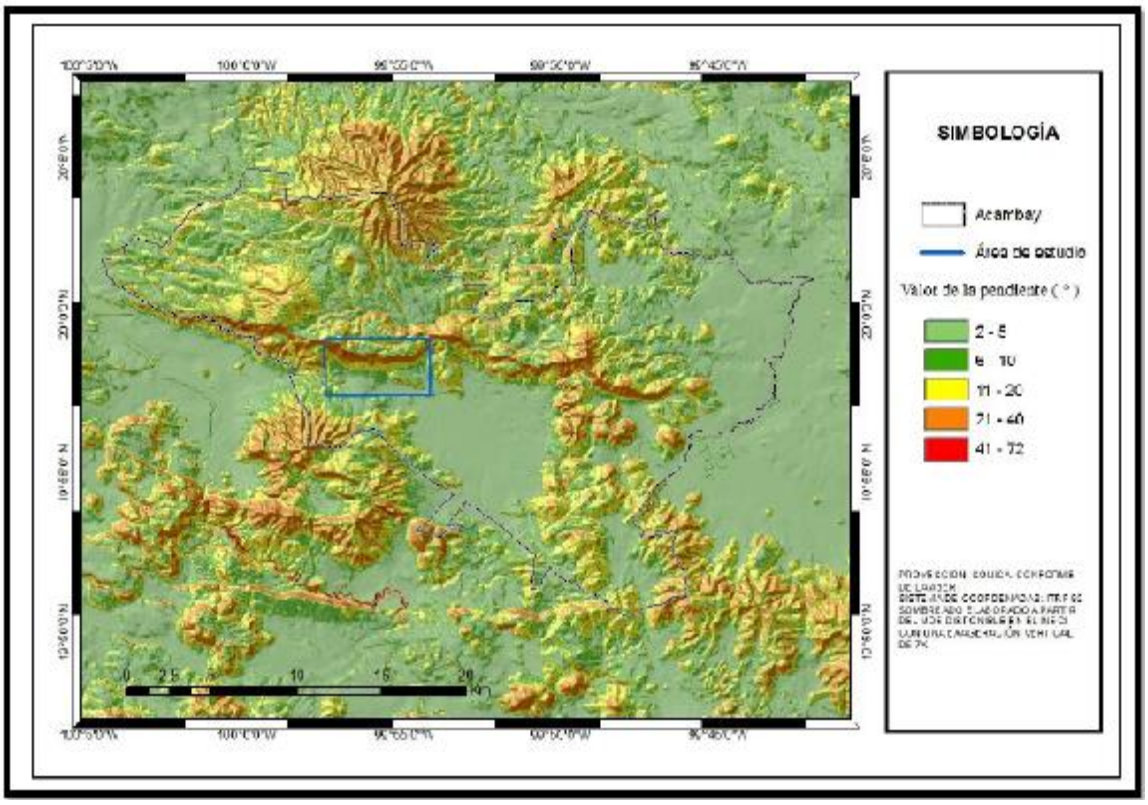

Figura 4. Mapa de pendientes. Se muestran las zonas con mayor pendiente en el graben de Acambay. El rectángulo muestra el área de estudio.

En estos escenarios se calculó la probabilidad de ocurrencia de un sismo para cada período de retorno analizado (Tabla 1). 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, los cuales contribuyen a la fractura de las rocas expuestas, no son descartables debido a que pueden causar caída de bloques aunque no se tenga el registro del mismo.

En la Tabla 2, se presentan las características generales de los bloques registrados durante el trabajo de campo. 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.

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

Periodo	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

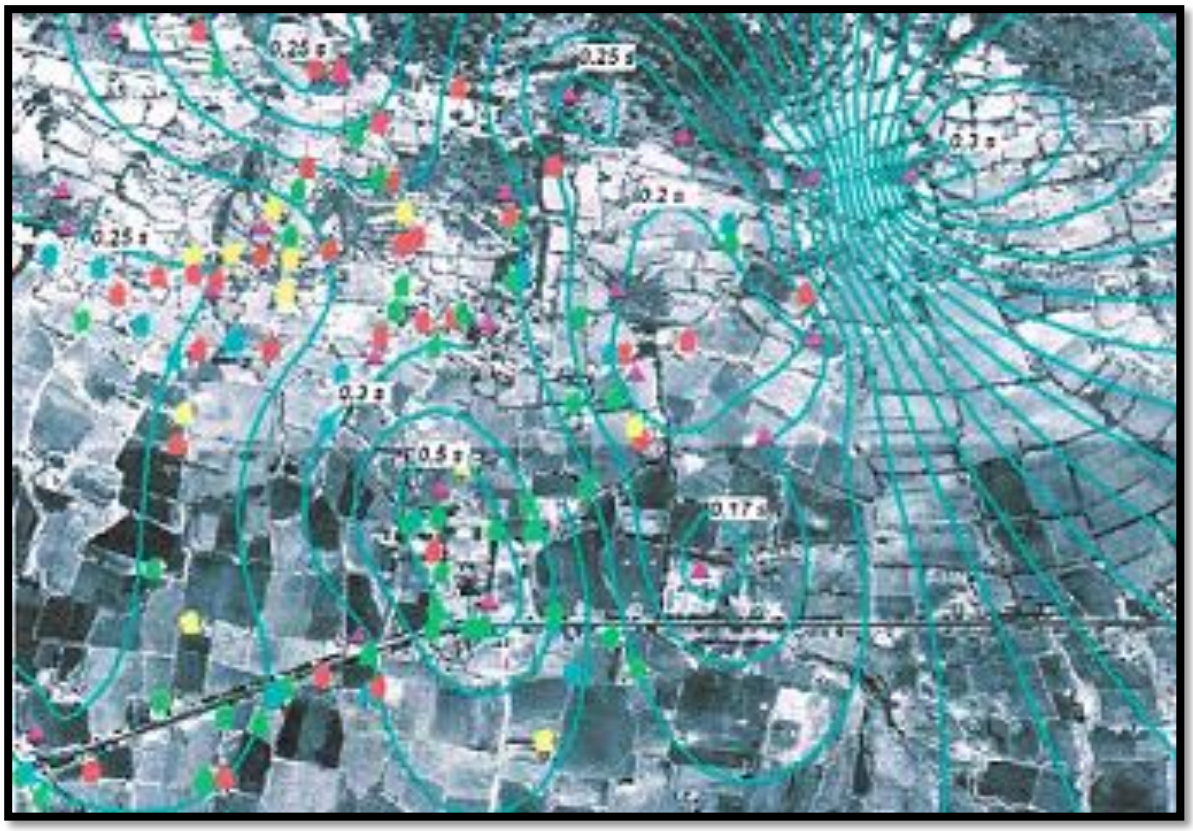

Figura 3. Mapa de isoperíodos naturales del suelo en Santa María Tixmadejé (Monroy Salazar, 2009).

Tabla 2. Características generales de los bloques registrados

BLOQUE	LITOLOGIA	CARACTERISTICAS GENERALES	MEDIDA APROXIMADA
a)	Andesita	Forma angulosa, presenta un ligero patrón de fractura angular no medible.	3 m^3
b)	Andesita	Forma sub-angulosa, bloque alóctono, fracturamiento irregular cerrado.	8m^3
c)	Andesita	Bloque aloctóno, forma angulosa.	4 m^3
d)	Andesita	Forma sub-anguloso, bloque alóctono, localizado sobre la carretera.	8 m^3
e)	Andesita	Bloque aloctóno, forma angulosa.	16m^3
f)	Volcánica andesítica	Bloque aloctóno.	100 m^3
g)	Volcánica andesítica	Bloque anguloso.	300 m^3
h)	Ignimimbrita	Bloque de flujo piroclástico. Por encontrarse una parte del bloque saliendo de la superficie no se pudo determinar la forma del mismo	100 m^3
i)	Volcánica andesítica	Por reconocer que cuenta con fracturas en múltiples direcciones, se dedujo que es parte de un peñasco de la pared norte del graben de Acambay.	150 m^3

En el mapa final que visualiza el peligro por caída de roca (Figura 6) se aprecia la corta distancia que existe entre el escarpe y las concentraciones de la población de SMT. Como se describió anteriormente, la población se encuentra asentada en el piedemonte del valle, en el mismo sitio donde se identificaron los bloques más grandes.

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.

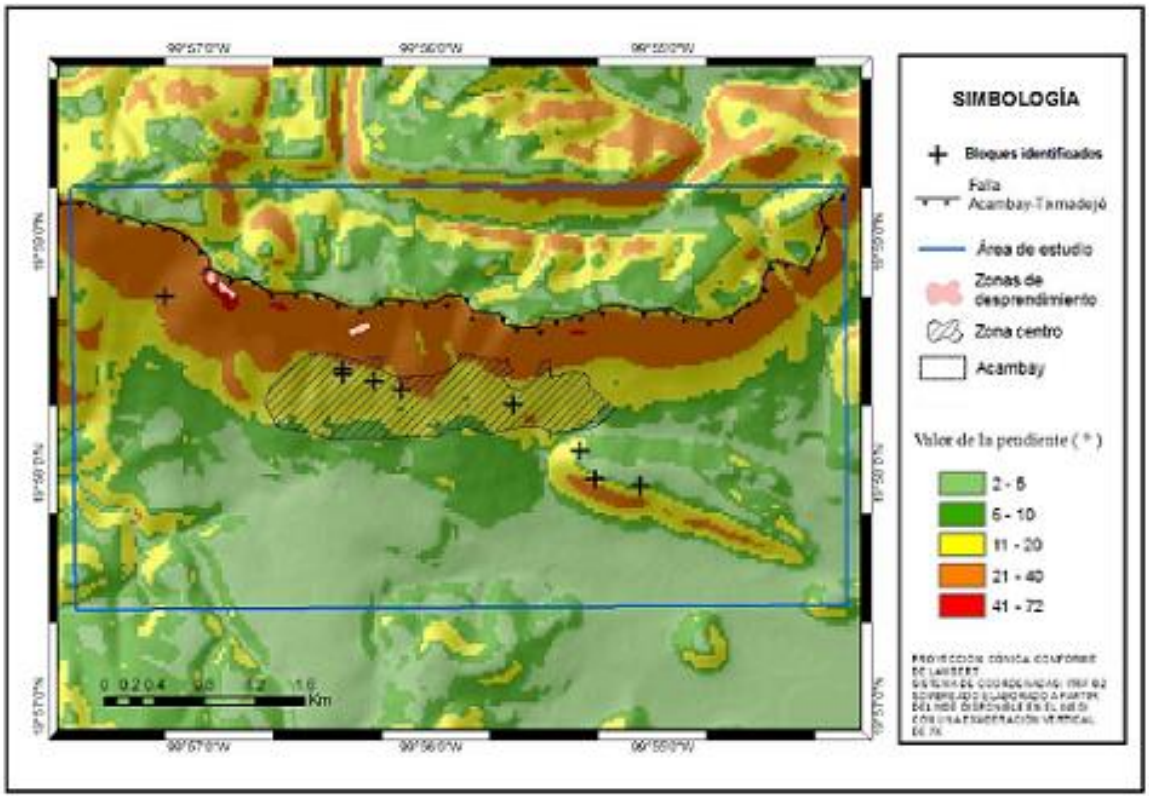

Figura 6. Localización de los bloques identificados en el área de estudio (rectángulo), así como la delimitación del centro del poblado y las áreas de desprendimiento de bloques.

CONCLUSIONES

La caída de bloques 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 generé un desastre en el caso de la ocurrencia de un sismo de magnitud 6.9 o mayor, como ha ocurrido en el pasado. La comunidad de SMT se encuentra expuesta a dos tipos de amenazas:

1. 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.
2. 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 peligro. 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. Para disminuir el nivel de peligro, es importante remover los bloques que representan mayor peligro y que se encuentran ubicados en el piedemonte del valle.

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 peligro utilizando el software ArcGis 9.3.3

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.

BIBLIOGRAFÍA

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Johnson C. A. 1987. A study of neotectonics in central Mexico from Landsat thermatic mapper imagery, MS thesis, University of Miami, Coral Gabbles, 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.

Landridge R.M., Weldon R.J., Moya J.C., Suárez G. (2000). Paleosismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadejé fault, Tans-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-CEPREDENAC. Editorial Tercer Mundo, Bogotá, Colombia, 12.

Lavell A. (2002). An Aproach 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.

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.

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.

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.

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.

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

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.

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.

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 Tans-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. Tectonies, 14(6), 1245–1262 pp.

Urbina F. y Camacho H. (1913). La zona megaseismica Acmabay-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.