



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE GEOGRAFÍA



**REPORTE GEOLÓGICO-AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD DE SAN MIGUEL
TECOMATLÁN Y SAN SIMONITO, TENANCINGO DE DEGOLLADO, EDO. MÉXICO TRAS
EL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017**

REPORTE DE APLICACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RECURSOS
HÍDRICOS

PRESENTA:

ZAHIRA GUERRERO JACINTO

ASESOR:

DR. EN C. T. EDGAR ÁNGELES MORENO

REVISORES:

DR. EN C. HÉCTOR VICTOR CABADAS BAEZ

DR. EN. C.T ALEXIS ORDAZ HERNÁNDEZ

CONTENIDO

RESUMEN.....	3
CAPÍTULO 1. DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.2 JUSTIFICACIÓN	8
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.4 RELACION CON EL PLAN DE ESTUDIOS CURSADO	10
1.5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	11
1.6 CONTEXTO SOCIOECONÓMICO	13
CAPITULO 2. METODOLOGÍA IMPLEMENTADA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA .	14
2.1 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL	15
2.2 MÉTODO CIENTÍFICO.....	15
2.3 GEOLOGÍA AMBIENTAL Y CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO-AMBIENTAL	16
2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	16
2.5 FOTOINTERPRETACIÓN GEOLÓGICA Y GEOLOGÍA DE CAMPO.....	17
2.6 EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS	18
GEOLOGÍA AMBIENTAL.....	18
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL	19
CAPÍTULO 3. SOLUCIÓN PROPUESTA: GEOLOGÍA AMBIENTAL	20
3.1 PELIGROS Y RIESGOS GEOLÓGICOS EN SAN MIGUEL TECOMATLÁN	20
UNIDADES LITOLÓGICAS.....	20
TIPOS DE FRACTURAS Y FALLAS GEOLÓGICAS	25
DESLIZAMIENTOS	27
ZONAS DE INUNDACIÓN.....	29
EFECTOS DEL SISMO DEL 17 DE SEPTIEMBRE DE 2017 EN SAN MIGUEL TECOMATLÁN	30
3.2 PELIGROS Y RIESGOS GEOLÓGICOS EN SAN SIMONITO.....	33
UNIDADES LITOLÓGICAS.....	33
TIPOS DE FRACTURAS Y FALLAS GEOLÓGICAS	40
DESLIZAMIENTOS	44

EFFECTOS DEL SISMO DEL 17 DE SEPTIEMBRE DE 2017 EN SAN SIMONITO	45
CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LA SOLUCIÓN: PELIGROS Y RIESGOS GEOLÓGICOS .	49
4.1 EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS POR EL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017	54
4.2 EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS POR SISMICIDAD EN EL FUTURO	59
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	61
FUENTES CONSULTADAS	62

RESUMEN

En la parte sur del Sistema de fallas de Tenango se ubica el Valle de Tecamatlán dentro del Municipio de Tenancingo de Degollado en el Estado de México, en este valle se ubican las poblaciones de San Simonito y San Miguel Tecamatlán que son poblaciones dedicadas a la producción agrícola y florícola.

Durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 ambas poblaciones fueron afectadas en sus construcciones como iglesias y casas habitación, así como escuelas y otros tipos de construcciones. En este reporte de aplicación de conocimientos se planteó el objetivo principal elaborar cartografía geológico-ambiental de las zonas afectadas por el sismo en las comunidades de San Miguel Tecamatlán y San Simonito.

Esto para contar con instrumentos aplicados para evaluar los tipos de riesgos geológicos que se presentaron durante el sismo y otros riesgos geológicos.

Cabe resaltar que el mapa geológico-ambiental de San Miguel Tecamatlán se realizó a unos días después de ocurrido el sismo y a petición de las demandas de la población por conocer los riesgos geológicos inmediatos y explicaciones a las causas de la afectación.

La metodología que se empleó fue relacionada a las áreas de, investigación documental, geología de campo, geología estructural y geología ambiental. Los resultados de este trabajo permitieron identificar fallas y fracturas que fueron activadas por el sismo. Se encontraron y mapearon áreas de deslizamientos activados por el sismo y relacionados con fallas geológicas, mediante al análisis de imágenes de satélite y trabajo de campo.

Se identificaron zonas de inundación y zonas que fueron amplificadas por vibración por movimiento sísmico y por último se propusieron algunas soluciones geotécnicas y recomendaciones para mitigar efectos de riesgos

geológicos ante sismos y promover medidas de seguridad ante los movimientos del terreno por activación fallas geológicas y futuros sismos.

Se realizó una presentación con las autoridades de las causas encontradas y de los riesgos geológicos identificados, esto para aumentar el conocimiento y conciencia ante los fenómenos naturales que ocasionaron los daños materiales en la comunidad de Tecomatlán.

CAPÍTULO 1. DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

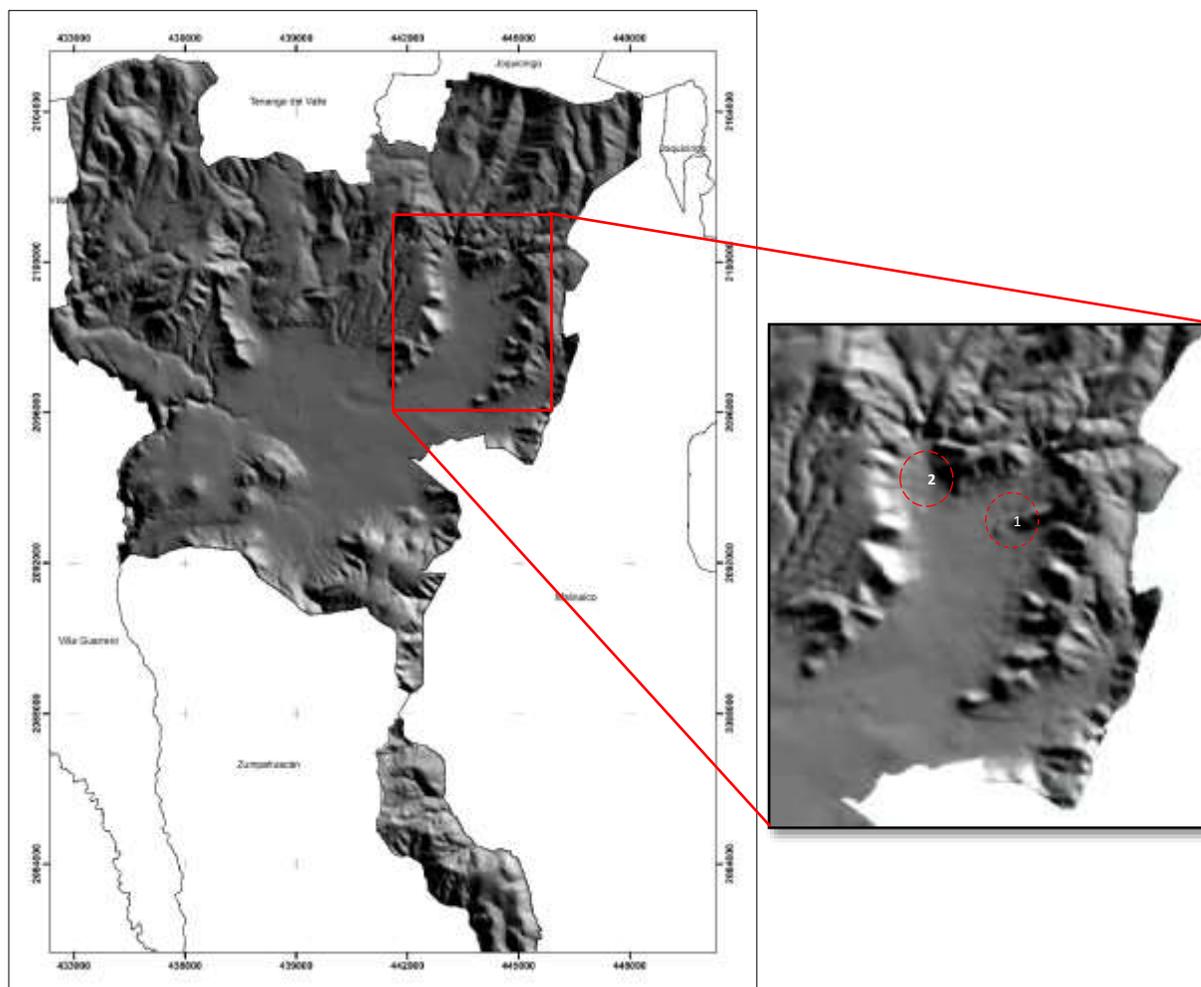
Un sismo se define como las vibraciones de la Tierra causadas por la liberación repentina de energía bajo la superficie, como resultado del desplazamiento de rocas a lo largo de discontinuidades conocidas por fallas (Wicander y Monroe, 2000). Se conoce que después de que ocurre el sismo principal pueden producirse réplicas, causando daños a estructuras.

El territorio mexicano presenta una condición de alta sismicidad asociado a la interacción de 5 placas tectónicas: Norteamérica, Cocos, Pacífico, Rivera y Caribe. El sismo del 19 de septiembre de 2017 fue derivado del desplazamiento de una falla de tipo normal y su localización fue al interior de la placa subducente (sismo intraplaca), en donde la Placa de Cocos se subdujo por debajo de la placa de Norteamérica y el sismo ocurrió a una profundidad de 57 km (SSN, 2017)

De acuerdo al Servicio Sismológico Nacional (SSN) (2017), el sismo tuvo una magnitud 7.1, cuyo epicentro fue entre el límite estatal de los estados de Puebla y Morelos. Este sismo tuvo efecto con daños a construcciones en la Ciudad de México, al Sur del Estado de México, Puebla y Morelos.

Este fenómeno geológico afectó comunidades del sur del Estado de México, entre ellas San Miguel Tecomatlán y San Simonito (**figura 1**), ubicadas en el municipio de Tenancingo de Degollado, en donde hubo pérdidas de bienes materiales, de acuerdo a los testimonios de los mismos pobladores, se identificaron daños en infraestructura de la iglesia, viviendas y escuelas, algunas casas tuvieron que derrumbarse con la participación de voluntarios.

Figura 1. Municipio de Tenancingo de Degollado, Estado de México, (1) San Miguel Tecomatlán – (2) San Simonito



Fuente: Elaboración propia

El municipio de Tenancingo de Degollado se encuentra al sur del Estado de México y colinda al norte con Tenango del Valle a $19^{\circ} 03' N$ y $99^{\circ} 30' O$, al sur con Zumpahuacán a los $18^{\circ} 49' N$ y $99^{\circ} 28' O$, al este con Malinalco a $18^{\circ} 46' N$ y $99^{\circ} 25' O$ y al oeste con Villa Guerrero a $18^{\circ} 58' N$ y $99^{\circ} 38' O$.

La percepción que tenía la población en estas comunidades sobre riesgo sísmico o fallas geológicas era nulo. Cuando ocurrió el sismo, la

población se vio claramente alarmada dado que no tiene conocimiento de las condiciones geológicas que presenta la zona en que residen.

Con base en lo anterior, el objetivo fue elaborar la cartografía geológico-ambiental de las dos poblaciones, San Miguel Tecomatlán y San Simonito, afectadas por el sismo, aplicando metodologías inherentes a la geología ambiental y la geología estructural.

La cartografía geológico-ambiental permite en una primera instancia ubicar las fracturas y fallas geológicas en relación con las casas habitación y con los tipos de rocas en los alrededores, pero también definir varios tipos de peligros y riesgos geológicos.

Estos resultados permitirán proponer medidas de seguridad ante los movimientos del terreno por activación de fallas geológicas debido a sismos. Los resultados de este estudio geológico-ambiental además de permitirle a los habitantes de los dos poblados, tener el conocimiento espacial de la ubicación de los peligros geológicos relacionados con sismos, también les da elementos de conocimiento para la toma de decisiones al momento de elegir la calidad en los materiales de construcción, que requieren en sus casas habitación para mantener su seguridad y preservar su patrimonio.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El terreno en el cual se asientan los poblados carece de estudios geológico- estructurales y ambientales. En general, no se tienen registros reales sobre las condiciones geológicas de la zona tras el sismo del 19 de septiembre de 2017 de las comunidades. Con base en lo anterior, es de suma importancia evaluar zonas específicas que representen riesgos a la población asociados a la activación de fallas por eventos sísmicos. En el sismo del 19 de septiembre se reportaron vía noticias periodísticas y comunicación oral de los pobladores varios daños a infraestructura de poblados y la activación de deslizamientos.

Se planteó en este trabajo generar una cartografía geológico-ambiental a escala de semidetalle empleando escalas de 1:5000 y 1:2000, y así ofrecer una base para la construcción de un mapa de peligros por sismos para la zona.

La cartografía geológico-ambiental en estas escalas es una herramienta para la toma de decisiones por parte de las autoridades gubernamentales de las comunidades, y esto se constató ya que autoridades de San Miguel Tecomatlán se mostraron claramente interesados en realizar el proyecto, pues comprenden que es para beneficio de la población.

La cartografía que se elabora como parte de este trabajo es un instrumento de prevención ante el riesgo sísmico; esto se ha demostrado parcialmente con un primer mapa geológico-ambiental realizado en San Miguel Tecomatlán por el Dr. Edgar Ángeles Moreno, enseguida de ocurrido el sismo, el cual muestra que los daños a casas habitación y algunos deslizamientos de tierra estuvieron relacionados con la activación de fallas geológicas regionales NE-SW. A este mapa se le dio continuidad durante este estudio y el trabajo se extendió, hacia la comunidad de San Simonito.

Este trabajo podría servir como referente para otras comunidades que fueron o no afectadas por sismos en el sur del Estado de México, sobre la relevancia de tener conocimiento geológico de la zona en que residen y estar preparados ante el riesgo sísmico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar cartografía geológico-ambiental de las zonas afectadas por el sismo del 19 de septiembre 2017 en las comunidades de San Miguel Tecamatlán y San Simonito, Tenancingo de Degollado.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar fallas y fracturas que fueron activadas por el sismo, realizando observaciones geológicas de campo para colocarlas en el mapa geológico-ambiental.
- Verificar posibles deslizamientos activados por el sismo y relacionados con fallas geológicas, mediante al análisis de imágenes de satélite y trabajo de campo.
- Proponer soluciones y recomendaciones para promover medidas de seguridad ante los movimientos del terreno por activación fallas geológica.
- Realizar una presentación ante representantes de los poblados Tecamatlán y San Simonito para generar una conciencia ante el peligro y riesgo sísmico.

1.4 RELACION CON EL PLAN DE ESTUDIOS CURSADO

En el Plan de Estudios de la Licenciatura de Geología Ambiental y Recursos Hídricos del año 2011, se estipula que el perfil académico del profesional de esta licenciatura aborda problemáticas referentes a los riesgos geológicos y del recurso del agua con tecnologías geoespaciales de vanguardia. En el Perfil de egreso de la licenciatura se establecieron varios puntos como:

- Generar conocimiento que mejore la comprensión de los impactos de riesgo ambiental y natural de zonas identificadas como amenaza.
- Desarrollar programas relacionados con la recuperación del entorno geológico.
- Generar y gestionar conocimiento para la efectividad de las instituciones relacionadas con la protección civil en caso de desastres y/o recuperación del entorno geológico.
- Colaborar en el desarrollo de la política de Geología Ambiental.

De esta forma la geología ambiental estudia la interacción entre los seres humanos y el medio ambiente, siendo una herramienta eficaz que contribuye a la identificación de riesgos geológicos naturales y antropogénicos que pueden afectar a la población.

Nuestro perfil profesional nos da la responsabilidad de interpretar las condiciones geológicas del terreno usando herramientas de geología de campo y geotecnológicas, para lograr una cartografía geológico-ambiental objetiva, de calidad y que sea de utilidad.

La aplicación de dicha información permite la toma de decisiones por parte de actores gubernamentales y sociales, con el fin de evitar pérdidas humanas y materiales.

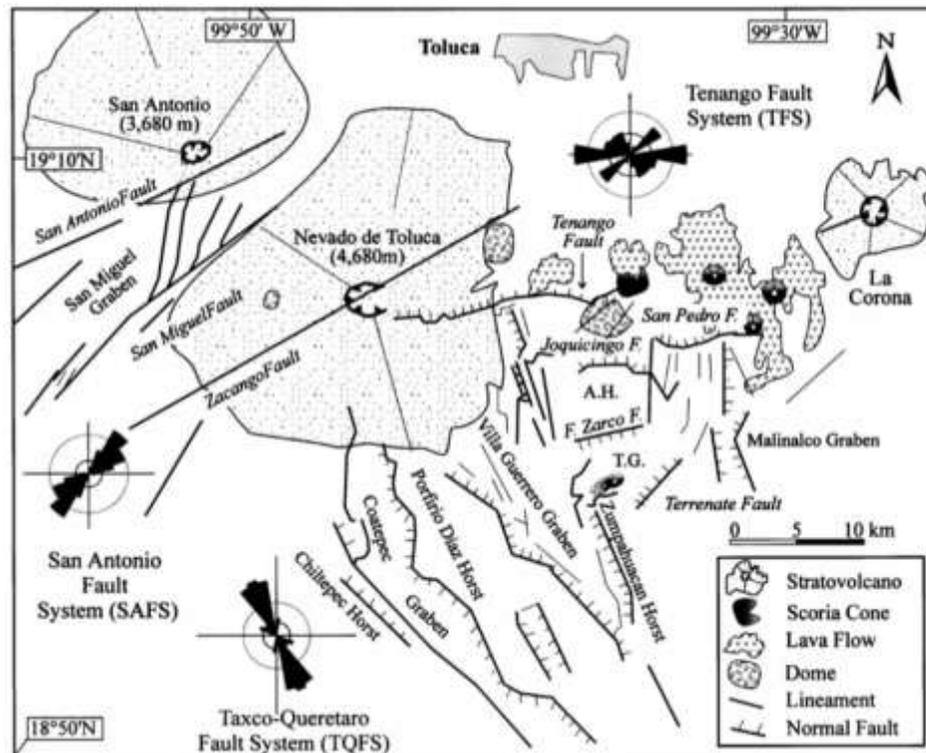
1.5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

El municipio de Tenancingo de Degollado pertenece a la provincia La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es una región activa en vulcanismo y sismicidad, y resultado de la interacción de las placas Cocos y Norteamérica (Ferrari et al., 2012).

En la parte sur de la cuenca del Valle de Toluca y la Cuenca del Valle de México, que están dentro de la FVTM, existen evidencias de que vulcanismo, fallamiento y sismicidad van de la mano (Márquez et al., 1999; Norini et al., 2006; Campos-Enríquez et al., 2015), y algunas de ellas activas como la falla Tenango (Norini et al., 2006).

Las fallas Tenango son estructuras tectónicas activas con una longitud aproximadamente de 50 km, que se encuentran dentro del sector occidental del Campo Volcánico Chichinautzin en una dirección predominante E-W y ESE-WNW en el extremo este del Volcán Nevado de Toluca. Las fallas Tenango se caracterizan por presentar trazas de falla con geometrías de curvas y discontinuas de forma escalonada con una orientación preferencial E-W e inclinación hacia el norte. En conjunto llegan a presentar una longitud de al menos 50 km y un ancho máximo inferior a 10 km (Norini et al., 2006), (**figura 2.**)

Figura 2. Configuración tectónica del volcán Nevado de Toluca



Fuente: Gracia Palomo et al 2000.

En las comunidades de San Miguel Tecamatlán y San Simonito afloran andesitas/basaltos extensivamente y también en los alrededores de estas poblaciones, cuya edad es de $7,5 \pm 0,4$ Ma, colocándose en el Mioceno tardío, de acuerdo a García-Palomo et al (2000). Las andesitas-basálticas presentan una textura afanítica con fenocristales de plagioclasas, idingsita y olivino.

Las Andesitas Tecamatlán- San Simonito fue definida inicialmente como secuencia máfica basal por García- Palomo et al. (2000), aflorando a lo largo del escarpe del sistema de fallas Tenango y fue descrita por estos autores como lavas andesíticas con brechas intemperizadas.

De acuerdo a Olivares-Sánchez (2020), esta unidad de Andesitas Tecamatlán-San Simonito en una posible zona de relevo estructural del

Sistema Falla Tenancingo y de acomodo del segmento de falla E-W de Zictepec y el segmento de falla E-W de Joquicingo, ambos segmentos desplazados por este sistema de fallas Tenancingo (SFTN).

1.6 CONTEXTO SOCIOECONÓMICO

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda, 2010 la población total del municipio de Tenancingo de Degollado para ese año era de 90,946 habitantes; respecto a esta cifra San Miguel Tecamatlán contaba con una población de 3,180 habitantes, y San Simonito 2,028 habitantes.

En la siguiente **tabla 1** se muestran los porcentajes del índice de marginación estimados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2011):

Tabla 1. Índice de marginación San Miguel Tecamatlán y San Simonito

	San Miguel Tecamatlán (2010)	San Simonito (2010)
Población de 15 años o más analfabeta	4.06	11.02
Población de 15 o más sin primaria completa	17.13	31.68
Viviendas particulares sin excusado	1.98	8.16
Viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica	0.4	3.05
Viviendas particulares habitadas sin agua entubada	2.51	38.12
Viviendas particulares habitadas con piso de tierra	5.67	30.75
Viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador	26.52	55.01
Grado de Marginación	Bajo	Alto

Fuente CONAPO (2011)

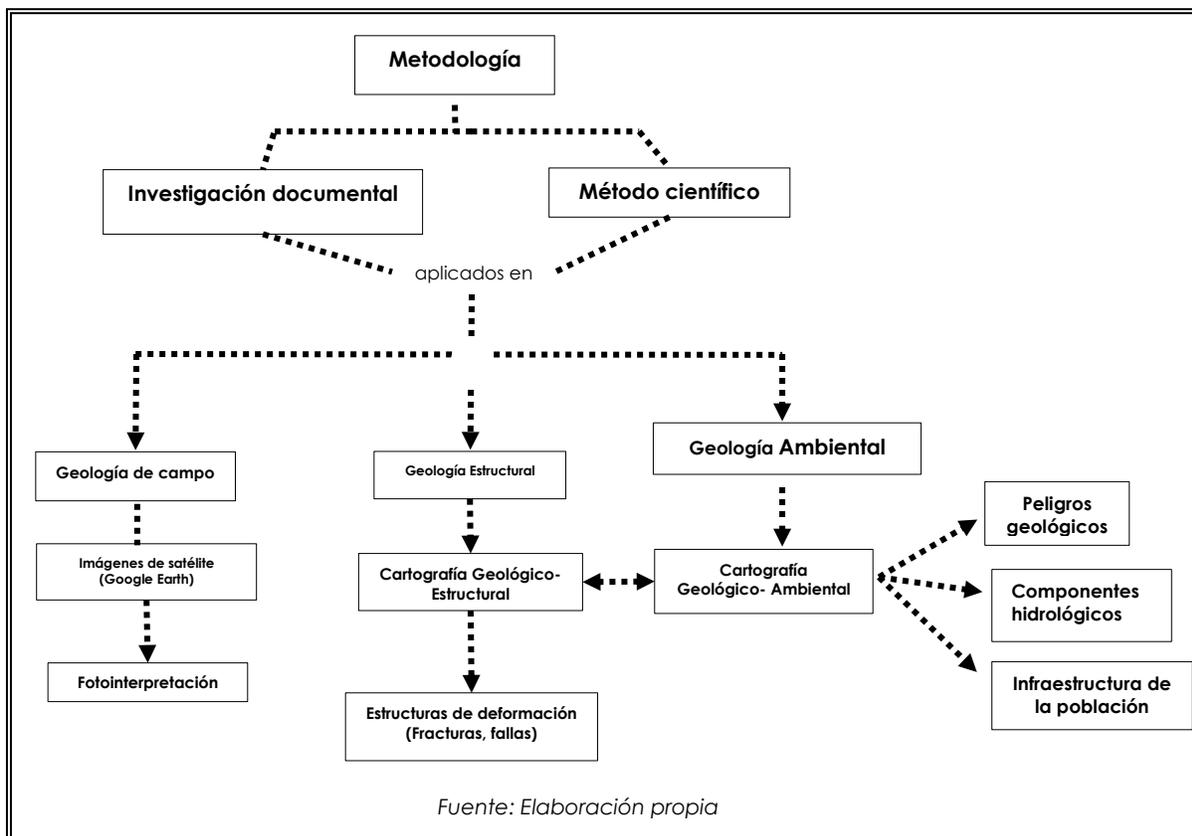
La comunidad de San Miguel Tecamatlán se dedica a la producción artesanal de pan, considerada como la principal fuente económica para la localidad, igualmente hay agricultura y floricultura en invernaderos.

San Simonito se dedica principalmente a la agricultura (maíz, aguacate) y comercio.

CAPITULO 2. METODOLOGÍA IMPLEMENTADA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para reforzar este estudio geológico-ambiental se hizo uso de las siguientes metodologías como: investigación documental, método científico, geología ambiental y cartografía geológico-ambiental, evaluación de peligros geológicos, geología estructural, fotointerpretación geológica y geología de campo, y evaluación de peligros geológicos (figura 3).

Figura 3. Esquema metodológico



2.1 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Está enmarcada en la metodología de la investigación (Hernández-Sampieri et al., 2014) y el propio protocolo del reporte de aplicación está estructurado a partir también de esta metodología.

Se basa en la revisión detallada de bibliografía existente, seleccionando la información más relevante y actualizada, que permita delimitar y describir nuestro problema.

En este reporte se realizó una investigación documental que involucró la consulta y análisis de publicaciones de artículos científicos, cartografía regional que aparece en artículos o en publicaciones del Servicio Geológico Mexicano (SGM) y reportes del Servicio Sismológico Nacional (SSN).

2.2 MÉTODO CIENTÍFICO

Los métodos empleados en la geología son muy variados, dentro de su quehacer esta describe todos los procesos que han ocurrido sobre el planeta Tierra, a lo largo del tiempo, mismos que han modificado su estructura.

Sin embargo, esto supone un gran reto pues los eventos geológicos generalmente no pueden reproducirse en laboratorio dado que son fenómenos naturales (Collo, 2003).

De acuerdo a López-Cano (1975), el método científico comprende los pasos de observación, planteamiento del problema, planteamiento de la hipótesis, metodología, diseño experimental, experimentación, análisis de resultados y la comprobación o desecho de la hipótesis.

Para fines de este proyecto los métodos más adaptables que se emplearon son, *analítico, deductivo e Inductivo*. A su vez estos métodos tratan de variables naturales y en específico geológicas.

2.3 GEOLOGÍA AMBIENTAL Y CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO-AMBIENTAL

La cartografía geológica tiene como fin traducir, transferir y representar los datos geológicos de campo en un mapa (Martínez-Álvarez, 1989). La cartografía geológico-ambiental es una cartografía en primera instancia geológica a la que se le integran los componentes de la geología ambiental como son los peligros geológicos, componente hidrológica e infraestructura de la población.

Un gran problema en México es que los resultados cartográficos-geológicos no tienen la divulgación necesaria, pues en ocasiones la información que se genera en determinada dependencia tiene carácter estratégico y por consiguiente confidencial (Silva, et al, 2010).

La cartografía geológico-ambiental se realizó para las regiones que abarcan los poblados de San Simonito y San Miguel Tecomatlán en el Municipio de Tenancingo y estuvo justificada por el problema planteado y los objetivos descritos en la primera parte de este reporte.

2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estudia las estructuras geológicas generadas por la deformación de rocas (Fossen, 2010). Igualmente, gracias a esta es posible la observación directa de las rocas, describiendo los resultados de los distintos procesos que dieron lugar a su actual estado.

Se analizan los desplazamientos (deformaciones, rotaciones y traslaciones) que dan lugar a la formación de una estructura y establecer el modelo de esfuerzo y la naturaleza de las fuerzas que causan dichas deformaciones (Martínez, 2003).

Es aquí donde radica la importancia de la geología estructural; el geólogo siempre estará obligado a restablecer el aspecto completo de las formas estructurales basándose en las observaciones fragmentarias aun siendo parte de afloramientos aislados (Belousov, 1974).

2.5 FOTOINTERPRETACIÓN GEOLÓGICA Y GEOLOGÍA DE CAMPO

La fotointerpretación geológica permite interpretar estructuras geológicas que afloran en la superficie de la Tierra, para fines de este trabajo se emplearon imágenes de satélite obtenidas de Google Earth del año 2017, para así identificar lineamientos estructurales a partir de rasgos fisiográficos y/o morfológicos que indiquen la existencia de una posible fractura.

La geología de campo implica la toma de datos geológicos y comprende tres tipos de información: observaciones directas y medidas, interpretación y relaciones de edad (Compton, 1985).

Las observaciones directas son datos objetivos y constituyen la información principal de los mapas geológicos y algunas ideas inductivas que surgen a partir de estos; los métodos para reunir estos datos serán:

- *Métodos de identificación de rocas*
- *Métodos de descripción de afloramientos*
- *Métodos para la toma de datos de geología estructural.*

2.6 EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos son parte de los peligros naturales que son procesos que ocurren naturalmente que pueden poner en peligro a la población y a la infraestructura de esta (Keller, 2008). El reconocimiento de un peligro geológico implica el resultado de emplear metodologías como el análisis de imágenes de satélite, método científico y metodología de geología de campo.

GEOLOGÍA AMBIENTAL

La Geología Ambiental es el uso de información geológica para resolver problemas relacionados a el uso del suelo, la degradación ambiental y maximizar los resultados benéficos en un ambiente natural o modificado y tomando en cuenta los materiales de la Tierra, peligros geológicos, los impactos ambientales y los procesos hidrológicos (Keller, 2008).

Permite el conocimiento de las características y propiedades del suelo para contribuir al diagnóstico y mitigación de los problemas de contaminación, incluso se ocupa de los peligros y riesgos por fenómenos naturales (geológicos e hidrometeorológicos) y antropogénicos (SGM ,2017).

Puede fungir como base para la gestión y planificación territorial, abarcando aspectos de ubicación, accesibilidad, topografía, condiciones geológicas, climáticas, hidrológicas superficiales y subterráneas del sitio (Morales-Soto y Rodríguez-Infante, 2016 en Guadalupe et al. 2002; Allende, 2005).

Gracias a esto es posible analizar, evaluar y tomar decisiones sobre las mejores condiciones que garanticen una buena calidad de vida, con el

uso de la tecnología y los sistemas de información geográfica, para minimizar la exposición, en este caso de riesgo sísmico al que se enfrentan la comunidad de San Simonito y San Miguel Tecomatlán.

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL

Es una cartografía geológica especializada en representar las estructuras de deformación (fracturas, fallas, pliegues, etc.) en un plano o carta. Se empleará la metodología de toma de datos en afloramientos (Compton, 1985) y el empleo de la brújula tipo Brunton para obtener medidas de la orientación de las fracturas y fallas geológicas.

CAPÍTULO 3. SOLUCIÓN PROPUESTA: GEOLOGÍA AMBIENTAL

3.1 PELIGROS Y RIESGOS GEOLÓGICOS EN SAN MIGUEL TECOMATLÁN

UNIDADES LITOLÓGICAS

- **Depósitos de coluvión:** Son producto de la alteración y desprendimiento *in situ* de los macizos rocosos a lo largo de las laderas; conformados por masas inestables de gravas angulosas transportadas por gravedad y agua bajo la forma de derrubios. Construidos por gravas, arenas y arcillas.

La resistencia de estos materiales es baja, sobre todo en la zona de contacto con el sustrato rocoso y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales como consecuencia de lluvias intensas. Estos depósitos se presentan al pie de los cerros que rodean a las poblaciones de San Simonito, y Tecomatlán (**Mapa 1, Mapa 4 y Mapa 5**). Los depósitos presentan fragmentos de andesitas de las partes altas.

- **Depósito Aluvial:** Son producto del transporte y depósito de detritos por medio de la acción del agua, conformados por arcillas, arenas, cantos y bloques de formas muy variables desde angulosas a redondeadas, ocupan cauces, llanuras y paleocauces bajo la forma de abanicos. Característicos de climas áridos y templados. Los que se hallan a lo largo de valles de gran amplitud.

Este tipo de depósito constituye una fuente importante de materiales de construcción. Los depósitos aluviales se diferencian de los fluviales a través de su matriz arcillosa con poca selección de clastos, mientras los fluviales se componen de clastos imbricados bien seleccionados. Los depósitos sedimentarios aluviales se localizan en el pie de monte

de los cerros que rodean a las comunidades de San Simonito y Tecamatlán, y se presentan como estructuras de abanicos aluviales, algunos abanicos están interestratificados con antiguos depósitos de deslizamientos y con los depósitos fluviales (**Mapas 1, 4 y 5**).

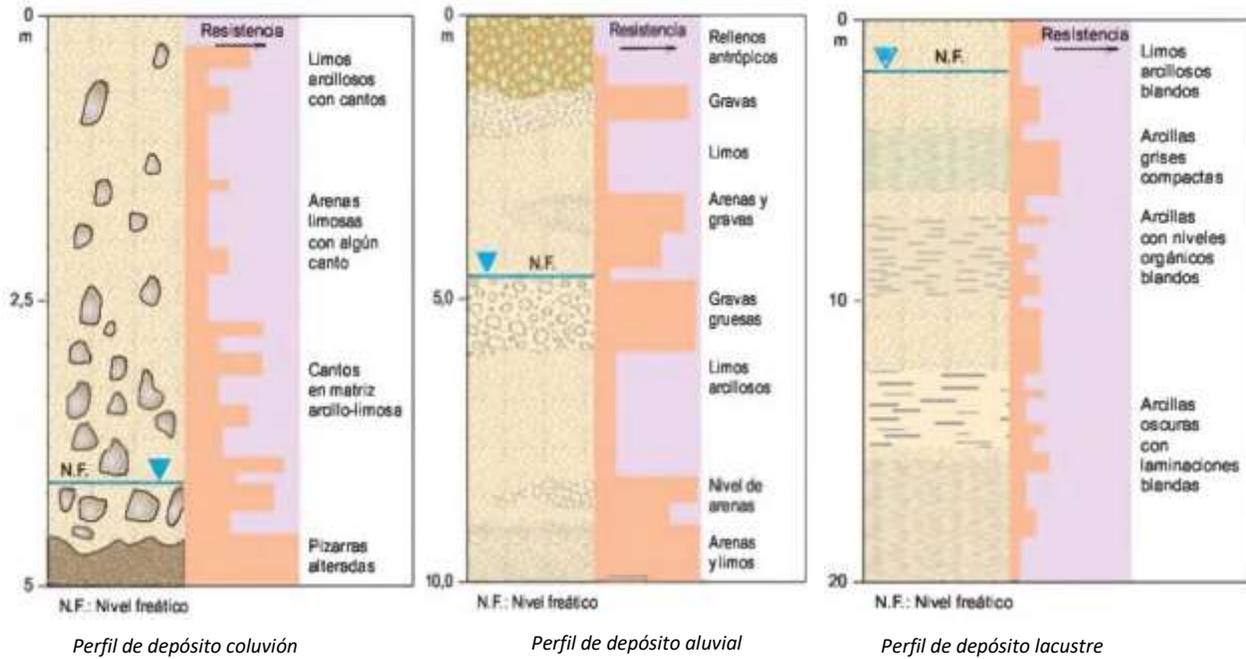
- **Depósito fluvial:** Se forman a partir de los procesos de erosión, transporte y depósito por ríos que mueven los materiales de la superficie terrestre, modelando el paisaje. Los sedimentos más gruesos tienden a depositarse corriente arriba, mientras que los sedimentos finos (arcilla, limo y arena fina) acaban corriente abajo.

Las granulometrías más finas se encuentran hacia el valle de Tecamatlán y coinciden con las zonas de inundación definidas en este trabajo y las granulometrías más gruesas de los depósitos fluviales se encuentran a lo largo de los canales de los ríos principales entre San Simonito y Tecamatlán.

- **Depósito lacustre:** sedimento de grano fino, predominan los limos y las arcillas, el contenido en materia orgánica es alto, y coincide con la distribución de granulometrías más finas de los depósitos de llanura de inundación de los depósitos fluviales.

En esta parte se ubican los invernaderos de flores de las poblaciones y en esta parte se identificaron importantes afectaciones por el sismo de 2017 y coincide con las zonas de inundación identificadas y descritas más adelante. Aquí radican los principales problemas geotécnicos, al tener un gran contenido de materia orgánica son suelos muy blandos y de baja resistencia mecánica ante la formación de fracturas.

Figura 1. Perfil de depósitos sedimentarios



Fuente: González de Vallejo, L. (2002)

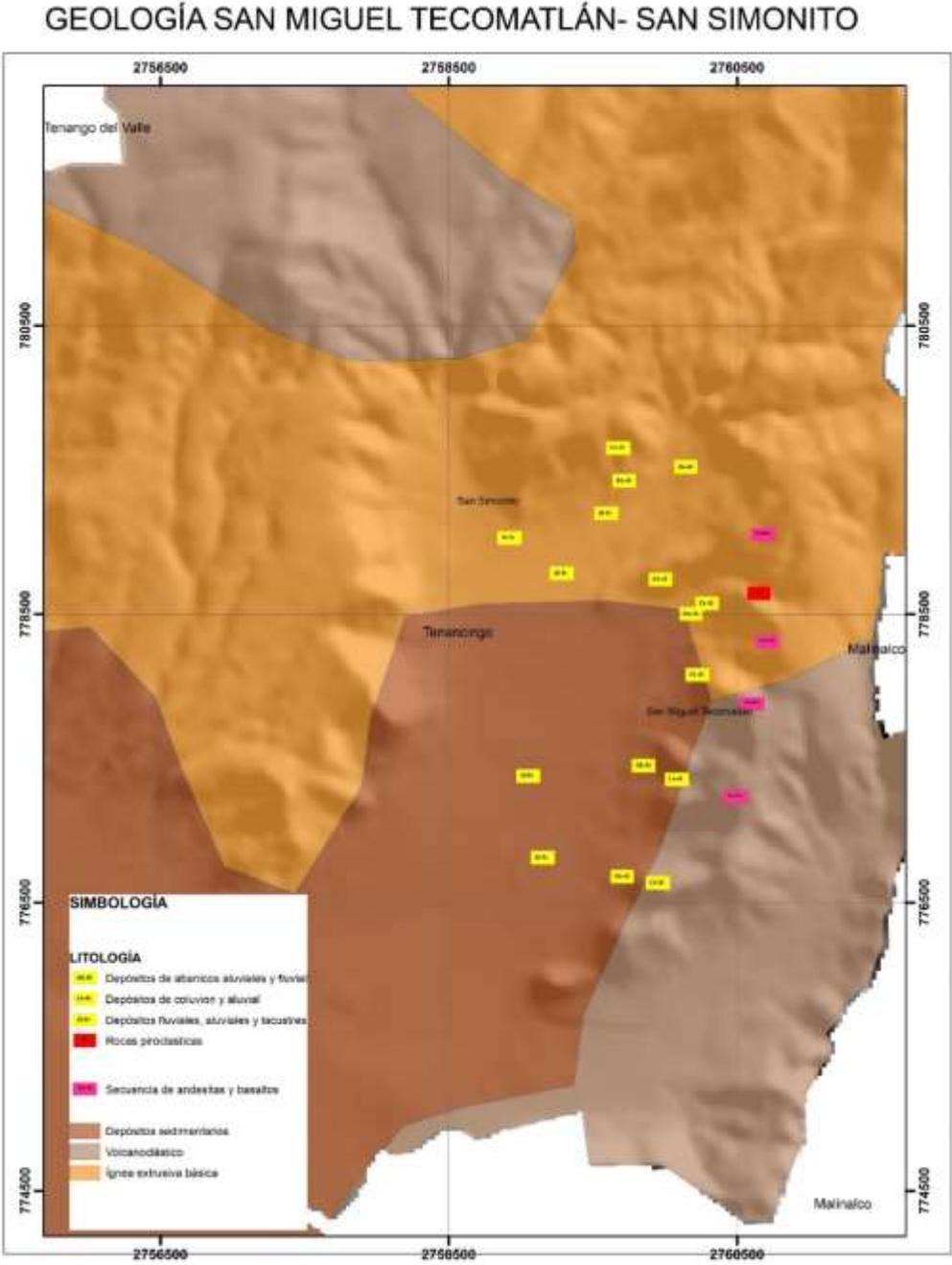
- **Abanicos aluviales o conos de deyección** son depósitos con forma de abanico que se acumulan a lo largo de los frentes de las montañas, se forman a partir de sedimentos depositados en la desembocadura de un valle que emerge en una zona montañosa o elevada hacia una zona relativamente llana.

Se compone de arenas gruesas y gravas mal clasificadas, cuyos problemas geotécnicos se relacionan a colapsos y erosión. En la región de San Simonito y Tecomatlán se ubican en las periferias de estas poblaciones y en ocasiones están intercalados con los depósitos de coluvión (**Mapas 1, 4 y 5**). En algunos abanicos aluviales coinciden espacialmente con antiguos deslizamientos.

- **Rocas piroclásticas “La Cantera”:** Son partículas de tamaños variables, desde cenizas (<2mm) hasta lapillis (2-64mm), tienen muy baja densidad y son potencialmente colapsables.
- **Secuencia de andesitas y basaltos:** Estas rocas comprenden secuencias de andesitas basálticas con piroxeno y que cambian a basalto, pero dominan las andesitas basálticas en volumen y se ubican como basamento de los depósitos sedimentarios (**Mapa 1 y 5**). Fueron denominadas como Andesitas Tecomatlán-San Simón en un trabajo de Olivares (2020).

Presentan texturas porfídicas a afaníticas con fenocristales de plagioclasa, ferromagnesianos y magnetita. Presentan estructura de derrames lávicos con espesores muy grandes de más de 50 m como mínimo. La edad se interpreta para estas rocas es del Mioceno tardío ya que García-Palomo (1998) en García-Palomo et al (2000) fechó estas rocas en otras localidades y determinó una edad de 7.5 ± 0.4 Ma. Estas rocas son altamente inestables frente a la meteorización, se transforman en productos arcillosos.

MAPA 1. GEOLOGÍA SAN MIGUEL TECOMATLÁN Y SAN SIMONITO



Fuente: Elaboración propia (2019)

TIPOS DE FRACTURAS Y FALLAS GEOLÓGICAS

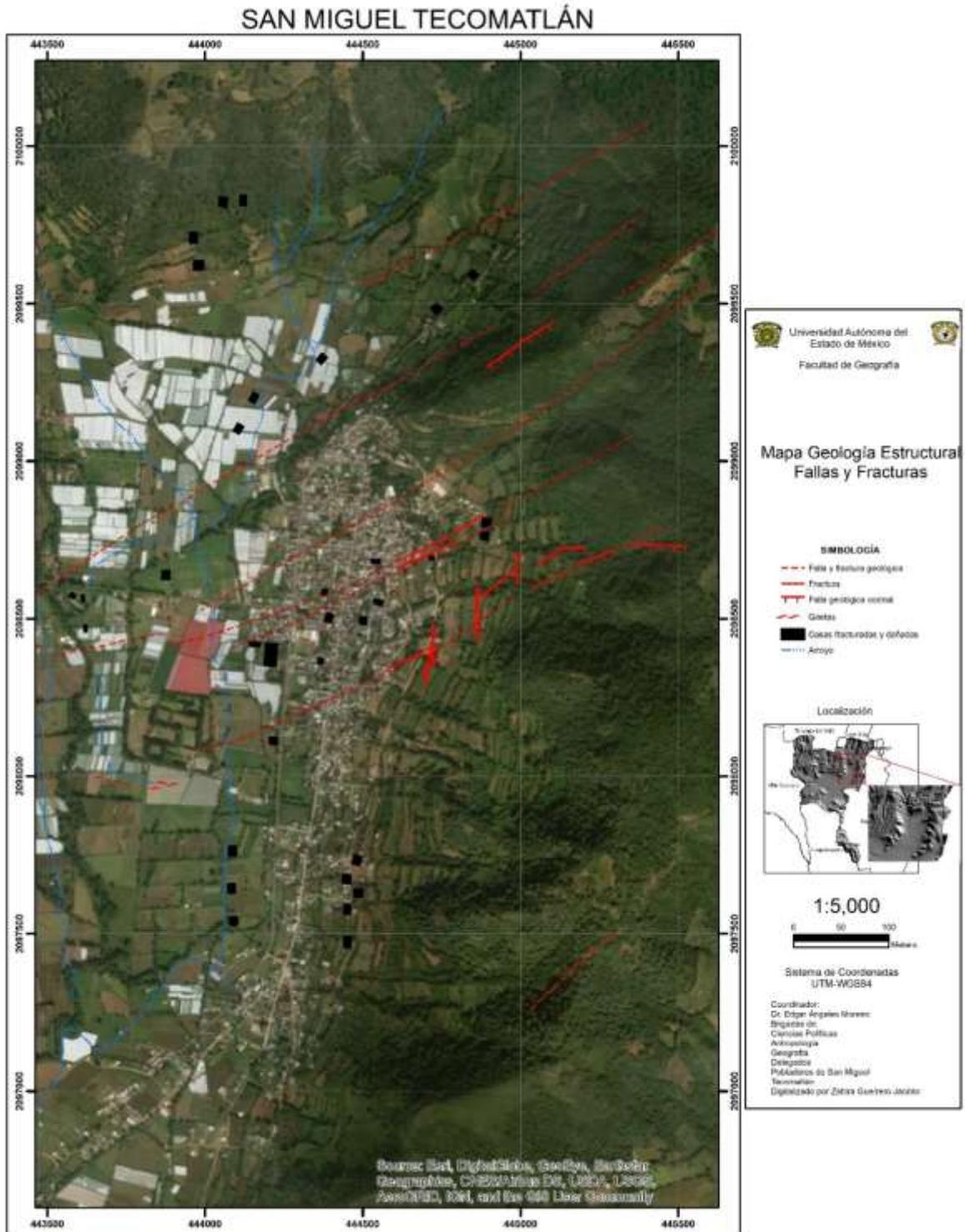
Las fallas que se identificaron son fallas normales de acuerdo al desplazamiento de construcciones en Tecomatlán sin embargo no se descarta alguna componente oblicua en algunas otras fallas debido a la orientación con respecto al Sistema de Fallas de Tenango, y que muchas de estas fallas están ocultas por coluvión o depósitos sedimentarios de abanicos aluviales.

Las fallas ya existían y hubo activación de fallas durante el sismo de septiembre de 2017 cuyas trazas pasan por los poblados de San Simonito y Tecomatlán (**Mapas 2, 4 y 5**), y que en escarpes o cerca de las trazas de las fallas se activaron deslizamientos y grietas de extensión asociadas (**Mapa 2.**)

Los daños a casas habitación y algunos deslizamientos de tierra estuvieron relacionados espacialmente y geoméricamente con la activación de fallas geológicas regionales Noreste-Suroeste y Norte-Sur que cortan a las andesitas San Simonito-Tecomatlán del Mioceno tardío.

Se caracterizaron como fallas geológicas normales, con desplazamiento vertical, en donde el bloque del techo se desplazó hacia abajo en relación al bloque del muro.

MAPA 2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL (FALLAS Y FRACTURAS)



Fuente: Elaboración propia (2018)

DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos son movimientos ladera abajo de rocas o suelo, en donde hay una zona clara de debilidad que separa el material de deslizamiento del material subyacente más estable. Los materiales que las constituyen pueden fallar y moverse o deformarse en varias maneras.

Los procesos geológicos y climáticos que afectan a la superficie terrestre crean el relieve y definen la morfología de las laderas, de variedades diferentes; aunque la mayoría de éstas parecen estables y estáticas, cubiertas de vegetación o únicamente consisten en roca; son en realidad sistemas dinámicos y en evolución.

Las áreas más propensas a la inestabilidad generalmente están en las zonas montañosas y escarpadas, zonas de relieve con procesos erosivos y meteorización intensos, zonas de materiales blandos y sueltos, con macizos arcillosos, zonas sísmicas, zonas de precipitación elevada. Estas condiciones se presentan en San Simonito y Tecomatlán y durante el sismo de septiembre de 2017 se volvieron inestables ante la interacción de la energía sísmica con los distintos materiales geológicos alrededor y al interior de las poblaciones.

De acuerdo a la extensión y frecuencia, constituyen un riesgo geológico que afecta edificaciones, vías de comunicación, cauces y a la población.

Se infiere que el deslizamiento en esta comunidad (**figura 2**) se comportó de manera rotacional, que produjo que el material se deslizara pendiente abajo en masas a lo largo de una superficie de ruptura curva, y conforme se produjo el movimiento, se crearon escarpes.

Figura 2. Deslizamiento-grieta con dirección SW, con materiales de depósito (aluvial, fluvial y lacustre) (San Miguel Tecomatlán).



Fuente: Fotografías Dr. Ángeles Moreno E. (2017)

Es importante resaltar que antes de que se produzca un deslizamiento varios procesos actúan para debilitar el material de la pendiente, convirtiéndolo de una forma gradual en un material cada vez más susceptible a la fuerza de gravedad, durante este periodo, la pendiente se debilita hasta el punto de que algo hace que cruce el umbral de la estabilidad de dicha ladera.

En este caso factores como la deforestación de bosques, saturación en agua del material, que reduce la resistencia interna del material; el implemento de agricultura y la construcción de viviendas sobre laderas fueron factores que debilitaron la estabilidad del terreno, por lo que el sismo fue un *desencadenante*, es decir fue el acontecimiento que inició el

movimiento descendiente del terreno, aclarando que no fue la única causa de este proceso gravitacional, sino el conjunto de varias causas.

Igualmente se tiene en cuenta que antiguos deslizamientos de terreno pueden reactivarse.

ZONAS DE INUNDACIÓN

Se forman cuando el suelo del valle alcanza una anchura suficiente, en donde el material depositado por el río forma una llanura de inundación, que bordea el cauce.

Las zonas de inundación se identificaron hacia las partes bajas y planas del valle de Tecomatlán, y están compuestas de capas de sedimentos de limos, arcillas y material orgánico. En estas áreas se identificaron llanuras de inundación y valles fluviales (**Mapas 3, 4 y 5**).

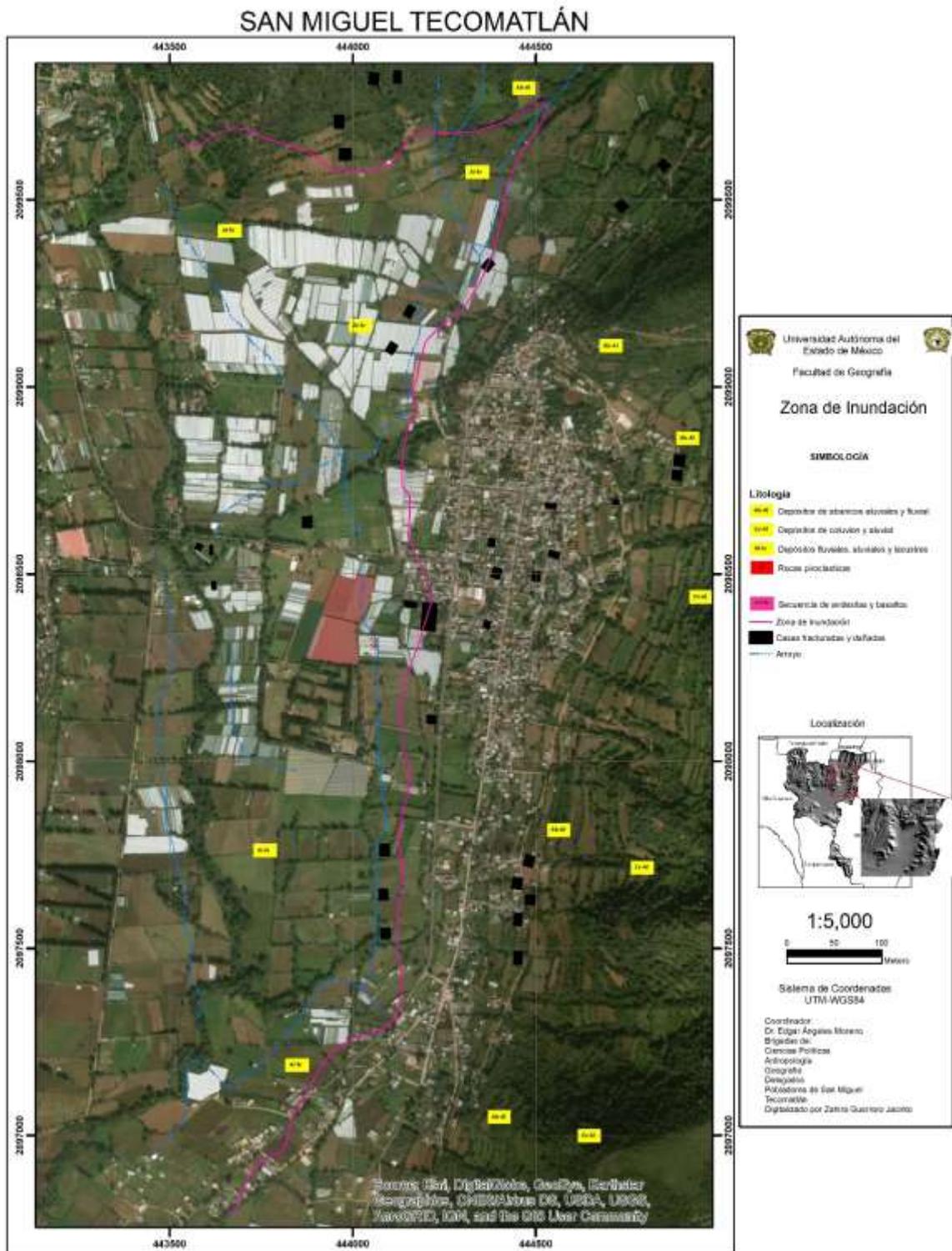
Los canales de los valles fluviales contienen gravas y arenas con partículas sedimentarias de rocas andesíticas de la unidad de andesitas basálticas de San Simonito-Tecomatlán.

Estas áreas de inundación coinciden con la ubicación de la zona de producción de la flor en invernaderos y algunas casas habitación que se encontraban en estas áreas sufrieron fuertes desarrollo de grietas y destrucción durante el sismo.

El material es continuamente erosionado, transportado y redepositado, por lo que no está consolidado, constituido de depósitos fluviales, aluviales y lacustres.

Son suelos blandos que permiten el desarrollo de la agricultura y floricultura, sin embargo, al tener demasiada materia orgánica su resistencia disminuye.

MAPA 3. ZONA DE INUNDACIÓN, SAN MIGUEL TECOMATLÁN



Fuente: Elaboración propia (2018)

Figura 4. Daños materiales en construcciones



Fuente: Fotografías Ángeles Moreno E. (2017)

Los daños se vieron reflejados en la iglesia San Miguel Arcángel, en la escuela primaria Gabino Vásquez y alrededor 24 casas-habitación registradas para fines de este reporte (**Figura 4**)

Otros efectos del sismo en las construcciones fueron los desplazamientos verticales, formación de fracturas y grietas, fracturamiento relacionados con movimientos de cizalleo horizontal y subsidencia local.

Los desplazamientos verticales fueron desplazamientos de losas de concreto en las calles y las losas de construcciones, en algunas partes se

observó desplazamiento vertical en capas de suelo por debajo de la cimentación de las construcciones.

La formación de fracturas y grietas se presenta en forma de X en algunas construcciones, y en otras las fracturas siguen la dirección de las fallas geológicas NE-SW que están por afuera del poblado afectado. En la iglesia del pueblo las fracturas fueron verticales paralelos a los muros más largos de la construcción y otras fracturas fueron horizontales formadas durante el “vaivén” de las partes altas, pero también fracturas entre los contactos de las columnas principales con los muros.

Las partes altas y angostas de construcciones como columnas o la torre del campanario les ocurrieron un movimiento de “vaivén” como una vara en vibración de un lado hacia el otro y provocó que se cortara horizontalmente la torre o las columnas y hubiera desprendimiento en partes de la construcción.

En la zona de inundación, zonas planas con sedimentos finos y capas de suelo las construcciones presentaban un deterioro muy grande o colapsos totales de los muros o las losas o tejados de tablas y teja de barro.

En general las construcciones más afectadas fueron las construcciones de adobe con palos de madera y teja, la iglesia y las casas de tabicón y concreto que se encontraban a lo largo de la falla geológico o las fracturas que se activaron.

3.2 PELIGROS Y RIESGOS GEOLÓGICOS EN SAN SIMONITO

UNIDADES LITOLÓGICAS

Las unidades litológicas que se definieron dentro y en los alrededores de la población de San Simonito fueron con base en los trabajos de fotointerpretación geológica y de geología de campo y que se describen a continuación son:

a) *Planos de flujo basáltico, con dirección NW, Piedras Anchas (figura 5):* Compuesto por piroxeno y plagioclasas, con cantidades menores de anfíbol y olivino, pobres en sílice. Constituyen un tipo de roca formada a partir de la fusión de materiales procedentes del manto. Su uso en construcción principalmente ha sido en pavimentaciones, mampostería y construcciones de envergadura. Estas rocas resisten relativamente bien a la acción del agua, al igual que las heladas gracias al dilatado tamaño de sus poros, lo que permite absorber el incremento de volumen generado. Aun con las vacuolas presentes, lo que les confiere una gran porosidad, su valor de permeabilidad es pequeña, ya que los poros no se comunican entre sí. En construcción las rocas volcánicas no se emplean habitualmente debido a su mayor alterabilidad.

Figura 5. Planos de flujo basáltico



Fuente: Fotografía propia (2017)

b) Lentes de grava, intercalados con limos y arcillas (espesor $\pm 4\text{m}$), y bloques de andesita intemperizada y clorita (**figura 6**)

Figura 6. Lentes de grava



Fuente: Fotografía propia (2017)

c) *Flujos de brecha volcánica, intersección del Paraje La Cueva, Barranca Chorrillo y Memetitla. (figura 7).*

Se generan en erupciones explosivas por rotura de de la roca de caja y/o de tapones de lava que obturan los conductos de emisión.

También se asocian a la extrusión de domos y a la formación de algunos diques.

El enfriamiento de la superficie de las coladas de lava, unido al desplazamiento diferencial de las zonas más calientes dan lugar a procesos de brechificación en dicha superficie.

Figura 7. Flujos de brecha volcánica



Figura 8. Escoria

d) *Escoria:* Se observaron algunos depósitos de escoria volcánica en las partes altas de las sierras alrededor de San Simonito y sobreyacen a las andesitas de San Simonito-Tecomatlán (**figura 8**).



Fuente: Fotografías propias (2017)

e) *Feldespatos y magnetita*, Paraje el Portezuelo (**figura 9**)

Figura 9. Feldespato y magnetita



f) *Material arena-limo*, En los depósitos sedimentarios de abanicos aluviales en las laderas del poniente de San Simón se encontraron capas de suelo de granulometría de arena limosa o limos arenosos con algunos fragmentos dispersos de andesita en bloques (**Figura 10**)

Figura 10. Arena-Limo



Fuente: Fotografías propias (2018)

g) Barranca de Poncho, con material basáltico con presencia de olivino (**figura 11**)

Figura 11. Basalto con presencia de olivino



h) Derrame de lava, bloques de andesita (**figura 12**)

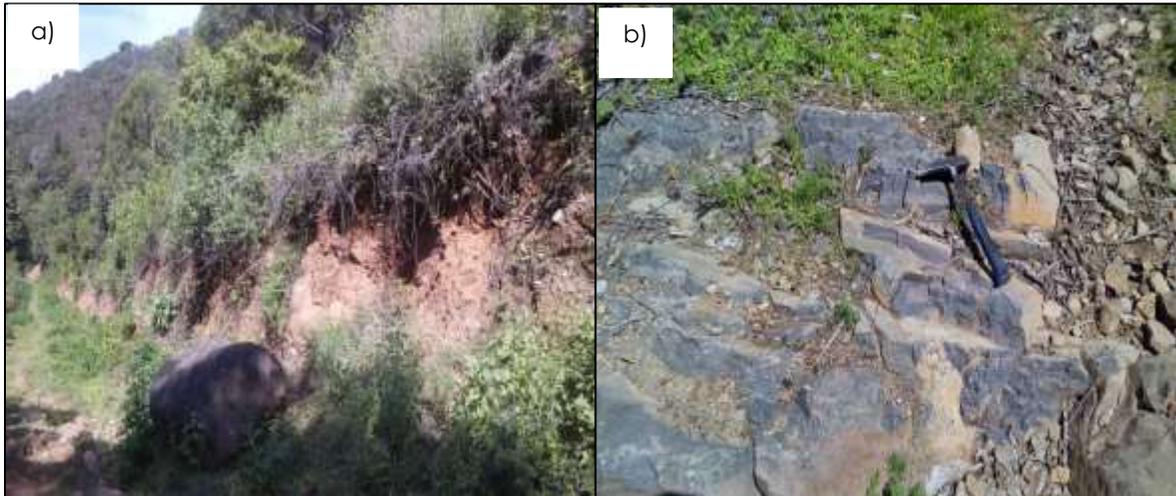
Figura 12. Derrame de lava andesita



Fuente: Fotografías propias (2018)

- i) Facies sedimentarias en un abanico aluvial, contacto brecha volcánica con piroclasto, Peña colorada (**figura 13**)

Figura 13. *Contacto abanico aluvial-brecha volcánica*



- j) Secuencia de grava-arena con clastos angulosos de andesita y ceniza volcánica, con dirección 284°/90° (**figura 14**)

Figura 14. *Ceniza volcánica*



k) Afloramiento de basalto-andesita con fracturamiento SE (**figura 15**)

Figura 15. *Basalto-Andesita*



l) Derrame de andesita basáltica con textura afanítica, con intemperismo esferoidal (**figura 16**)



Figura 16.
Derrame andesita

Fuente: Fotografías propias (2018)

m) Depósito sedimentario, matriz arenosa, clastos angulosos, evidencia de poco transporte (**figura 17**)

Figura 17. Deposito sedimentario



Fuente: Fotografías propias (2018)

TIPOS DE FRACTURAS Y FALLAS GEOLÓGICAS

En este trabajo para el área de San Simonito se mapearon en campo las fracturas al interior del pueblo y en los alrededores. Se encontraron fracturas relacionadas a deslizamientos incipientes hacia el lado poniente de la población y en materiales arenosos y limo-arenosos, algunas de estas fracturas se formaron durante el sismo.

Otras fracturas dentro del pueblo tienen direcciones en general Norte-Sur (N-S) y otras Este-Oeste (E-W); las fracturas N-S coinciden con lineamientos estructurales N-S (**Mapa 4**).

Las grietas y fallas E-W también coinciden con las fallas geológicas que vienen de la parte Norte de San Miguel Tecomatlán como puede verse en el **mapa 4** y otras fracturas coinciden con fracturas inferidas en el poniente de San Simonito.

En las figuras siguientes se pueden ver varias estructuras geológicas como fracturas, fallas y estructuras de derrames que se encuentran en las andesitas San Simonito-Tecomatlán (**figuras 18 y 19**).

En algunos lugares de otras partes de México la relación entre fallas y sismos se ha visto corroborada correlacionando alineaciones de epicentros con trazas de fallas.

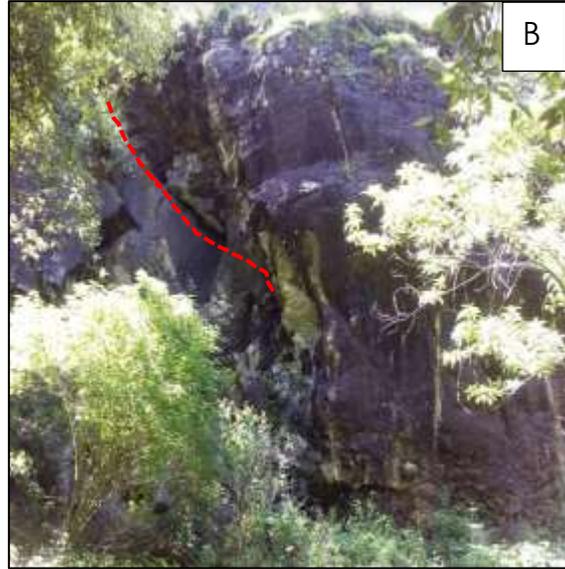
Figura 18. Zona de falla, Carretera San Simón el Alto-Tecomatlán, roca piroclástica, con rasgos estructurales, a) $S45^{\circ}W, 72NW$, b) $S38^{\circ}W, 68NW$, c) $N62^{\circ}E, 70^{\circ}NW$



Figura 19. Se muestran cuatro fotografías de afloramientos geológicos que muestran las fracturas y fallas en las andesitas basálticas de San Simonito



A) Fractura en el suelo con dirección S 54°E, N54°W



B) Fractura en andesita-basáltica, con dirección 260°/84°NW



C) Zona de falla en andesitas-basálticas, Barranca de los Tejones, con orientación 110°/70°SW



D) Plano de flujo de derrame, basalto-andesita, a) 225°, 28°NW, b) 113°, 80°SW, c) 270°, 86°N, esta última da evidencia de ser paralela a la falla Joquicingo.

Fuente: Fotografías propias (2018)

DESLIZAMIENTOS

El movimiento del terreno produjo el desprendimiento de la base de una casa con orientación NE, este fue debido a un proceso llamado reptación que es un tipo de movimiento descendente gradual de suelo y regolito.

Cualquier cosa que altere el suelo, como el impacto de las gotas de lluvia y las alteraciones provocadas por las raíces de las plantas ayuda a la reptación, incluso si el suelo se satura de agua. El movimiento suele ser gradual y muy lento sin embargo los efectos se pueden observar en el desplazamiento de muros de contención (**figura 20**).

De acuerdo a testimonios de la población, en el lugar llamado “La Cañada”, que es una zona con ladera pronunciada y que actualmente está cubierta de vegetación, hace 12 años aproximadamente ocurrió un deslizamiento.

Sin embargo, las raíces de los árboles presentan cierta inclinación al igual que el resto de la vegetación por lo que este terreno es dinámico, presenta desplazamiento gradual o lento (**figura 20**). Los deslizamientos recientes asociados a sismos son relativamente fáciles de identificar, los problemas surgen con deslizamientos antiguos cuya geometría y rasgos son modificados con el paso del tiempo

Figura 20. Desprendimientos encontrados a los largos de muros de casa habitación en San Simonito y depósitos de antiguos derrumbes que presentan crecimiento de vegetación.



Desprendimiento de la base de una casa



Antiguo derrumbe

Fuente: Fotografías propias (2018)

EFFECTOS DEL SISMO DEL 17 DE SEPTIEMBRE DE 2017 EN SAN SIMONITO

En san Simonito se encontraron varios tipos de afectaciones en las construcciones como fracturas en la iglesia, fracturas y grietas en las casas habitación y grietas en algunos pavimentos de concreto en las calles. La iglesia presenta una fractura que se va abriendo en apertura hacia la parte de donde se encuentra la campana. En las casas se observaron grietas escalonadas y en forma paralela inclinada en los muros de block con cemento, así como en algunos muros de adobe; también en zonas de debilidad en uniones de contraste de materiales entre columna y muro o en

donde están las columnas en unión con otras columnas se observaron fracturas y grietas (**Figura 21**)

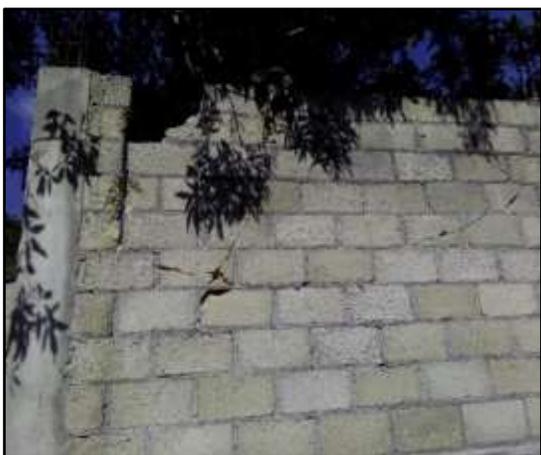
Figura 21. *Diversas afectaciones en las construcciones a manera de fracturas y grietas en la iglesia de San Simonito y otras construcciones de casas de la población afectadas por el sismo de septiembre de 2017.*



Iglesia fracturada



Muro de adobe fracturado



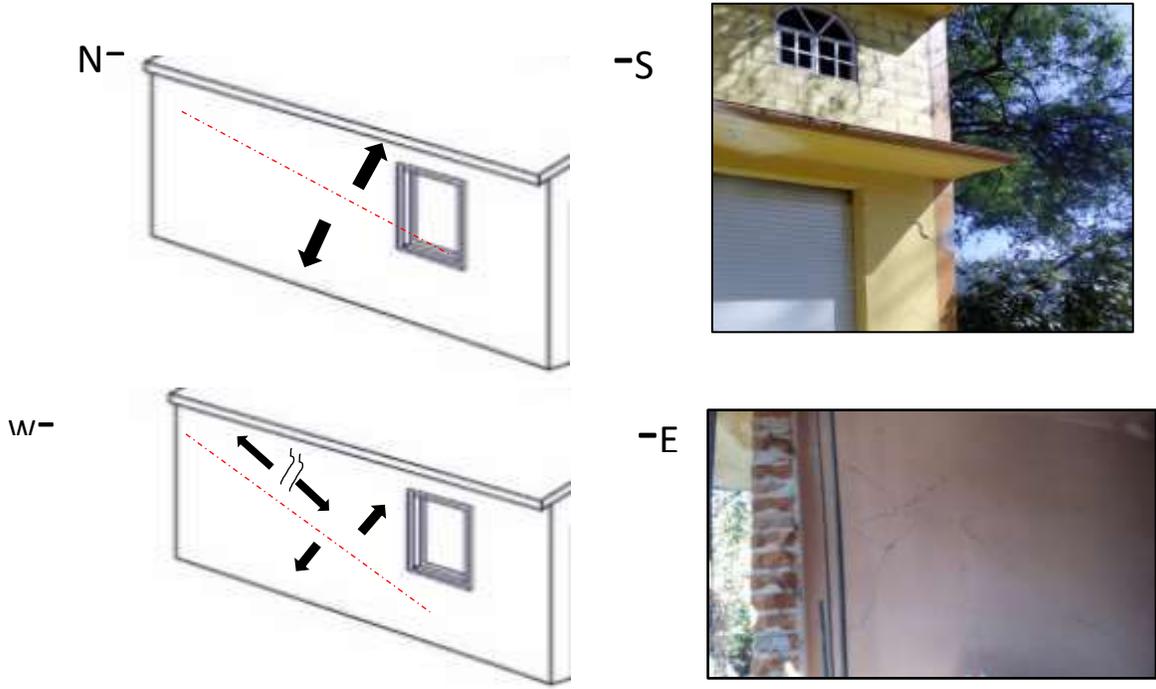
Muro de block fracturado



Muro de adobe fracturado

Fuente: Fotografías propias (2017)

En la **Figura 22**. Se muestra que las grietas fueron de tensión en donde se tiende a separar los materiales, y esto da una idea de las direcciones de la reacción ante la energía sísmica en los movimientos que provocaron deformación de los materiales de la construcción.



Fuente: Elaboración propia

En otras partes hubo pequeños desplazamientos verticales que desplazaron capas de sedimentos limo-arcillosos y arcillas (**Figura 23**)

Figura 23. En la esquina de la calle Apantla de agua y calle La Paz, el terreno se elevó 10 cm, siendo indicio de un escalón de falla, el suelo de esta zona corresponde a limo-arcilla, limo-arenoso.

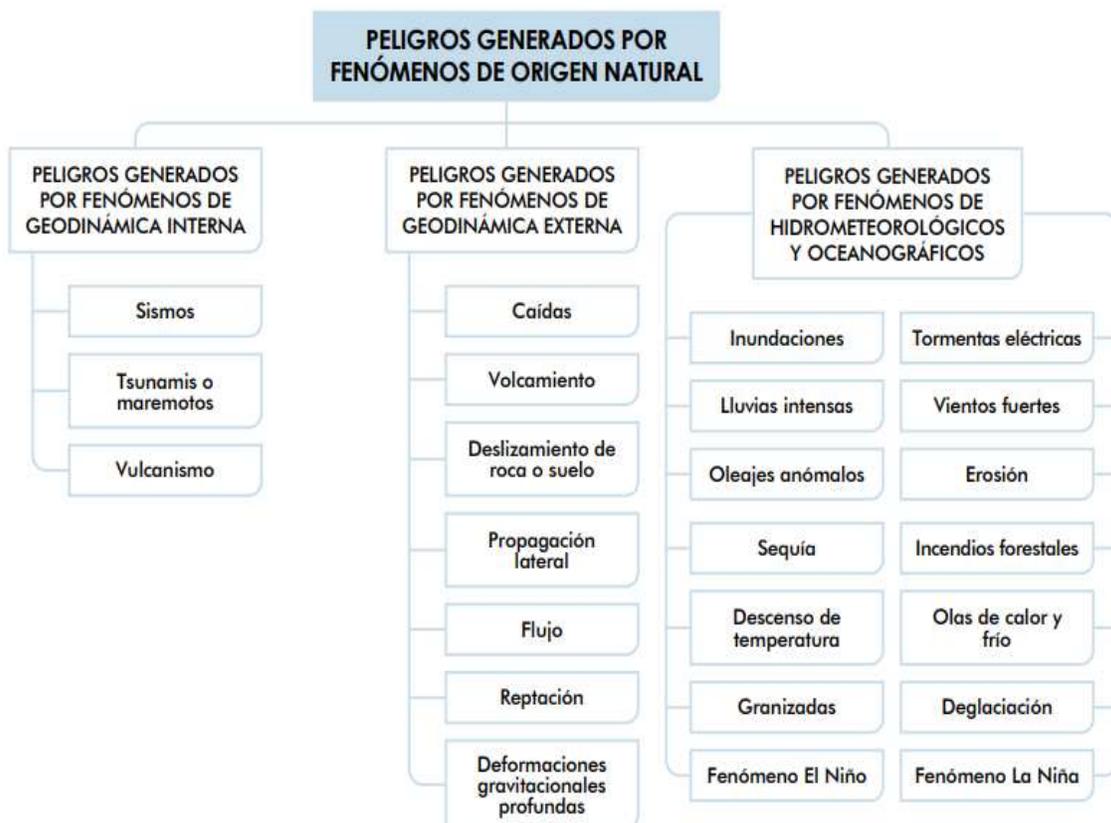


Fuente: Fotografía propia (2017)

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LA SOLUCIÓN: PELIGROS Y RIESGOS GEOLÓGICOS

El peligro, es la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos. Estos son clasificados según su origen (natural o antrópico) para fines de este reporte nos enfocamos en los de origen natural generado por dinámicas internas externas de la tierra (figura 24):

Figura 24. Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales

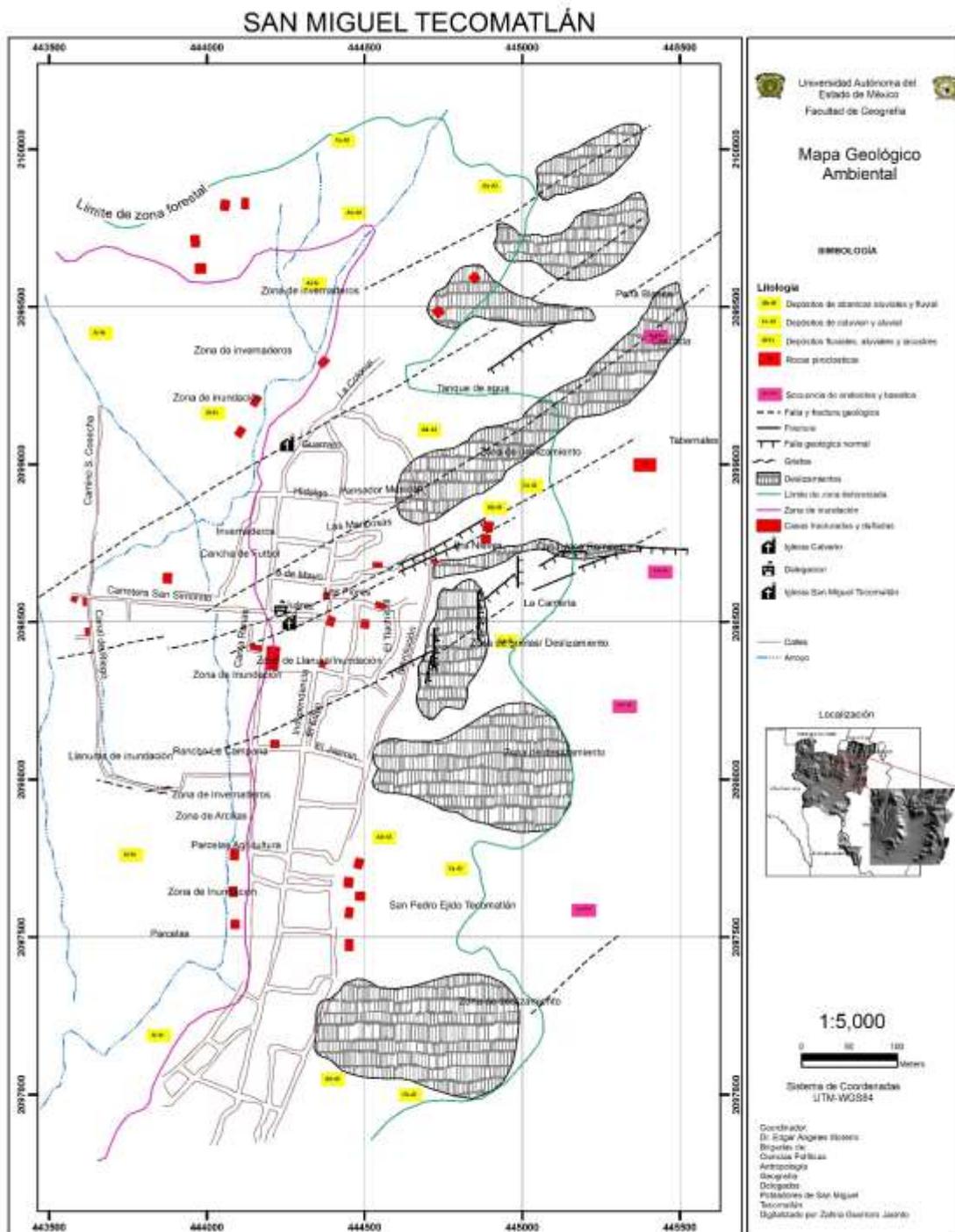


Fuente: CENEPRED

Una evaluación completa del riesgo requiere estudiar las afectaciones a toda clase de edificación e infraestructura, considerando las pérdidas de contenidos dentro de los edificios, afectaciones a elementos no estructurales, la pérdida de funcionalidad de sistemas de transporte, comunicación, energía y acueductos, afectaciones al patrimonio cultural (bienes tangibles), pérdidas económicas asociadas a flujos cesantes de negocios de gran influencia en la economía, riesgos sociales, etc., (Hinestroza, 2018).

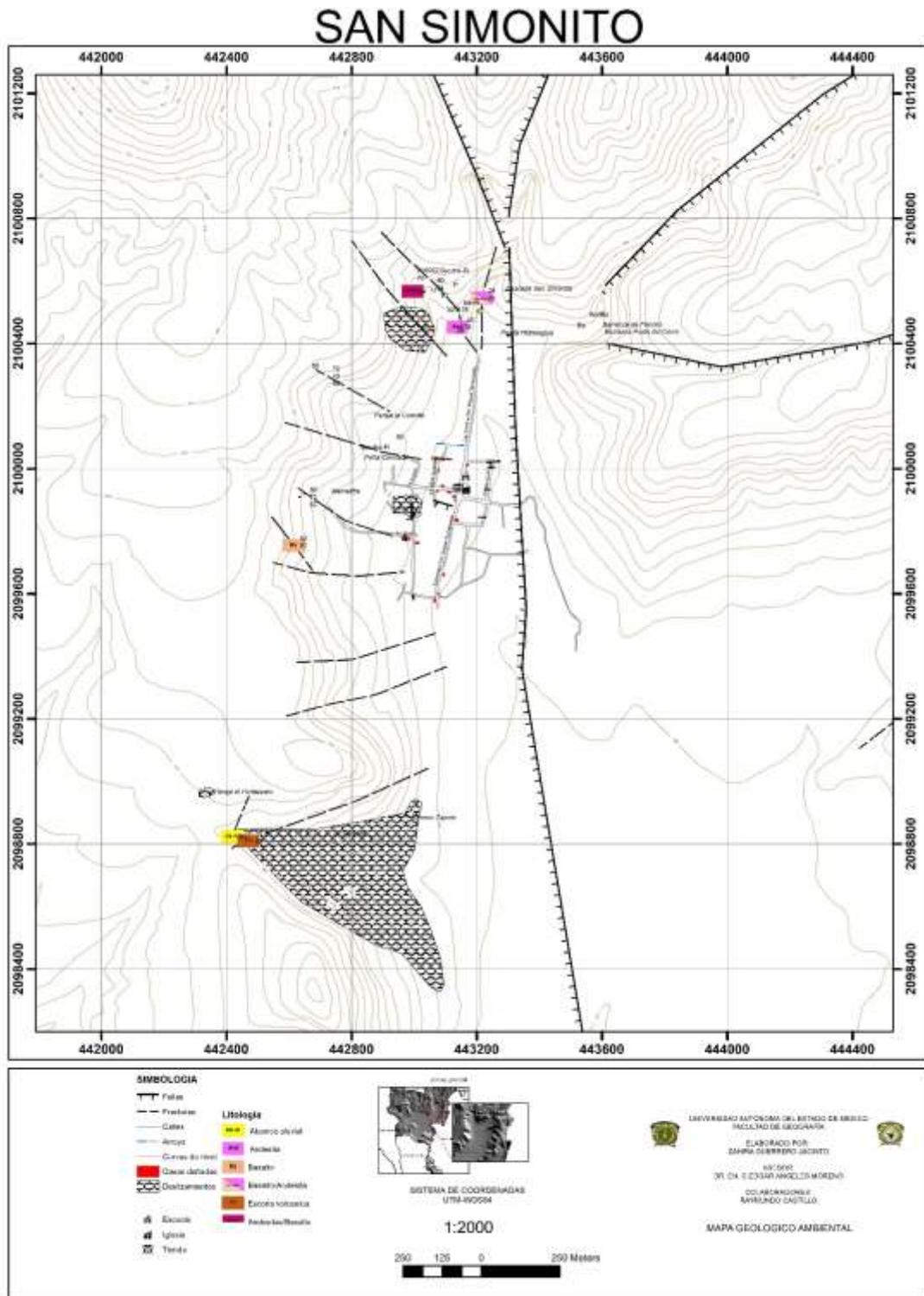
En el presente reporte únicamente se integró información colectada en campo de geología ambiental y geología estructural como zonas de inundación, evidencias físicas en el terreno de deslizamientos u otros movimientos de masa, casas habitación dañadas por fracturamiento o desplomes de las construcciones, fracturas y fallas activas; con ello fue posible elaborar la cartógrafa geológico-ambiental tanto de San Miguel Tecomatlán (**Mapa 5**) y San Simonito (**Mapa 6**).

MAPA 5. GEOLÓGICO AMBIENTAL SAN MIGUEL TECOMATLÁN



Fuente: Ángeles Moreno E. (2017)

MAPA 6. GEOLÓGICO AMBIENTAL SAN SIMONITO



Fuente: Elaboración propia (2017)

A partir de los resultados integrados en los mapas geológico-ambientales de San Simonito y San Miguel Tecomatlán (**mapa 5 y mapa 6**), y de lo tratado en los capítulos anteriores. Es posible ver que existen diferentes tipos de riesgos geológicos ante el efecto de un sismo que ocurra. Estos riesgos geológicos son las inundaciones, derrumbes y deslizamientos, activación de fallas geológicas y zonas de amplificación ante sismos.

Las inundaciones comprenden las zonas más planas en el Valle de Tecomatlán esto por la presencia de sedimentos y suelos de granulometría fina como limos arcillosos, arcillas y limos arenosos.

Las zonas de amplificación coinciden con las zonas de inundación. Estas zonas se amplificaron en intensidad de movimiento vibratorio cuando ocurrió el sismo lo que provocó afectación a las construcciones tanto de concreto como de adobe, siendo las casas de adobe las más afectadas. Estas zonas también pueden ser propicias para que ocurra el fenómeno de licuefacción, aunque en este trabajo no se observó.

Los derrumbes y deslizamientos se concentran hacia el pie de monte en el lado poniente de San Simonito y en el lado oriente de Tecomatlán. Se encontraron deslizamientos antiguos y recientes, algunos con movimientos activados por el sismo. La valoración de la historia de los deslizamientos es recomendable en la zona.

Las comunidades de San Miguel Tecomatlán y San Simonito se emplazan bajo un territorio influenciado por el potencial sísmico de fallas activas. En este caso la topografía tiene un rol importante en la respuesta sísmica local, en zonas elevadas los efectos del sismo tienen una mayor amplificación al igual que duración, a diferencia de zonas deprimidas, lo que dio paso a deslizamientos.

Muchas de las estructuras son de autoconstrucción, por lo que no cuentan con los elementos mínimos para resistir las fuerzas generadas por un sismo. La resistencia de una construcción está determinada por el diseño y la calidad de los materiales, cuando carecen de estas condiciones pueden dañarse durante el sismo; las cargas de diseño son extremadamente difíciles de determinar.

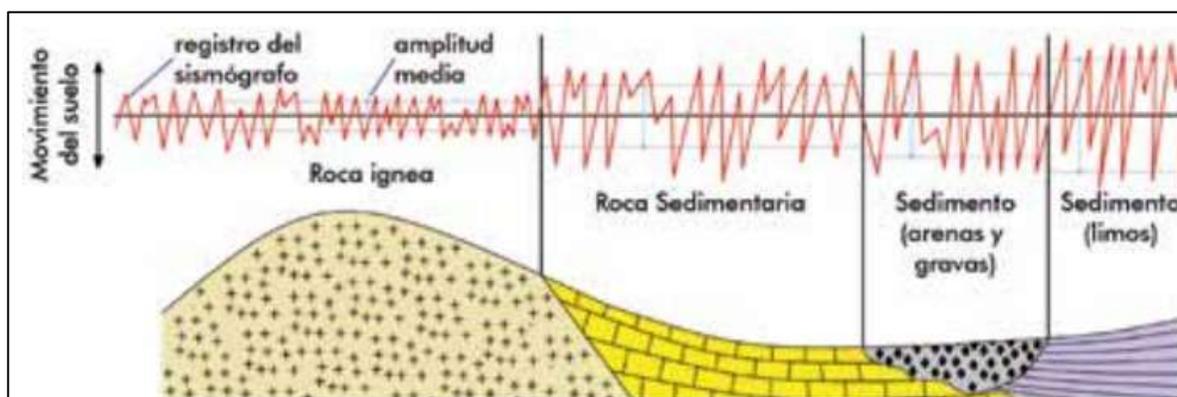
Cuando se genera un sismo, toda la energía de este golpea con mayor fuerza el ámbito geográfico cercano al epicentro, todo lo que se encuentra sobre su superficie (infraestructura, zonas económicas, turísticas, población). A distancias mucho mayores, el sismo no pasará de ser un leve movimiento del suelo perceptible solo para personas en estado de reposo.

Las condiciones geológicas representan el factor más importante, tienen influencia directa en la variación de los diferentes materiales que podemos encontrar en la superficie, ya que, dadas sus diferencias de densidad, compactación y saturación de agua, se comportan de diferente manera frente a la vibración inducida por las ondas sísmicas.

Los sustratos rocosos, amplifican muy poco las vibraciones, en cambio los depósitos sueltos (gravas, arena y limos) amplifican considerablemente los movimientos, y por tanto aumenta la aceleración que sufren esos

materiales (mayor amplificación cuanto menor es el tamaño de grano del sedimento) (**figura 25**).

Figura 25. Variación de amplitud de onda al propagarse por diferentes tipos de suelos



Fuente: CENEPRED

Hubo diferencias muy importantes en los daños producidos en las comunidades, únicamente por la amplificación de la señal que pueden presentar los diferentes materiales que encontramos en la superficie.

Ambas comunidades están asentadas sobre material de depósitos aluviales y fluviales compuesto de arenas, gravas y limos, amplificando las ondas sísmicas, añadiendo que, al realizar el mapeo en campo de las fallas y fracturas, éstas se concentran espacialmente en las zonas donde hubo más fracturamiento y derrumbes de viviendas (**Mapas 5 y 6**).

En cuanto a los deslizamientos las medidas de corrección o estabilización de laderas están encaminadas a prevenir estos procesos y mitigar los daños. Su aplicación depende principalmente de la tipología, magnitud y velocidad de los movimientos.

En esta parte se proponen algunas soluciones geotécnicas para mitigar los efectos de riesgos geológicos en las poblaciones.

Lo más efectivo y menos costoso serían las obras drenaje y la modificación de la geometría; esto relacionado a la estabilidad de taludes en las zonas de derrumbes o deslizamientos o al pie de grandes fracturas verticales. Con el fin de evitar la entrada de agua y adquirir estabilidad en la ladera, pero se requieren estudios hidrogeológicos detallados (**Figura 26**).

Figura 26. Sistema de drenaje



Fuente: Fotografía INACCÉS

De acuerdo a González de Vallejo (2002) otras medidas denominadas activas incluyen:

- Instalación de anclajes y bulones para evitar desprendimientos de bloques (**figura 27**).
- Sistema de cables o mallas metálicas fijadas o ancladas a las laderas para estabilizar de zonas muy fracturadas anclados a la roca (**figura 28**).

Figura 27. Anclajes y bulones



Figura 28. Malla metálica



Fuente: Fotografía INACCÉS

Por otra parte, para evitar los daños que puedan causar a edificaciones, estructuras y vías de comunicación se implementan medidas pasivas que son:

- *Mallas metálicas* para guiado de pequeños bloques desprendidos, están formadas por alambre de acero, se tienden desde la cabecera de la ladera, cubriendo toda la superficie hasta el pie (**figura 29**).
- *Zanjas* para recogida de los bloques caídos, se excavan al pie de las laderas, la profundidad y anchura depende del volumen de los bloques. En el fondo de la zanja se coloca una capa de gravas o tierra (**Figura 30**).
- Los *muros de hormigón* (**figura 31**), generalmente se construye a pie de ladera.
- Las *barreras dinámicas o flexibles* son capaces de absorber y deformarse por la energía del impacto (**figura 32**).

Figura 29. Mallas de guiado



Figura 30. Zanja de drenaje



Figura 31. Muro de hormigón



Figura 32. Barreras dinámicas



Fuente: Fotografías INACCÉS

Otra medida incluye a la *vegetación* que protege contra la erosión y contribuye a la estabilidad de pendientes; sus sistemas radiculares (raíces) unen el terreno y el regolito (capa de roca suelta y fragmentos minerales que no forman aún un suelo), es una barrera natural ante el impacto de la lluvia, si la vegetación es escasa se potencian los procesos gravitacionales, por lo que una adecuada reforestación o mantenimiento y protección del área forestal permite reducir la probabilidad de deslizamientos.

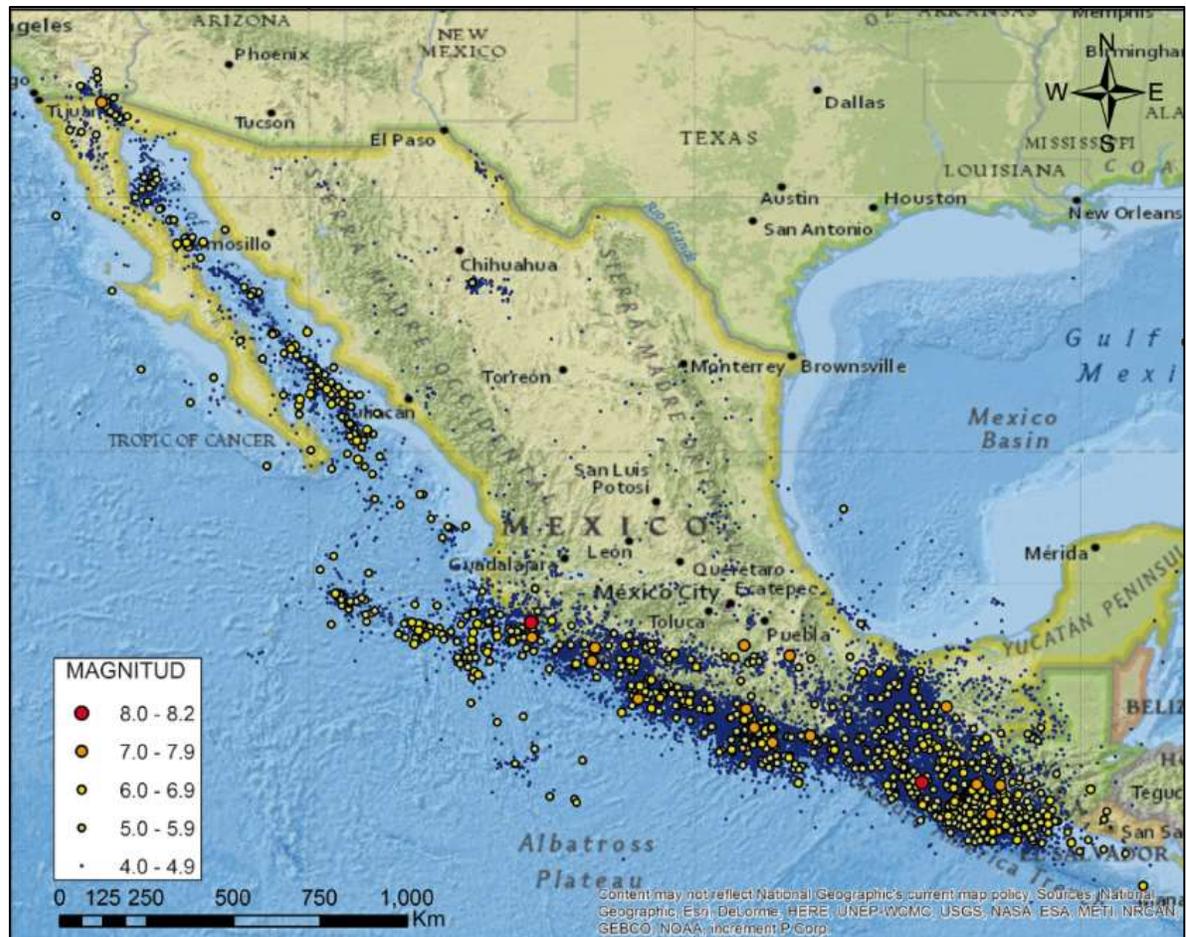
Los terremotos son desastres naturales relativamente frecuentes en México, en el centro del país se suscitó un caso muy particular; el sismo del 2017 coincidió en fecha con el sismo que devastó a la Ciudad de México el 19 de septiembre de 1985, teniendo 32 años de diferencia.

Esta similitud por llamarlo así dejó alarmada a la población, la gran mayoría al no tener la información adecuada asumió que los sismos tendrían a repetirse el mismo día, sin embargo, es importante aclarar que ambos sismos tuvieron diferentes características geológicas.

Aunque la fecha fue similar, el sismo de 1985 tuvo un comportamiento totalmente diferente, en primera instancia tuvo como epicentro en las costas del estado de Michoacán y Guerrero, producto de la rotura del contacto entre las placas de Cocos y de Norteamérica, con una magnitud de 8.0 en la escala de Richter y una duración de casi cuatro minutos.

México tiene una actividad sísmica importante, en el periodo que va de 1990 a 2016, el Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó un promedio anual de 28 sismos de magnitud entre 5 y 5.9; 3.5 de magnitud entre 6 y 6.9, y uno de magnitud entre 7 y 7.9 cada dos años. En ese mismo intervalo de 27 años se reportó un sismo de magnitud entre 8 y 8.9. Como es de esperarse, los sismos de magnitud entre 4 y 4.9 son aún más abundantes, suceden en promedio 708 de ellos al año (Gavilán *et al*, 2018) (**Figura 33**).

Figura 33. Sismicidad de México (generado en ArcGIS con mapa base de USGS Earthquake Hazards Program y con las localizaciones reportadas por el Servicio Sismológico Nacional)



Fuente: Servicio Sismológico Nacional

De acuerdo al Servicio Sismológico Mexicano: “No existe una técnica que permita predecir los sismos. Ni los países como Estados Unidos y Japón cuya tecnología es muy avanzada, han sido capaces de desarrollar una técnica predictiva de temblores. Dado que vivimos en un país con gran actividad sísmica la única certeza que tenemos es que tiembla constantemente y que debemos estar preparados. Ante cualquier evento sísmico lo único que nos puede ayudar es la prevención”.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Los riesgos naturales son parte de la vida en la Tierra, cada día afectan a millones de personas alrededor del mundo y estos son responsables de infinidad de daños, sin embargo, es común encontrar comunidades en zonas de riesgo debido a la falta de investigaciones que informen sobre el peligro potencial al que está sujeto el terreno y bien puede ocasionar daños.

Tal como sucedió el pasado 19 de septiembre del 2017, en donde ambas comunidades de Tenancingo de Degollado no tuvieron entrenamiento suficiente para enfrentar las consecuencias, dado que no había una comprensión amplia de la relación con el medio ambiente y la prevención de situaciones de riesgo de desastre.

Presenciar un sismo puede ser una experiencia física y mental muy traumática. Cuando termina surgen en la mente preguntas como: ¿habrá sido éste un temblor cercano que se sintió fuertemente sólo aquí, o un terremoto fuerte que puede haber dañado mi casa y mi familia? ¿Se repetirá, y de ser así, cuándo? ¿Qué puedo hacer si ocurre otro? (Nava, 1998)

Por esta razón aplicar los conocimientos de geología ambiental-estructural funge una función importante como gestión y prevención del riesgo porque no es sólo la reducción de éste.

También se requiere de la participación de los diversos estratos, sectores de interés y grupos representativos, y así, reconocer cómo se construye en colectivo la gestión del riesgo como una cultura de las buenas costumbres (Lina, et al, 2015).

FUENTES CONSULTADAS

Allende, T. 2005: Estudio geológico-geotécnico en los proyectos de relleno sanitario. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Belousov V.V (1974) Geología Estructural, Editorial MIR, Moscú, pp. 6

Campos-Enríquez J.O., Lermo-Samaniego J.F., Antayhua-Vera Y.T., Chavacán M., Ramón-Márquez V. M. (2015). The Azlán Fault System: control on the emplacement of the Chichinautzin Range volcanism, southern Mexico Basin, Mexico. Seismic and gravity characterization. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 67, P. 315-335.

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales [Documento electrónico] Disponible en: https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf

Collo Gilda La inducción como método científico para establecer la génesis de la illita en rocas de bajo grado de metamorfismo. Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología, Vol. I L. A. Godoy (Editor) Editorial Universitas, Córdoba, agosto 2003, pp. 53-64

Compton, R.R. (1985). Geology in the field. John Wiley and Sons., pp. 398.

Dávila Madrid Ramón Z. (2011) Notas Introductorias, Sismología [Documento electrónico] Disponible en: <http://www.geociencias.unam.mx/~ramon/sismo/IntroSism.pdf>

Ferrari, L., Orozco-Esquivel, M.T., Manea, V., Manea, M., 2012, the dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone: Tectonophysics, 552–553, 122–149.

Fossen H. (2010). Structural Geology. Cambridge University Press. pp.457

García-Palomo, A., Macías, J.L., Garduño, V.H. (2000). Miocene to Recent structural evolution of the Nevado de Toluca volcano región, Central Mexico. Tectonophysics, 318. P. 281-302.

Gavilán Pérez, Aguirre J. y Ramírez L. (2018) Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México (Documento electrónico) Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342018000700041

González Cárdenas E. (s.f) Brecha Volcánica. [Sitio web] Disponible en: <http://previa.uclm.es/profesorado/egcardenas/brecha.htm>

González de Vallejo L. Ferrer Mercedes, Ortuño Luis, Oteo Carlos (2002) Ingeniería Geológica, Editorial Pearson Educación, Madrid, pp. 744

Guadalupe, E.; Zea, M.; Villafuerte, I.; & Flores, D. 2002: Estudio geológico–geotécnico para el relleno sanitario de Machu Picchu y pueblos aledaños. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas* 5(10): 25-33.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGrawHill / Interamericana editores. 6ta. Edición. P. 599.

Hinestroza Farfán J.C (2018) Evaluación del riesgo sísmico de viviendas de Barrancabermeja (Colombia) [Documento electrónico] Disponible en:
https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/13329/JuanCamilo_HinestrozaFarfan_2018.pdf?sequence=2

INACCÉS Geotécnica Vertical (2020) Tratamiento, estabilización y protección de taludes (Sitio web) Disponible en:
<http://www.inaces.com/servicios/taludes/mallas-metalicas-triple-torsion/>

Keller, A. E. (2008). *Introduction to Environmental Geology*. 4th edition. Pearson Prentice Hall. Pp.661.

Lina A. Zambrano-Hernández¹; Edwin A. Gómez-Serna (2015) Prácticas culturales y gestión del riesgo sísmico: La cultura de las buenas costumbres [Documento electrónico], Disponible en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v33n3/v33n3a08.pdf>

López-Cano José Luis, 1975, Método e hipótesis científicos. Editoriales trillas, pp. 111

Márquez, A., Surendra, P.V., Anguita, F., Oyarzun, R., J.L. Brandle,1999, Tectonics and volcanism of Sierra Chichinautzin: extensión at the front of the central Trans-Mexican Volcanic Belt: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 93, 125–150.

Martínez-Álvarez, J.A. (1989). *Cartografía Geológica*. Editorial Paraninfo, España. Pp. 481.

Martínez Catalán J.R. (2003) *Geología Estructural Y Dinámica Global*. Departamento de Geología Universidad de Salamanca [Documento electrónico] Disponible en:
https://www.ucursos.cl/usuario/88e17214fbd3bc896935dca577cbaec1/mi_blog/r/Geologia_Estructural._Unv_Salamanca_2003.pdf

Morales-Soto, S., & Rodríguez-Infante, A. (2016). Evaluación geológica ambiental para ubicar un relleno sanitario manual en la parroquia Mene de Mauroa, Venezuela. *Minería y Geología*, 32 (2), 87-101.

Nava Alejandro (1998) *Terremotos*, Fondo de Cultura Económica, Ciencia para todos, México.

Norini, G., Gropelli, G., Lagmay, A.M.F., Capra, L., 2006, Recent left-oblique slip faulting in central Trans-Mexican Volcanic Belt: Seismic hazard and geodynamic implications: *Tectonics*.

Olivares-Sánchez, Ruth A., (2020), Geología ambiental y peligros geológicos a lo largo de las fallas tenango, estado de México, Tesis Licenciatura Geología Ambiental y Recursos Hídricos, Facultad de Geografía. UAEMex.

Octavio P.R y J. M. García de Miguel (1991) Rocas empleadas en construcción. [Documento electrónico] Disponible en: http://oa.upm.es/9877/1/roc_maquina_1991.pdf

Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Tenancingo [Documento electrónico] Disponible en: http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/Tenancingo/DPUtngo.pdf

SEDESOL (2010) *Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social*. [Documento electrónico] Disponible en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/42724/Mexico_088.pdf

Sedesol catálogo de localidades (2010) [Documento electrónico] Disponible en: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=150880023>

Servicio Geológico Mexicano (2017) Geología Ambiental. [Sitio web] Disponible en: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Geologia-ambiental.html>

Servicio Sismológico Nacional (2017) *Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos* [Documento electrónico] Disponible en:

http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportesespeciales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_PPuebl-Morelos_M71.pdf

Silva Romo G, Mendoza Rosales Claudia C, Campos Madrigal E. (2010) Elementos de la Cartografía, México, Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp 73.

TECCO (2016) Estabilización y control de la erosión de taludes y laderas inestables, con respeto al medio ambiente [Documento electrónico] Disponible en:

https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/16483/Geobrugg-AG_TECCO_es.pdf

Vásquez González Alicia Y. (2017) El pan artesanal de San Miguel Tecamatlán, México [Documento electrónico] Disponible en:

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/4695/469550538007/html/index.html>

Wicander R. y J. S. Monroe (2000) Fundamentos de Geología. Editorial International Thomson Editores.