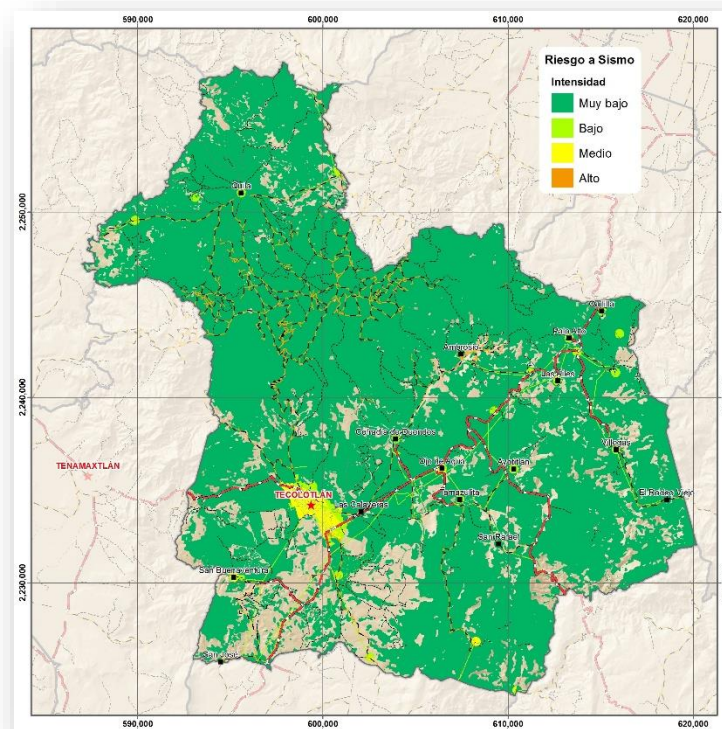


Atlas de Riesgos por Fenómenos Naturales y Químicos del Municipio de Tecolotlán, Jalisco.

CAPÍTULO 5: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDADES Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN GEOLÓGICO.



CONTENIDO

5	CAPÍTULO Quinto: identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidades y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen GEOLÓGICO.	2
5.1	Peligros y Riesgos Geológicos.....	4
5.1.1	VULCANISMO.....	7
5.1.2	SISMOS.....	47
5.1.3	TSUNAMIS O MAREMOTOS.....	114
5.1.4	DESLIZAMIENTOS (INESTABILIDAD DE LADERAS).....	119
5.1.5	FLUJOS (lodo, tierra y suelo, lahar)	153
5.1.6	DERRUMBES	174
5.1.7	CREP O REPTACIÓN.....	198
5.1.8	HUNDIMIENTOS Y SUBSIDENCIA	203
5.1.9	FALLAS Y FRACTURAS	244
5.1.10	EROSIÓN	263
5.2	Medidas de Mitigación y Acciones ante el Riesgo.	278
5.2.1	Vulcanismo (Caída de cenizas).	278
5.2.2	Sismos	279
5.2.3	Deslizamientos.....	282
5.2.4	Flujos (Lodos, Tierra, y Suelo, Lahar).....	284
5.2.5	Derrumbes	285
5.2.6	Hundimientos	286
5.2.7	Fallas y Fracturas	287
5.3	Referencias Bibliográficas.	288

5 CAPÍTULO QUINTO: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDADES Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN GEOLÓGICO.

En este capítulo se abordan los fenómenos perturbadores de origen natural (Geológico, Hidrometeorológicos) y químicos, esencialmente se analizan cada uno de los fenómenos de peligro para el Municipio de Tecolotlán, identificando su periodicidad, área de ocurrencia y grado o nivel de impacto sobre el sistema afectable, zonificando áreas vulnerables expuestas al peligro y zonas de riesgo, proponiendo obras y acciones que tiendan a disminuir el riesgo. En la Tabla 5-I se muestra los fenómenos de análisis con probabilidades de ocurrencia en el Municipio.

Tabla 5-I. Fenómenos perturbadores naturales y químicos.

Tipo	FENÓMENO
GEOLÓGICO	Vulcanismo (Erupciones Volcánicas)
	Sismos
	Tsunamis o Maremotos
	Inestabilidad de laderas (Deslizamientos)
	Flujos (Lodos, Tierra, y Suelo, Lahar)
	Derrumbes (Caídos)
	Hundimientos
	Hundimientos
	Fallas y Fracturas
	Erosión
HIDROMETEREOLÓGICO	Ondas Cálidas y Gélidas (Temperaturas Máximas y Mínimas Extremas)
	Sequías
	Heladas
	Tormentas de Granizo
	Tormentas de Nieve
	Ciclones Tropicales. Ondas Tropicales
	Tornados
	Tormentas Eléctricas
	Lluvias Extremas
	Inundaciones
	Vientos

QUÍMICO	Almacenamiento y manejo de sustancias
	Transporte de materiales y residuos
	Incendios Forestales

Fuente: Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgo y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2014, SEDATU.

El análisis se sustenta en datos históricos, mapas preexistentes, información bibliográfica, recopilación de evidencias, periodicidad del peligro y, seguimiento de la Guía Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgo y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2014, se identifican los peligros ,vulnerabilidad y Riesgos en el Municipio de Tecolotlán.

Con base en lo anterior se realiza la zonificación de peligros o amenazas, zonas vulnerables y Riesgos, mediante un sistema de información geográfica (SIG), la cual generó cartografía digital en los términos requeridos por la Guía señalada.

Tal cartografía sirve para realizar un análisis completo de riesgos, indicando qué zonas son más propensas a sufrir procesos destructivos, cuantificando población, áreas, infraestructura y elementos lineales afectables, describiendo las obras y acciones que se proponen para mitigar cada riesgo.

Los mapas de riesgos, peligros y vulnerabilidad son útiles para hacer un análisis vinculatorio de los fenómenos perturbadores que se superponen y que cíclicamente se presentan en el Municipio.

En estos mapas se representa el grado o nivel de riesgos, peligros y vulnerabilidad de cada fenómeno estudiado.

Los riesgos geológicos comprenden procesos en el Municipio que se relacionan con los materiales de la corteza del suelo, su dinámica y los sistemas de origen natural con que se relaciona.

5.1 Peligros y Riesgos Geológicos.

Los peligros geológicos son un conjunto de amenazas para los recursos y las actividades humanas, derivados de procesos geológicos de origen interno (endógenos), externos (exógenos) o de una combinación de ambos. En los peligros geológicos, por tanto, están implicados procesos de origen natural, junto con procesos antrópicos, lo que nos lleva a la paradoja de que zonas muy afectadas por fenómenos geológicos catastróficos, pero despobladas, no están sometidas a peligro alguno, es decir, el peligro geológico es un parámetro económico que se mide cuantificando las pérdidas provocadas por un determinado evento. Otro aspecto a tener en cuenta es que la intensidad de un determinado fenómeno geológico en una región pobre tiene menos riesgo económico que una rica, pero, generalmente las pérdidas en vidas humanas es mayor en las zonas pobres que en las zonas ricas. Los principales peligros endógenos son el sísmico y el volcánico, mientras que los principales peligros exógenos son los ocasionados por los movimientos en masa en las laderas.

En la Tabla 5-II se muestran los fenómenos geológicos que la SEDATU recomienda analizar para determinar si en el pasado han afectado a la zona de estudio (Municipio de Tecolotlán) o es posible que ocurra. En la columna “nivel de análisis” indica aquellos fenómenos que serán estudiados y hasta qué nivel de análisis se abordará. Las amenazas que aplican para la zona de estudio se indican con un nivel de análisis.

Tabla 5-II. Fenómenos Geológicos que la SEDATU recomienda analizar en la zona de estudio.

No.	Tipo	Nivel de Análisis	Escala de Representación
1	Vulcanismo	2	Municipal
2	Sismos	4	Municipal
3	Tsunami	N/A	N/A
4	Inestabilidad de Laderas (Deslizamientos)	2	Cabecera y Municipal
5	Flujos	2	Municipal
6	Derrumbes o Caídos	2	Municipal
7	Creep o Reptación	N/A	N/A
8	Hundimientos y Subsistencia	4	Cabecera Municipal
9	Fallas y Fracturas	2	Municipal
10	Erosión	2	Municipal

Fuente: Dentro de las amenazas a la población o a la infraestructura del Municipio de Tecolotlán, se analizarán prácticamente todos, con excepción de: “Tsunamis” y “Creep y Reptación”.

El análisis que se realiza para el Atlas de peligros, vulnerabilidades y riesgos para el Municipio a través de un procedimiento que esencialmente sigue las instrucciones de las Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2014, de modo que se desarrollan diversos tipos de análisis de acuerdo a la información disponible y a la obtenida en trabajos de campo.

Estos niveles se replantean a partir de cada tipo específico de sistema perturbador relativo al peligro, que se vincula con la vulnerabilidad, para obtener el riesgo.

Un peligro geológico se puede considerar como la probabilidad de que un territorio y la sociedad que habita en él, se vean afectados por fenómenos geológicos. En otras palabras, la vulnerabilidad de una población o región se vea afectada a una amenaza o peligro. Para poder definir la perceptibilidad de una región a amenazas naturales es necesario realizar encuestas a las autoridades y población en general de efectos ocasionados por fenómenos naturales ocurridos en el pasado. Las encuestas levantadas en el Municipio para fenómenos

geológicos ocurridos, se muestra en la Tabla 5-III e **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 5-III. Perceptibilidad de Fenómenos Geológicos en el Municipio de Tecolotlán

Localidad	Vulcanismo	Sismo	Deslizamiento	Flujos	Derrumbes	Hundimientos	Fracturas
Quila	No	Si	Si	No	No	No	Si
Tecolotlán	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
San Buenaventura	No	Si	No	No	No	No	Si
Tamazulita	No	Si	No	No	Si	No	Si
Cofradia de duende	No	Si	Si	No	No	No	No
Ojo de Agua	No	Si	No	No	No	No	No
Ayotitlán	No	Si	No	No	Si	No	Si
San Rafael	No	Si	No	No	No	No	No
Ambrosio	No	Si	Si	No	No	No	Si
Villegas	No	Si	Si	No	Si	No	No
El rodeo Viejo	no	Si	No	No	No	No	Si

Fuente: IIEG: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-1. Perceptibilidad de los fenómenos Geológicos en el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG, Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

5.1.1 VULCANISMO

Un volcán es un conducto por el cual la roca fundida emerge a la superficie terrestre. A diferencia de las otras montañas, las cuales son empujadas desde abajo, los volcanes se forman por la acumulación superficial de sus productos eruptivos —capas de lava, depósito de cenizas incandescente. Cuando la presión de los gases dentro de la roca fundida se hace demasiado grande, ocurre una erupción.

Los volcanes producen una amplia variedad de peligros que pueden matar a la gente y destruir sus propiedades. Las grandes explosiones eruptivas pueden poner en peligro a las poblaciones entorno a un volcán y a la propiedad que están cercanas y a cientos de kilómetros de distancia, e incluso pueden afectar el clima global (Breton, 2012).

5.1.1.1 Metodología

Los resultados de una evaluación inicial de los peligros volcánicos conducen a identificar si un volcán en el área de estudio representa una amenaza, a corto o a largo plazo. Los datos esenciales necesarios para una evaluación adecuada de los peligros volcánicos deben incluir las siguientes etapas:

1. Investigación bibliográfica de los peligros generados por la erupción de un volcán.
2. Ubicación dentro del contexto volcánico de Jalisco al Municipio de Tecolotlán.
3. Registros de las erupciones históricas e identificar los peligros volcánicos.
4. Actividad eruptiva recientes.
5. Identificar el peligro volcánico para el Municipio.
6. Modelado de erupción volcánica.
7. Zonificar el peligro volcánico identificado.

En conjunto estos datos permiten la reconstrucción del comportamiento eruptivo del volcán en el pasado, lo cual provee la base para evaluar los peligros potenciales de futuras erupciones.

Al establecer un registro estratigráfico está implícita la clasificación del tipo de volcán en términos de la morfología y características eruptivas. También está implícita la necesidad de determinar los tipos de roca de los depósitos volcánicos, pues ambos son indicadores de la propensión a explosiones violentas.

5.1.1.2 Evaluación de Peligros Volcánicos

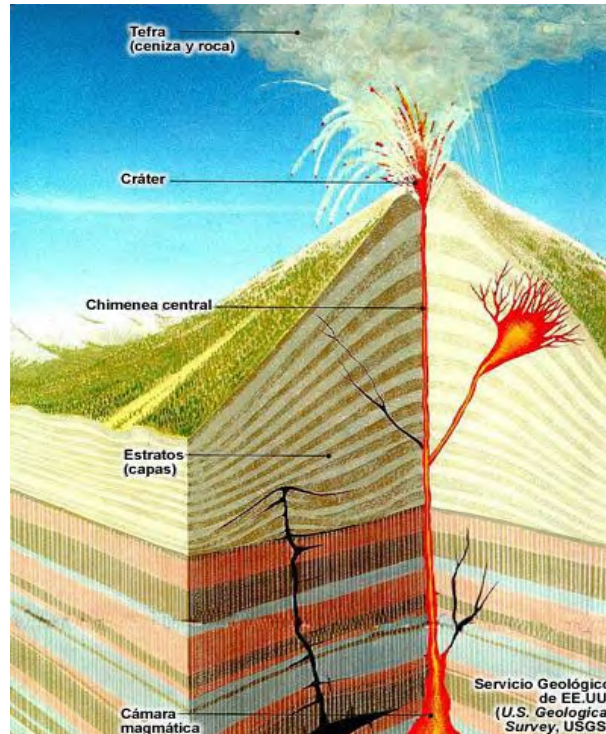
Las evaluaciones de los peligros volcánicos generalmente toman como premisa el asumir que en general las mismas áreas en los alrededores del volcán serían afectadas por eventos similares eruptivos en el futuro a una tasa promedio igual que en el pasado. Por esta razón, mientras más largo sea el periodo de tiempo que abarca la base de datos utilizada para reconstruir el comportamiento eruptivo pasado, más útil y confiable será la evaluación resultante de los peligros volcánicos. Los datos sobre vientos (dirección predominante y velocidad) son relevantes en la evaluación de peligros de caída de cenizas. La topografía y los estudios interpretativos de suelos son importantes para la evaluación de cenizas, flujo Piroclásticos y peligros de lahares. La ubicación de reservorios y otras fuentes principales de agua que pueden causar inundaciones o contribuir al movimiento de los lahares, son datos de importancia especial para la mitigación de los peligros volcánicos. (Martínez, et. al., 2004).

Por otra parte, es común en la literatura técnica utilizar el concepto de "periodo de retorno" o intervalo de recurrencia de un evento, que corresponde al tiempo "promedio" entre eventos con características similares en una región. Este es un concepto estadístico importante de tener en cuenta, ya que en ocasiones se tiene la idea errónea de que este intervalo es determinista; como ejemplo, si el periodo de retorno de una erupción volcánica es de 250 años y hace diez que se presentó, esto no significa que falten otros 240 años para que se repita (Fiske, 1984).

La mayoría de los volcanes entran en erupción en intervalos de tiempo irregulares. El tiempo transcurrido entre dos erupciones se conoce como tiempo de reposo y el tiempo de erupción corresponde a la duración de la misma.

El vulcanismo corresponde a todos los fenómenos relacionados con el ascenso del magma o rocas fundidas desde el interior de la Tierra a la superficie terrestre (Imagen 5-II). Es una de las principales manifestaciones de la energía interna del globo terrestre, y afecta principalmente a las zonas inestables de su corteza (Erupciones Volcánicas). Los volcanes son puntos de relieve que comunican directamente la superficie terrestre con las capas interiores a la corteza, en donde, debido a la elevada temperatura presente, las rocas se funde y emerge a la superficie.

Imagen 5-II. Peligros por erupción volcánica



Fuente: U.S. Geological Survey, 1998.

Durante períodos de actividad, las zonas más débiles de la corteza de la Tierra se rompen por las altas temperaturas y presión, originando así un proceso de erupción, en donde los volcanes expulsan una gran cantidad de materiales ya sean líquidos o semifluidos (lavas), sólidos (cenizas, bombas volcánicas, pequeñas partículas) y gases, éstos últimos pueden ser muy variados y suelen contener azufre, cloro, carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y boro. Todos estos procesos generados en la erupción de un volcán, generan peligros especialmente a las zonas urbanas entorno al volcán, y algunas ocasiones las erupciones violentes rebasan los 100 Km de distancia en el depósito de cenizas.

5.1.1.3 Las Erupciones Volcánicas

Las erupciones volcánicas resultan del ascenso del magma que se encuentra en la parte interna o debajo de un volcán activo. Cuando el magma se acerca o alcanza la superficie,

pierde todos o parte de los gases que lleva en solución, formando gran cantidad de burbujas en su interior. Las erupciones son entonces emisiones de mezclas de magma (roca fundida rica en materiales volátiles), gases volcánicos que se separan de éste (vapor de agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre y otros) y fragmentos de rocas de la corteza. Estos materiales pueden ser arrojados con distintos grados de violencia, dependiendo de la presión de los gases provenientes del magma o de agua subterránea sobrecalentada por el mismo (USGS, 1998).

Cuando la presión dentro del magma se libera a una tasa similar a la que se acumula, es decir, cuando el magma puede liberar los gases en solución con facilidad, el magma puede salir a la superficie sin explotar y se tiene una erupción efusiva. Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen hasta tocarse y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

Las erupciones explosivas pueden producir densas columnas de ceniza que ocasionalmente penetran la estratosfera y alcanzan alturas superiores a los 20 km, estas son las llamadas columnas eruptivas.

5.1.1.4 Tipos de vulcanismo

Es necesario identificar los volcanes, tipo y periodicidad de las erupciones. Existen dos tipos de vulcanismo; el monogenético y el poligenético:

1. Vulcanismo monogenético: es aquel en que la erupción ocurre durante una sola etapa, a través de una fisura o boca y construye un pequeño edificio en forma de cono, cono escoriáceo, domo o volcán escudo. Su duración es aproximada y varía de meses a 10 años y es predominantemente efusiva.
2. Vulcanismo poligenético: es aquel en el cual se forman edificios volcánicos por la acumulación de materiales emitidos por varias erupciones a lo largo del tiempo

geológico. Se producen erupciones con un rango amplio de intensidades. Construye edificios tipo estratovolcán y grandes calderas.

En la Tabla 5-IV se mencionan los tipos de erupciones, el tipo de volcán que las presenta y algunas otras características típicas.

Tabla 5-IV. Tipos de erupciones y naturaleza de la actividad volcánica

Tipo de erupción	Magma	Actividad efusiva	Explosividad	Tipo de volcanes
Hawaiana	Caliente (más de 1200°C) baja viscosidad	Lavas extensas a partir de fisuras	Baja	Volcanes escudo, planicies lávicas y erupciones fisurales
Estromboliana	Intermedio, mixto, viscosidad moderada	Lavas escasas, poco extensas	Variable	Conos de lavas y cenizas abruptos
Vulcaniana	Frío (menos de 900°C), viscoso	Lavas escasas, Piroclastos abundantes	Moderada a violenta	Estratovolcanes y calderas
Pliniana y Peleana	Frío (menos de 900°C), muy viscoso	Piroclastos y domos	Muy violenta	Estratovolcanes y calderas

Fuente: U.S. Geological Survey, 1998

Actualmente, una de las formas más aceptadas de cuantificar únicamente las erupciones explosivas (no válida para erupciones efusivas), es la escala del Índice de Explosividad Volcánica (VEI, por sus siglas en inglés). El Índice de Explosividad Volcánica o IEV, es una escala de 8 grados con la que los vulcanólogos miden la magnitud de una erupción volcánica. El índice es el producto de la combinación de varios factores mensurables y/o apreciables de la actividad volcánica. Por ejemplo, se considera el volumen total de los productos expulsados por el volcán (lava, piroclastos, ceniza volcánica), altura alcanzada por la nube eruptiva, duración de erupción, inyección troposférica y estratosférica de productos expulsados, y algunos otros factores sintomáticos del nivel de explosividad. Esta escala fue definida por CENAPRED, 2008 (Tabla 5-III), y es una escala compuesta en la que se toman en cuenta diversas características de una erupción como son: el volumen de magma emitido, la energía térmica liberada, el alcance de los productos fragmentados, el

grado de destrucción causada, la altura de la columna eruptiva, la duración de la erupción, etcétera.

Tabla 5-V. Escala del índice de explosividad volcánica.

VEI	Descripción	Volumen emitido (m3)	Altura de la columna (km)	Duración en horas	Inyección a troposfera	Inyección a la estratosfera
0	No Explosiva	<10,000	0.1	-1	Mínima	Nula
1	Pequeña	10000	0.1-1	-1	Leve	Nula
2	Moderada	1 a 10	1-5	1-6	Moderada	Nula
3	Moderada a	10 a 100	3-15	1-6	Sustancial	Posible
4	Grande	100 a 1,00	10-25	1-12	Grande	Definida
5	Muy grande	1 a 10 km3	>25	6-12	Significativa	5
6		1 a 100 km3		>12		Grande
7		1 a 1,000				
8		> 1,000 km3				

Fuente: CENAPRED, 2008.

5.1.1.5 Volcanes de México

En México gran parte del vulcanismo está relacionado con la zona de subducción formada por las placas de Rivera y Cocos con la gran placa Norteamericana, y tiene su expresión volcánica en el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) También conocido como Faja Volcánica Mexicana (FVM). Este Cinturón es una elevación volcánica con orientación este-oeste, que se extiende más de 1,200 km y su ancho varía de 20 a 150 km (Macías, 2005).

El CVT, situado sobre el paralelo 19°, alberga a los principales volcanes activos del país. Su vulcanismo es extremadamente variado, desde actividad efusiva cuyos productos más importantes son los derrames de lava, hasta erupciones altamente explosivas con predominio de depósitos piroclásticos tanto de flujo como de caída. Éste se caracteriza por la diversidad de volcanes, desde grandes estratovolcanes hasta extensos campos de

pequeños conos de cenizas y volcanes escudo. Sin embargo, existen otros centros eruptivos en el país que no pertenecen al CVT, como son los volcanes del estado de Chiapas, el volcán Tres Vírgenes en Baja California, cuyo mecanismo de formación es de otro origen (Macías, 2005).

En México hay más de 2,000 volcanes, de los cuales alrededor de 15 se consideran activos o peligrosos.

De acuerdo con el catálogo de Volcanes de México del Smithsonian Institution (Siebert *et al*, 2003), existen en México 68 volcanes y campos volcánicos clasificados como Cuaternarios o geológicamente recientes (volcanes formados durante la era en que aparece el Hombre, y que comprende los últimos 1.8 millones de años). De especial importancia son los volcanes que han mostrado actividad en los últimos 10,000 años, periodo al que se denomina “Holoceno” (Macías, 2005).

Los volcanes se clasifican, para efectos del análisis de peligro, de acuerdo con criterios relacionados con sus tasas eruptivas y con las magnitudes que han sido capaces de producir (CENAPRED, 2001).

La tasa de erupción promedio en México durante los últimos 500 años ha sido de unas 15 erupciones de diversos tamaños por siglo. Si bien la mayoría de esas erupciones han sido de magnitudes bajas, otras han sido destructivas en grado moderado, como las del volcán de Colima de 1818 y 1913, o las del San Martín Tuxtla de 1664 y 1793, o en mayor grado, como la ocurrida en el volcán el Chichón en 1982, que causó numerosas víctimas, devastó 150 km² de áreas boscosas y de cultivo y destruyó varios miles de cabezas de ganado (Macías, 2005).

Otras erupciones, como el nacimiento del volcán monogenético Parícutín, produjeron flujos de lava que provocaron la destrucción de poblaciones y tierras cultivables, pero sin causar víctimas.

Casos análogos de volcanes monogenéticos recientes son el Jorullo, que nació en Michoacán en 1759, y el Xitle, que nació en el valle de México, hace aproximadamente 1,670 años. Los efectos de los flujos de lava del Xitle pueden apreciarse muy claramente en la zona arqueológica de Cuicuilco en el sur de la Ciudad de México (Martínez, et. al., 2004).

Los 68 volcanes y campos volcánicos Cuaternarios de México se han clasificado bajo los siguientes criterios (Macías, 2005).

Categoría 1. Se consideran de peligro alto los volcanes que hayan producido erupciones con un Índice de Explosividad Volcánica (VEI por sus siglas en inglés) igual o mayor a 3 con un tiempo medio de recurrencia de 500 años o menos, o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 500 años.

Categoría 2. Se consideran de peligro medio los volcanes que hayan producido erupciones con VEI igual o mayor a 3 con un tiempo medio de recurrencia mayor que 500 pero menor que 2,000 años, o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 500 a 2,000 años.

Categoría 3. Se consideran de peligro moderado los volcanes que hayan producido erupciones con VEI igual o mayor a 3 con un tiempo medio de recurrencia mayor que 2,000, pero menor a 10,000 años, o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 2,000 a 10,000 años.

Categoría 4. Se consideran de peligro latente los volcanes que hayan producido erupciones con VEI mayor a 4 con un tiempo medio de recurrencia mayor a 10,000 años, o que hayan producido al menos una erupción con VEI mayor a 4 en los últimos 100,000 años.

Categoría 5. Se consideran de peligro indefinido los volcanes que hayan producido erupciones con VEI igual o mayor que 3, con un tiempo medio de recurrencia indeterminado (esto es, que sólo exista un dato), o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 en algún momento de su historia holocénica (últimos 10,000 años).

Una última categoría se le ha clasificado como “volcanes con información insuficiente”. Aunque es muy improbable que los volcanes de ésta representen un nivel significativo de peligro, deben ser estudiados para contar con los elementos mínimos para su evaluación definitiva, la que sólo podrá realizarse cuando se cuente con los elementos geológicos que definan las probabilidades de erupción de estos volcanes.

5.1.1.6 Peligros volcánicos

Los volcanes producen una amplia variedad de peligros o amenazas capaces de matar gente y destruir propiedades. Las grandes erupciones explosivas pueden poner en peligro a la población y a las propiedades a cientos de kilómetros de distancia y afectar, incluso, el clima global. Algunos de los peligros volcánicos que se describen a continuación, como las avalanchas (también denominados “derrumbes gigantes”) o los flujos (o “crecidas” o “corrientes”) de lodo o lahares pueden ocurrir aun cuando el volcán no se encuentre en erupción (USGS,1998).

Los peligros volcánicos incluyen:

1. Columnas y nubes volcánicas
2. Flujos de lava y piroclásticos
3. Desprendimientos de tierras
4. Terremotos
5. Erupciones explosivas

5.1.1.6.1 Columnas y nubes volcánicas

Una erupción explosiva expulsa hacia la atmósfera fragmentos de roca sólida y fundida (tefra), así como gases volcánicos con una fuerza tremenda. Los fragmentos más grandes de roca (bombas o proyectiles balísticos) pueden caer a distancias de 4 kilómetros del cráter o centro de emisión. Los fragmentos más pequeños (menores a 2.5 mm de diámetro) de vidrio volcánico, minerales y roca (ceniza), se elevan muy alto en el aire, formando una enorme y turbulenta columna eruptiva. Las columnas eruptivas pueden crecer rápidamente y alcanzar más de 20 kilómetros sobre el volcán en menos de 30 minutos, formando una nube eruptiva. La ceniza volcánica de la nube puede poner en serio peligro a la navegación aérea. Las nubes eruptivas grandes pueden extenderse cientos o miles de kilómetros en la dirección del viento, y producir lluvias de ceniza sobre áreas de gran extensión; el viento transporta las partículas de ceniza más pequeñas a mayores distancias. La lluvia de ceniza intensa puede colapsar o derribar edificios, e incluso la lluvia menor de ceniza puede dañar cultivos, sistemas electrónicos y maquinaria.

5.1.1.6.2 Gases volcánicos

Los volcanes emiten gases durante las erupciones. Incluso si el volcán no está en erupción, las grietas del subsuelo facilitan el movimiento de los gases hacia la superficie a través de pequeñas aberturas llamadas fumarolas. Más del noventa por ciento de todo el gas emitido por los volcanes es vapor de agua, la mayoría de la cual es agua subterránea calentada (proveniente de lluvias y ríos). Otros gases volcánicos comunes son el bióxido de carbono,

el bióxido de azufre, el anhídrido sulfhídrico y el flúor. El gas bióxido de azufre puede reaccionar con las gotas de agua de la atmósfera y producir lluvia ácida, lo cual ocasiona corrosión y daños a la vegetación. El bióxido de carbono es más pesado que el aire, por lo que puede asentarse o mantenerse en áreas bajas en concentraciones letales para la gente y los animales. El flúor, que en altas concentraciones es tóxico, puede ser adsorbido por partículas de ceniza volcánica que caen más tarde sobre el suelo. El flúor sobre las partículas puede envenenar el ganado que se alimenta de pastos cubiertos de ceniza y también puede contaminar los suministros de agua potable.

5.1.1.6.3 Flujos y domos de lava

La roca fundida (magma) que emerge o se derrama sobre la superficie de la tierra se llama lava y forma flujos de lava. A mayor contenido de sílice (bióxido de silicio, SiO_2), la lava tendrá menor fluidez. Por ejemplo, la lava basáltica con bajo contenido de sílice puede formar corrientes de movimiento rápido (de 16 a 48 kilómetros por hora) o se puede esparcir en amplias capas delgadas de hasta varios kilómetros de amplitud. En contraste, los flujos de lava de andesita y dacita, más altos en sílice, tienden a ser espesos y lentos, viajando solamente distancias cortas desde el punto en que son emitidos. Las lavas de dacita y riolita son frecuentemente estrujados fuera del conducto volcánico para formar montículos irregulares llamados domos de lava.

5.1.1.6.4 Flujos piroclásticos (flujo caliente de cenizas)

Las avalanchas de alta velocidad de ceniza caliente, fragmentos de roca y gas pueden descender por los flancos de un volcán durante erupciones explosivas o cuando un domo de lava que está creciendo se colapsa y se rompe en pedazos. Estos flujos piroclásticos pueden alcanzar temperaturas de 900 C y moverse a velocidades de 160 a 240 kilómetros por hora.

Estos flujos tienden a seguir el curso de los valles, cauces, barrancas y quebradas, y son capaces de derribar y quemar todo en su camino. Los flujos piroclásticos de densidad

menor, llamados sugerencias u oleadas piroclásticas, pueden cubrir o saltar fácilmente crestas de más de 100 metros de altura.

5.1.1.6.5 Deslizamiento o derrumbes volcánicos

Un deslizamiento o avalancha de escombros es un movimiento rápido pendiente abajo de material rocoso, nieve y/o hielo. Los deslizamientos volcánicos varían en tamaño, desde movimientos pequeños de escombros poco consolidados hasta colapsos masivos de la cima completa o de los flancos de un volcán. Los volcanes de pendientes inclinadas son propensos a los deslizamientos o derrumbes porque están contruidos parcialmente de capas de fragmentos de roca suelta. Algunas rocas de volcanes también han sido transformadas en minerales de arcilla resbalosa debido al constante ataque del agua subterránea ácida y caliente. Los deslizamientos de las pendientes de los volcanes se desatan cuando las erupciones, la lluvia intensa o los terremotos de gran magnitud causan que estos materiales se rompan y se muevan pendiente abajo.

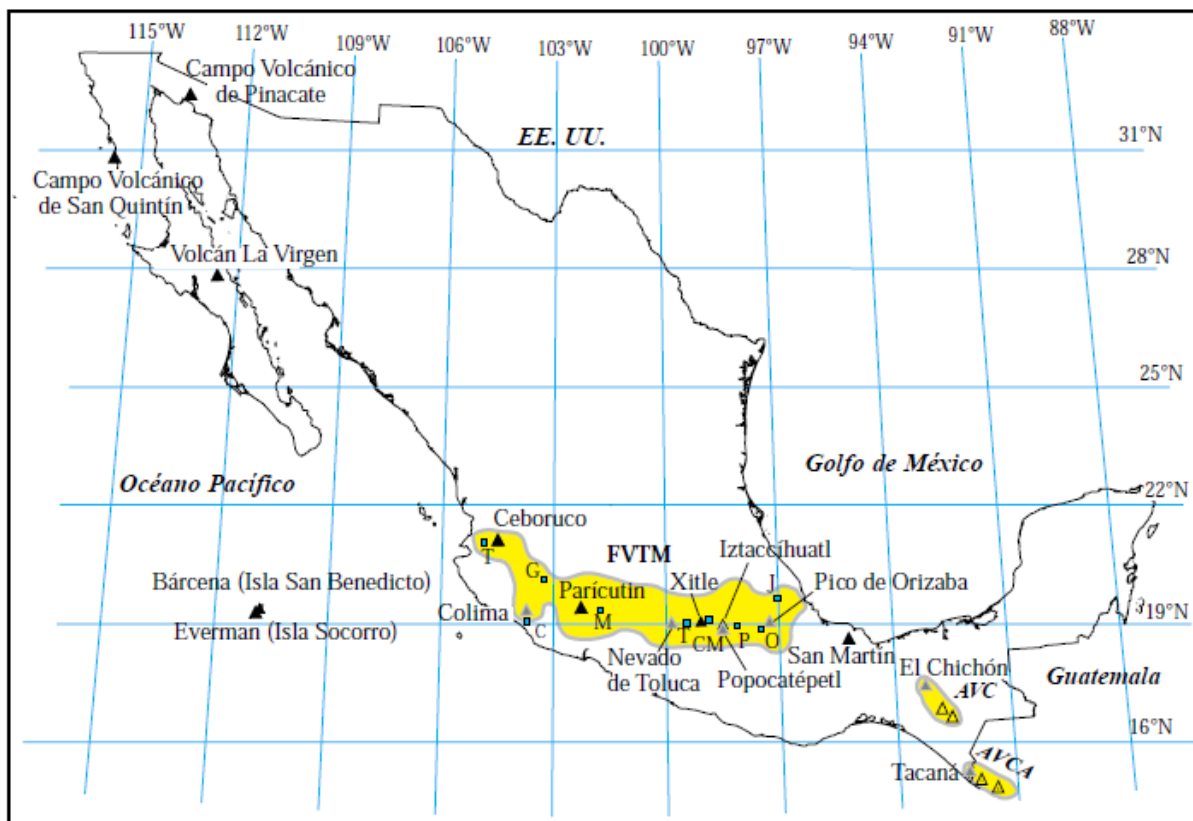
Los flujos de lodo o flujos de escombros que están compuestos principalmente de materiales de los flancos de un volcán se denominan lahares. Estos flujos de lodo, roca y agua, y pueden bajar torrencialmente por los valles, barrancas, quebradas y corrientes de agua pueden recorrer más de 80 kilómetros a velocidades de 32 a 65 kilómetros por hora. Algunos lahares contienen una cantidad tan elevada de detritos (del 60 al 90% en peso), que parecen ríos rápidos de concreto húmedo. Lejos de su fuente, estos flujos pueden inundar con lodo todo a su paso.

Históricamente, los lahares han sido uno de los peligros volcánicos más mortíferos, y pueden ocurrir durante una erupción o incluso cuando el volcán está tranquilo. El agua que crea los lahares puede provenir de la nieve o del hielo que se están derritiendo (en especial, agua de un glaciar derretido por un flujo piroclástico o por una oleada piroclástica), o de lluvias intensas o del rompimiento de un lago situado en un cráter elevado.

5.1.1.7 Ubicación de volcanes activos entorno al Municipio de Tecolotlán.

La mayor concentración de volcanes en México se encuentra en el Eje Volcánico Transmexicano (EVTM), en donde se tiene una gran variedad de formas volcánicas como conos monogenéticos, estratovolcanes majestuosos con elevaciones en torno a los 4,000 m, volcanes en escudo, volcanes compuestos, calderas, flujos de lavas, fisuras y domos (Imagen 5-III).

Imagen 5-III. Principales volcanes activos de México.



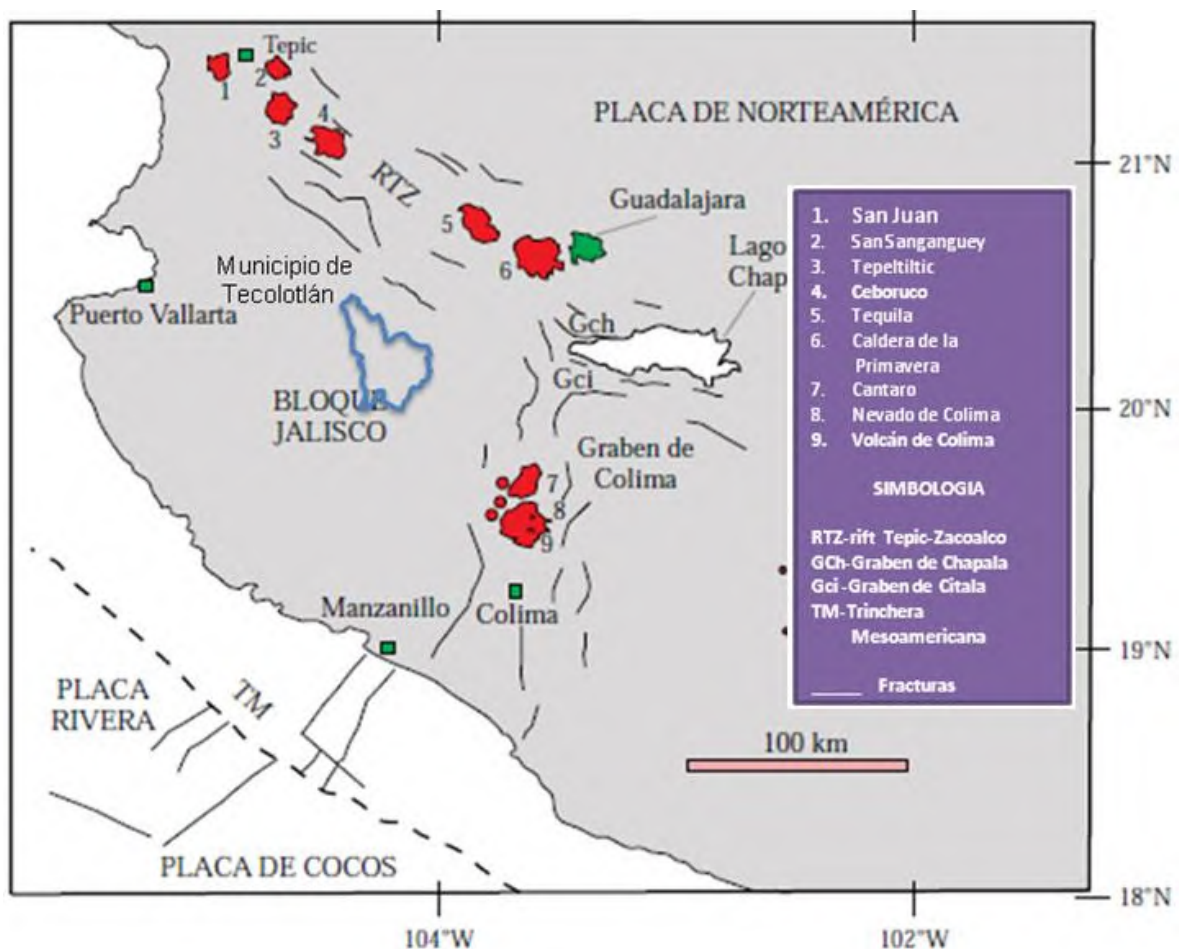
Fuente: Macías, 2005.

Desde un punto de vista tectónico, la porción NW de la EVTm está sujeta a la subducción de la placa Rivera por debajo de la placa de Norteamérica y a la presencia de un triple sistema de Rift: el Rift de Tepic-Zacoalco al noroeste, el Rift de Chápala al este y el graben

de sur (Luhr et al., 1995; Garduño y Tibaldi, 1990) (Figura 5.1.1.5.2.). Los primeros dos sistemas delimitan al norte y al este el llamado bloque Jalisco, y se consideran antiguas estructuras corticales reactivas por efecto de las fuerzas aplicadas en los límites de placas.

El Municipio de Tecolotlán se encuentra ubicado entre los dos volcanes activos del Occidente de México que son: El Ceboruco y el volcán de fuego localizado entre Jalisco y Colima como se muestra en la Imagen 5-IV.

Imagen 5-IV. Principales volcanes activos entorno al Municipio de Tecolotlán.



Fuente: Macías, 2005.

5.1.1.8 Historia de las erupciones volcánicas.

Para comprender el grado de peligro de un volcán entorno al Municipio de Tecolotlán, es necesario llevar a cabo la recopilación y análisis de información de la historia eruptiva de los volcanes activos más próximos al Municipio de Tecolotlán.

5.1.1.8.1 Volcán Ceboruco

El Volcán Ceboruco se localiza en la porción noroeste de la República Mexicana, en el estado de Nayarit, formando parte del sector occidental de la Faja Volcánica Mexicana y el Graben de Tepic. Sus coordenadas son 21° 07' 30" latitud norte y 104° 30' longitud oeste, con una altura de 2 280 msnm (Suárez y Saavedra).

El volcán se considera uno de los volcanes activos del país, contando con un reporte en actividad histórica en el año de 1870, erupción que tuvo una duración de cinco años 1870-1875 (Iglesias, 1877), los anteriores eventos eruptivos no se cuenta con registros escritos.

5.1.1.8.1.1 Actividad eruptiva histórica

La actividad eruptiva del volcán se ha caracterizado de acuerdo con Nelson (1980) y Demant (1979) como una actividad cíclica de tipo eruptivo-explosivo con emisiones de grandes cantidades de ceniza y pómez, derrames gruesos de lava de tipo riólitico, dacítico y andesítico y flujos piroclásticos.

Los estudios anteriores realizados sobre el peligro en el Ceboruco, se referencian a los de Nelson (1980), en el que da una estimación futura de riesgo por erupciones a una escala regional.

En febrero de 1870 da inicio la última actividad del Ceboruco con la emisión de nubes de vapor seguidas de grandes explosiones con "derrames de cenizas" en el sector SW del Volcán, posteriormente se da el emplazamiento de lava y productos piroclásticos; el avance de derrame fue de 5 a 7 km. y duró 2 años.

Desde la erupción de 1870-72 el volcán Ceboruco ha presenta una calma aparente, presentando en todo su entorno calderico una serie de solfataras, las cuales manifiestan una actividad latente.

De acuerdo a los registros de la última erupción ocurrida en el año 1870. Nelson, 1980 presentó datos, de por lo menos, ocho erupciones en los últimos 1,000 años resultando con una periodicidad promedio de una erupción cada 125 años (<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal4/Nuevastecnologias/Cartografia tematica/01.pdf>). Este volcán se localiza aproximadamente a 100 Km del Municipio de Tecolotlán, y sus características principales se muestran en la Tabal 5-VI.

Tabla 5-VI. Registro histórico de la actividad eruptiva del Volcán Ceboruco.

Estratovolcán andesítico, Altura: 2,280 msnm	Localización: 21.13° N, 104.51° O (NAYARIT)
Fecha (D/M/A) c. 1000 D.C.	Tipo de erupción y efectos: Gran erupción pliniana produjo abundante lluvia de ceniza y flujos piroclásticos. Se ignoran daños.
16/02/1870	Erupción con emisión de ceniza y lava.
1870-1875	Erupción efusiva produce grandes flujos de lava que alcanzan un volumen de 1.1 km ³ , causando la destrucción de algunas tierras cultivables. Actualmente el Ceboruco se encuentra en reposo, mostrando solamente leves fumarolas en el interior de su cráter.

Fuente: CENAPRED, 2014.

5.1.1.8.1.2 *Caída de cenizas*

De los diferentes tipos de erupciones (centrales o por conos adventicios) que el volcán Ceboruco ha tenido durante su evolución geológica, este ha presentado una variación en la composición química de los derrames, que va desde riolíticos hasta andesíticos. Los productos de composición riolítica se presentaron de acuerdo con Nelson (1980) hace 1000 años, dando lugar al emplazamiento de estructuras adventicias y una fase pliniana que emitió grandes cantidades de pómez que cubren el sector Nororiental de la zona.

Los efectos de las caídas de ceniza varían dependiendo del volumen del material expulsado, tamaño, la duración o intensidad de la erupción y la dirección de los vientos dominantes al suceder ésta.

La dirección de los vientos dominantes en la zona del Volcán Ceboruco son de W-E durante la mayor parte del año, con velocidades que varían de los 33 Km/H en el mes de Marzo, a 14 y a 16 Km/H en los meses febrero y septiembre y menores a los 10 Km/H en los restantes meses, a excepción del mes de mayo en que toma una dirección SSE y una velocidad de 10 Km/H. (Tomado de: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal6/Geografiasocioeconomica/Ordenamientoterritorial/28.pdf>)

5.1.1.8.2 Volcán de Colima

El volcán de Fuego de Colima, (3860 m sobre el nivel del mar) es un estratovolcán andesítico (Imagen 5-V) que forma parte, junto con el Nevado de Colima (4330 msnm), de un complejo volcánico situado en el Cinturón Volcánico Transmexicano y cuyas coordenadas geográficas (19°30'44"N y 103°37'02"W) lo sitúan entre los Estados de Colima (municipios de Cómala y Cuauhtémoc) y Jalisco (municipios de Tuxpan, Zapotitlán y Tonila).

El volcán de fuego de Colima se encuentra a 80 Km en línea recta del Municipio de Tecolotlán, es el volcán más activo cerca del municipio en estudio (Imagen 5-V).

5.1.1.8.2.1 Historia eruptiva del Volcán Colima.

A lo largo de 500 años, el volcán ha tenido más de 40 explosiones desde 1576, de entre las cuales destacan las de 1585, 1606, 1622, 1690, 1818, 1890, 1903, 1913 (el 13 de enero de ese año se cerró el cuarto ciclo de actividad) y 1999. El 6 de junio del 2005, a las 11.00 (hora local), se produjo una columna eruptiva que alcanzó 4 km sobre el volcán, arrojó cenizas de roca y piroclastos, y desde principios de enero del 2013 se ha clasificado en actividad creciente (se produjo una explosión estruendosa el día 29). Su ciclo eruptivo es de aproximadamente 100 años; en 2015 comenzó a presentar un aumento en su actividad que está en constante vigilancia.

Imagen 5-V. Volcán de Fuego de Colima.



Fuente: Breton, 2012.

La erupción de 1913 es el evento más importante que sufrió el volcán en el siglo XX y quizá una de las más violentas registradas en su historia eruptiva. La actividad ocurrida en enero de 1913 puso de manifiesto el peligro potencial del volcán más activo de México por el número de erupciones registradas en los últimos cinco siglos. Las características y la historia eruptiva del volcán de fuego se presentan en la Tabla 5-VII.

Tabla 5-VII. Historia eruptiva del Volcán de Colima.

Volcán de fuego de Colima-Jalisco	
Tipo	Localización
Estrato volcán andesítico Altura: 3,820 msnm	19.51° N, 103.62° O (JAL-COL.)

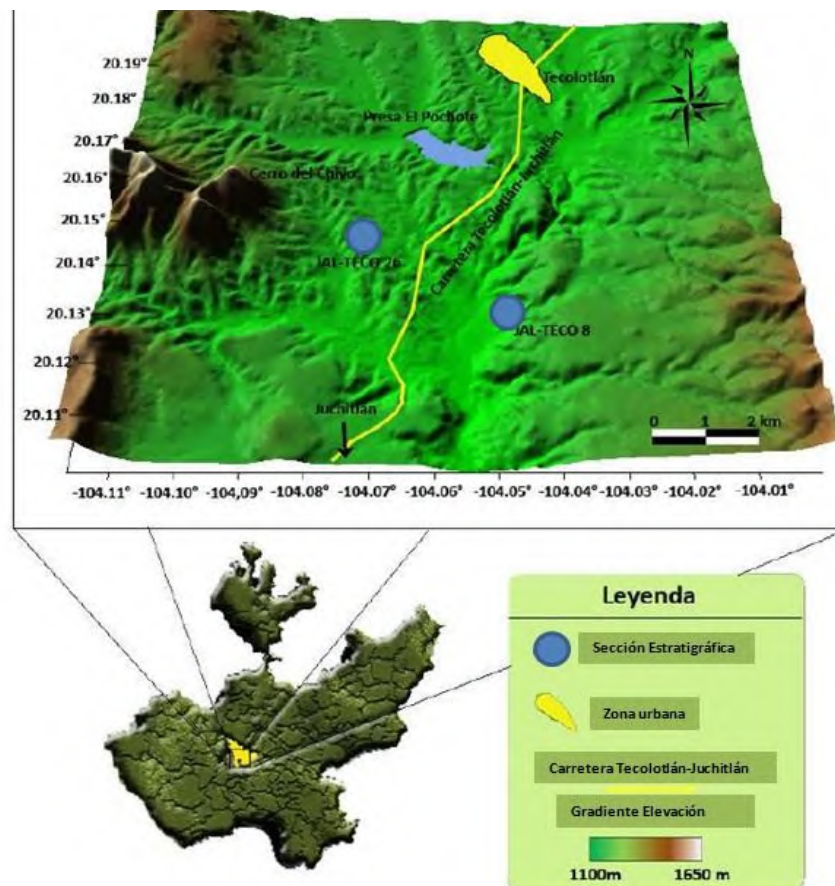
HISTORIA ERUPTIVA	
Fecha (D/M/A)	Tipo de Erupción y efectos
1560	Erupción menor poco documentada.
1576	Abundante caída de ceniza, estragos, posibles pérdidas humanas.
10/01/1585	Abundante caída de ceniza a distancias de hasta 100 km. Se reporta gran pérdida de ganado
14/01/1590	Erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza.
25/11/ y 13/12/1606	Erupciones grandes, con abundante caída de ceniza hasta Michoacán.
15/04/1611	Actividad explosiva con abundante lluvia de ceniza.
08/06/1622	Gran erupción con intensas lluvias de cenizas a distancias de 200 km.
1690 y 1771	Erupciones explosivas con importantes lluvias de ceniza.
1795	Erupción con emisiones de lava.
25/03/1806	Flujos de bloques y ceniza.
15/02/1818	Gran erupción con extensas lluvias de ceniza, que llegan hasta Guadalajara, Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí y la Ciudad de México.
12/06/1869	Varias erupciones forman un nuevo cono adventicio en el flanco NE del volcán (Volcancito).
26/02/1872	Erupción explosiva del Volcancito, con abundante lluvia de ceniza.
06/01/1886, 26/10/1889	Erupciones explosivas con lluvias de ceniza y flujos de lava.
16/02/1890.	Erupción explosiva importante, con lluvia de ceniza sobre distancias mayores de 100 km
1891-1893	Repetidas erupciones con frecuentes emisiones moderadas de ceniza. Se instala un observatorio vulcanológico
15/02 al 31/03/1903	Erupción explosiva con lluvias de ceniza al N y NE del volcán y flujos piroclásticos.
18/12/1908, 04/02/1909	Erupciones explosivas, lluvias de ceniza. Fragmentos incandescentes lanzados, causan incendios en las faldas de los volcanes.
20/01/1913	Gran erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza y flujos piroclásticos. Algunas víctimas.
1960	Se inicia un nuevo episodio de crecimiento de domo.
14/02/1991	La recientemente instalada Red Sísmica de Colima detecta una considerable actividad sísmica en el volcán de Colima. Se alerta a los sistemas de protección civil de Colima, Jalisco y Nacional.

01/03/ al 17/04/1991	Se inicia la extrusión de un domo de lava, que genera numerosas avalanchas de rocas incandescentes y algunos flujos de bloques y ceniza sobre los flancos Sur y Suroeste del volcán. Se toman medidas preventivas que incluyen simulacros de evacuación.
21/07/1994	La red de monitoreo volcánico RESCO detecta un incremento en la actividad sísmica desde el 15 de julio de 1995, que culmina con una explosión el 21 de julio del mismo año alrededor de la media noche que destruye parte del domo y forma un cráter de 135 m de diámetro.
1998	Desde marzo se detecta actividad sísmica creciente. El 17 de noviembre se evacúan las poblaciones más cercanas al volcán. El 20 de noviembre se observa un nuevo domo de lava creciendo en la cumbre. Posteriormente, ocurren derrames de bloques de lava, flujos piroclásticos menores y explosiones.
1999-	Se registran explosiones aisladas. Una mayor ocurre el 10 de febrero, que lanza fragmentos incandescentes y produce incendios en la vegetación de las faldas del volcán y algunos flujos de bloques y ceniza. Se efectúa una segunda evacuación de las poblaciones más cercanas. Otra explosión similar se registra el 10 de mayo de 1999, motivando una tercera evacuación. La actividad de flujos de lava y derrumbes de fragmentos continúa a lo largo de 2000 y 2001. Posteriormente se reduce y en 2003 continúa en un nivel relativamente bajo, aunque aún se detectan explosiones y flujos piroclásticos esporádicos, como el ocurrido el 17 de julio de 2003.
2004	Flujo de lava sobre el costado norte del volcán. El alcance de este flujo fue de dos kilómetros desde la cima.
2005	Ocurrieron 5 de los eventos explosivos más importantes El evento explosivo del día 5 de junio de 2005, a las 14:20 horas (tiempo local) produjo flujos piroclásticos prácticamente en todo el edificio volcánico y levantó una columna de ceniza superior a los 4 kilómetros desde la cima, la cual fue llevada por los vientos al sureste del volcán a una velocidad aproximada de 25 km/h. Durante 2005 el volcán de Colima presentó una actividad explosiva que no superó el VEI 3. Se caracterizó por el desarrollo de domos y su destrucción casi inmediata, a través de explosiones que formaron columnas eruptivas que alcanzaron alturas entre los 4500 y 9000 msnm, así como el desarrollo de flujos piroclásticos que alcanzaron hasta 3.5 km de distancia del cráter. Tras los eventos explosivos, se generaron emisiones de ceniza que se distribuyeron en general hacia los cuatro puntos cardinales, y alcanzaron distancias de hasta 100 km.

2007	A partir de enero de 2007 comenzó a crecer en la cima del volcán un domo de lava de gran tamaño que alcanzó más de 100 m de altura y un volumen estimado en tres millones de m ³ de material expulsado.
2011	Explosión que estuvo precedida por 52 derrumbes en un lapso de 18 horas. Esta explosión originó flujos piroclásticos hacia el norte, oeste y suroeste, volando la parte oeste del domo de lava que se encontraba en la cima.
2012	El 21 de noviembre de 2012 se registró una gran explosión que generó una columna de ceniza volcánica que se elevó más de 3 km de altura. Asimismo, produjo una avalancha de flujo piroclástico que no causó daños a la población aledaña.
2013	El 7 de enero del 2013 se produjo una explosión que generó una columna de ceniza volcánica que se elevó a más de 3 km de altura.
2014	Explosión en el domo del volcán que levantó una columna eruptiva que tuvo una altura cercana a los 5 km . El volumen estimado de este domo y todos los flujos de lava existentes hasta el momento, dan un volumen de lava emitida estimado en cuatro millones de m ³ .
2015	Explosión que alcanzó 3 km , y la ceniza arrojada se expandió a Mazamitla, Zapotiltic, Ciudad Guzmán, Tonila, Tamazula de Gordiano y Valle de Juárez, todas ellas localizadas en el estado de Jalisco. El 16 de enero del 2015 se produjo una columna eruptiva, que arrojó cenizas de roca y flujos piroclásticos. El 21 de enero del 2015 (fecha en que se conmemora el aniversario de un terremoto en el propio territorio colimense) se produjo una columna eruptiva que se alzó 4 km . El viernes 10 de julio del 2015 se presentó una erupción mayor, que obligó a evacuar poblaciones en las zonas contiguas al volcán.

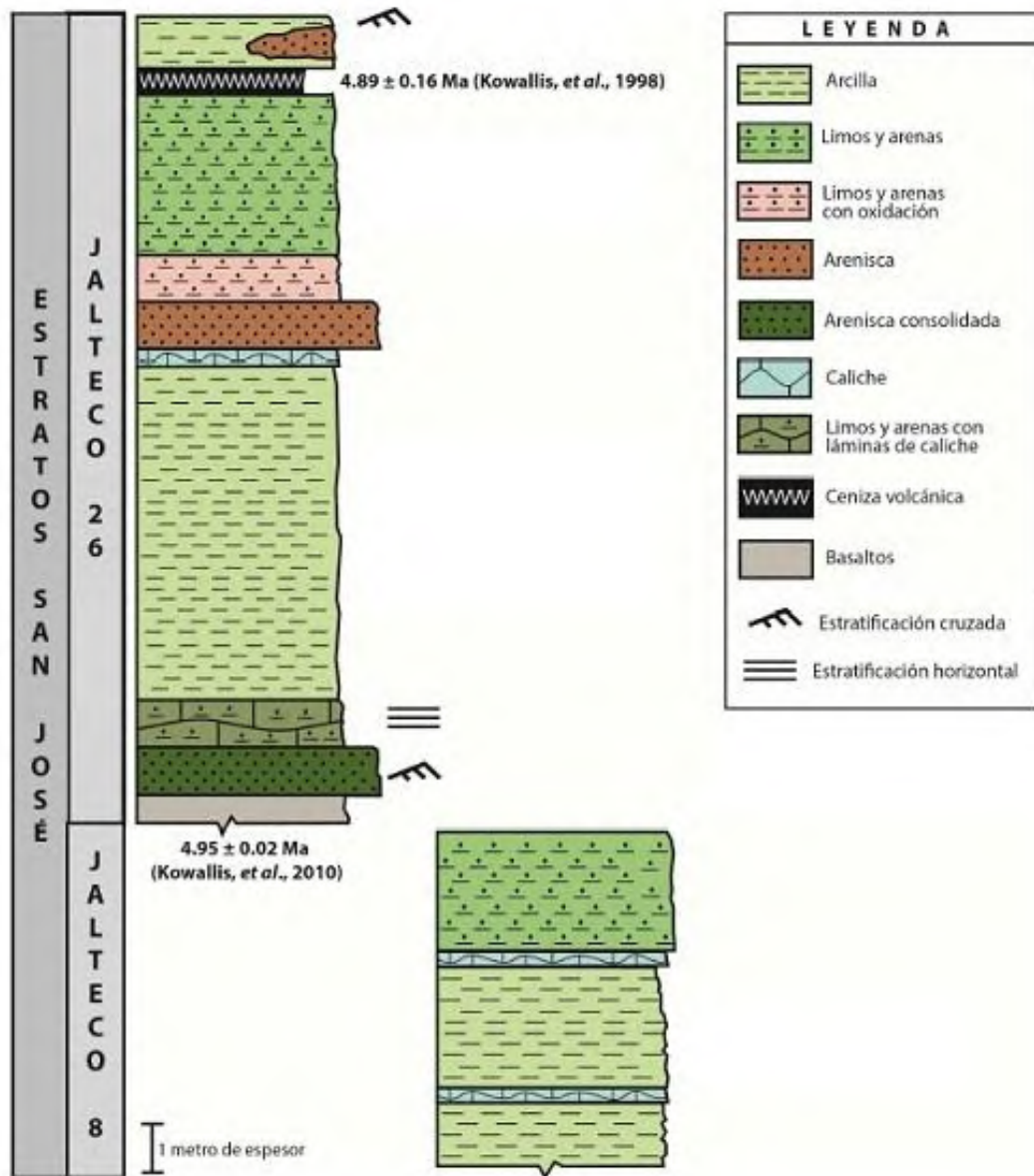
Del análisis de la historia eruptiva del volcán de Colima, llegamos a la conclusión que el peligro que representa para el Municipio de Tecolotlán es el depósito de cenizas Muy Bajo que la distancia del volcán a la cabecera municipal es de aproximadamente 90 Km y 105 Km, y erupciones de este volcán han alcanzado columnas de 3-5 Km y distancia de depósito de cenizas hasta de un radio de 100 km, como lo muestran las columnas estratigráficas obtenidas en el graben de Tecolotlán, de acuerdo a Pacheco (2014) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** e Imagen 5-VII).

Imagen 5-VI. Localización de sitios en donde se tomaron muestras para generar secciones estratigráficas en el graben de Tecolotlán.



Fuente: Pacheco, 2014.

Imagen 5-VII. Secciones estratigráficas en dos puntos del graben de Tecolotlán.



Fuente: Pacheco, 2014.

Esta sección muestra que los espesores depósitos de cenizas volcánicas es muy pequeña, posiblemente menor a 20 cm.

5.1.1.8.2.2 Caída de ceniza

Los efectos de las caídas de ceniza varían dependiendo del volumen del material expulsado, la duración o intensidad de la erupción y la duración de los vientos dominantes al suceder ésta. La dirección de los vientos dominantes en el Volcán de Colima son de SW-NE durante la mayor parte del año, a excepción de los primeros meses en que varían de NW y E; si sumamos estas características de los antecedentes históricos de las erupciones de 1818 y 1913, en que se reportaron caída de ceniza en poblados entorno al volcán y a un radio de 100 Km (Flores, 1987) y la erupción de 1991 en que la ceniza fue distribuida por los vientos hacia el norte, sur y noreste, tal situación nos permiten establecer los escenarios de peligro para este tipo de producto en el Municipio de Tecolotlán y complementar la información proporcionada por Pacheco, 2014.

5.1.1.9 Peligro por vulcanismo en el Municipio de Tecolotlán.

De acuerdo a la información recopilada y al análisis de las erupciones de los dos volcanes más próximos al Municipio, se ha llegado a la conclusión, que por la distancia, direcciones de viento y evidencias encontradas en campo, el único peligro que representa por este fenómeno es la caída y depósito de cenizas.

De esta forma todo el municipio de Tecolotlán, podría ser afectado por lluvia de ceniza en grandes erupciones. Sin embargo el peligro resulta Muy Bajo a Bajo toda vez que los mapas de peligros determinan las áreas de afectación por caída de ceniza poco probable para el Municipio y en él encontramos que el eje de dispersión W-E con velocidades que varían de los 33 Km/H en el mes de Marzo, a 14 y a 16 Km/H en los meses febrero y septiembre y menores a los 10 Km/H en los restantes meses, a excepción del mes de mayo en que toma una dirección SSE y una velocidad de 10 Km/H.

La dirección de los vientos dominantes en el Volcán de Colima son de SW-NE durante la mayor parte del año, a excepción de los primeros meses en que varían de NW y E; y las

características de las dos grandes erupciones (1818 y 1913), en que se reportaron caída de ceniza en poblados entorno al volcán y a un radio de 100 Km y la erupción de 1991 en que la ceniza fue distribuida por los vientos hacia el norte, sur y noreste, tal situación nos permiten establecer los escenarios de peligro para este tipo de producto para Municipio de Tecolotlán y complementar la información proporcionada por Pacheco (2014).

De acuerdo a los primeros modelos obtenidos para una erupción del volcán de Ceboruco se muestra un depósito de cenizas en el Municipio en mm muy pequeño en el que no se podrían tener efectos ni consecuencias.

Para el caso del Volcán de Colima no se observan depósitos de cenizas en el Municipio, de acuerdo al modelo, pero influyen las direcciones de los vientos en el momento de la erupción, que sería el mismo caso del volcán Ceboruco, depósito con espesores muy pequeños. El volcán de Colima se encuentra aproximadamente a 80 Km en línea recta de la cabecera, la nube de erupción de este volcán corre de NE-SW razón para pensar que no puede ser afectado en gran escala por caída de cenizas en una probable erupción de este volcán.

5.1.1.10 Cálculo de espesores por depósito de cenizas

La ceniza volcánica se compone de finas partículas de roca volcánica fragmentada (de menos de 2 mm de diámetro). Esta ceniza suele estar caliente en las inmediaciones del volcán, pero se enfría cuando cae a mayor distancia. Se forma durante las explosiones volcánicas a partir de avalanchas de rocas calientes que bajan por las laderas de los volcanes, o a partir de salpicaduras de lava líquida incandescente. Las cenizas varían en apariencia, dependiendo del tipo de volcán y de la forma de erupción. Así, su color puede ir desde un tono gris claro hasta el negro, y pueden variar en tamaño: desde ser como arenilla hasta ser tan finas como los polvos de talco (Tomás et., al. 2011).

Las cenizas volcánicas son fragmentos de lava que ha sido molida y convertida en polvo o arena por erupciones explosivas. Durante una explosión, los fragmentos más gruesos caen rápidamente en las cercanías del volcán, sólo la ceniza más fina es arrastrada por el viento a grandes distancias que van de cientos hasta miles de kilómetros, y puede afectar áreas muy extensas y a un gran número de personas.

La caída de cenizas puede provocar alguno de los siguientes efectos: el agravamiento de enfermedades pulmonares, trastornos gastrointestinales por la ingestión de agua y alimentos contaminados con flúor y posiblemente con metales pesados (arsénico, mercurio, etcétera); daños oculares como conjuntivitis y abrasiones en la córnea (CENAPRED, 2008).

Las cenizas obstruyen las corrientes de agua, presas, alcantarillas, plantas de aguas residuales y todo tipo de maquinaria. Las cenizas se amontonan en carreteras, vías férreas y senderos y además puede ser resbalosa.

Capas de cenizas de 2 a 3 cm. de espesor pueden causar el colapso de techos con pendientes menores a 20°, así como en estructuras de mala calidad. Las cenizas secas tienen un peso de 400-700 kg/m³, la lluvia puede incrementarlo de un 50 a un 100%. Una capa de cenizas de 10 cm de espesor representará una carga extra de 40-70 kg/m² si está seca, y de 100-125 kg/m² si está húmeda (CENAPRED, 2008).

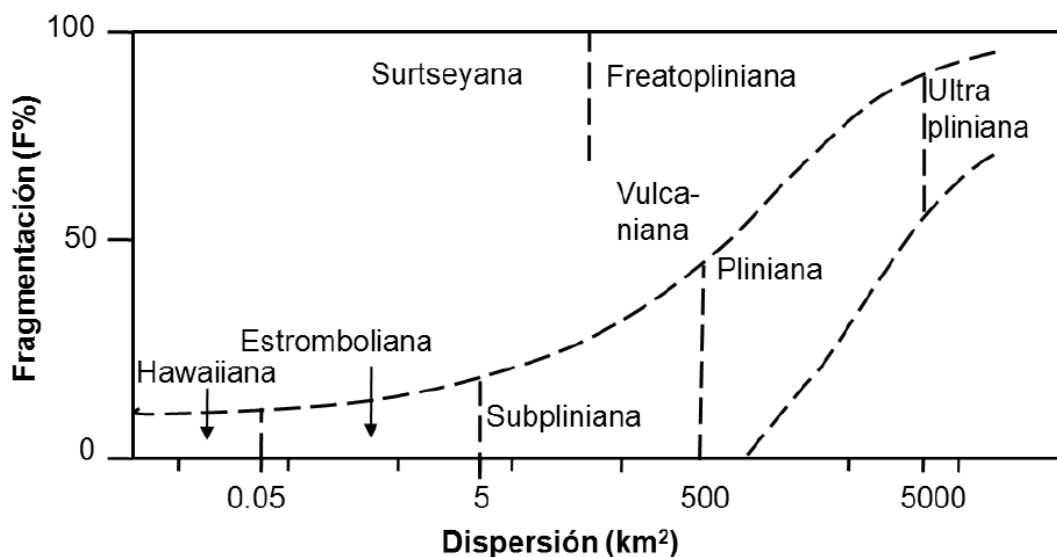
Una densa caída de cenizas altera el suministro de energía. La repentina demanda multitudinaria de luz puede hacer que el servicio eléctrico se agote o falle. Los equipos electrónicos pueden sufrir importantes daños, cortocircuitos e interferencias de radio y televisión.

Los efectos sobre la agricultura dependen del tipo de cultivo, de su grado de desarrollo y evidentemente del espesor de la capa de cenizas caída. Sin embargo, en climas cálidos la vegetación se recupera en muy poco tiempo. Pueden ocasionar accidentes de automóviles (debido a que las carreteras se tornan resbaladizas y disminuye la visibilidad). Finalmente, las cenizas lanzadas en una erupción afectan el tráfico aéreo, ya que al atravesar las nubes de vapor y cenizas, los motores de los aviones pueden apagarse (CENAPRED, 2008).

De las mediciones de la acumulación de cenizas producidas por erupciones recientes de tipo pliniano, se han obtenido en promedio los siguientes espesores: hasta una decena de metros en la zona cercana al cráter (menos de 12 km), de 20 a 50 cm a distancias de entre 12 y 35 km y de 5 a 10 cm hasta distancias de 85 km. Para la determinación del impacto de las cenizas en una región determinada, se requiere información adicional de patrones de viento locales (Martínez et. al., 2004).

El viento y el tipo de erupción son los dos factores principales que controlan la dispersión de la ceniza de un volcán que entra en erupción. El tipo de erupción determinará el volumen y el tamaño de la ceniza (Imagen 5-VIII), así como la variedad de altitudes a la cual la ceniza es propulsada.

Imagen 5-VIII. Distancia alcanzada por la ceniza desde el centro de emisión de acuerdo al porcentaje de fragmentación y tipo de erupción.



Fuente: Martínez, et al. (2004)

Si se adapta la gráfica anterior al Municipio de Tecolotlán, los volcanes entorno a este son de erupción pliniana, generaría una dispersión hasta 500 km², por lo tanto en una gran erupción con IEV mayor a 3, implica el depósito de cenizas dentro del Municipio.

5.1.1.11 *Estimación de peligro de erupciones futuras*

La identificación y la relación de las variables de la vulnerabilidad y el peligro volcánico, a través de sistema de Información Geográfica proporciona la zonificación preliminar del riesgo que plasma las distintas áreas susceptibles a ser afectadas durante una erupción volcánica entorno al sitio de estudio.

5.1.1.12 *Depósito de cenizas ante una máxima erupción volcánica*

De los diferentes tipos de erupciones que los volcanes Ceboruco y Colima han tenido durante su evolución geológica, presentan una variación en la composición química de los derrames, que va desde riolíticos hasta andesítico. Los productos de composición riolíticos

se presentaron de acuerdo con Nelson (1980) hace 1000 años, dando lugar al emplazamiento de estructuras volcánicas y una fase pliniano que emitió grandes cantidades de pómez que cubren el sector Nororiental de la zona del Ceboruco.

Los efectos de las caídas de ceniza varían dependiendo del volumen del material expulsado, tamaño, la duración o intensidad de la erupción y la dirección de los vientos dominantes al suceder ésta. La dirección de los vientos dominantes en la zona del Volcán Ceboruco son de W-E durante la mayor parte del año, con velocidades que varían de los 33 Km/H en el mes de Marzo, a 14 y a 16 Km/H en los meses febrero y septiembre y menores a los 10 Km/H en los restantes meses, a excepción del mes de mayo en que toma una dirección SSE y una velocidad de 10 Km/H. (tomado de <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal4/Nuevastecnologias/Cartografiatematica/01.pdf>).

El peligro para el Municipio de Tecolotlán a una distancia de 100 km y 90 Km (para el volcán Ceboruco y Colima respectivamente) en línea recta representaría una intensidad de peligro, tanto por erupción del volcán Colima y el Ceboruco con espesores de depósito de cenizas muy pequeños como lo demuestran las simulaciones de nubes de cenizas volcánicas tanto para ambos volcanes, a reserva de la información recabada en el campo, se puede decir que el peligro por depósito de cenizas en el Municipio de Tecolotlán es de Bajo a Muy Alto.

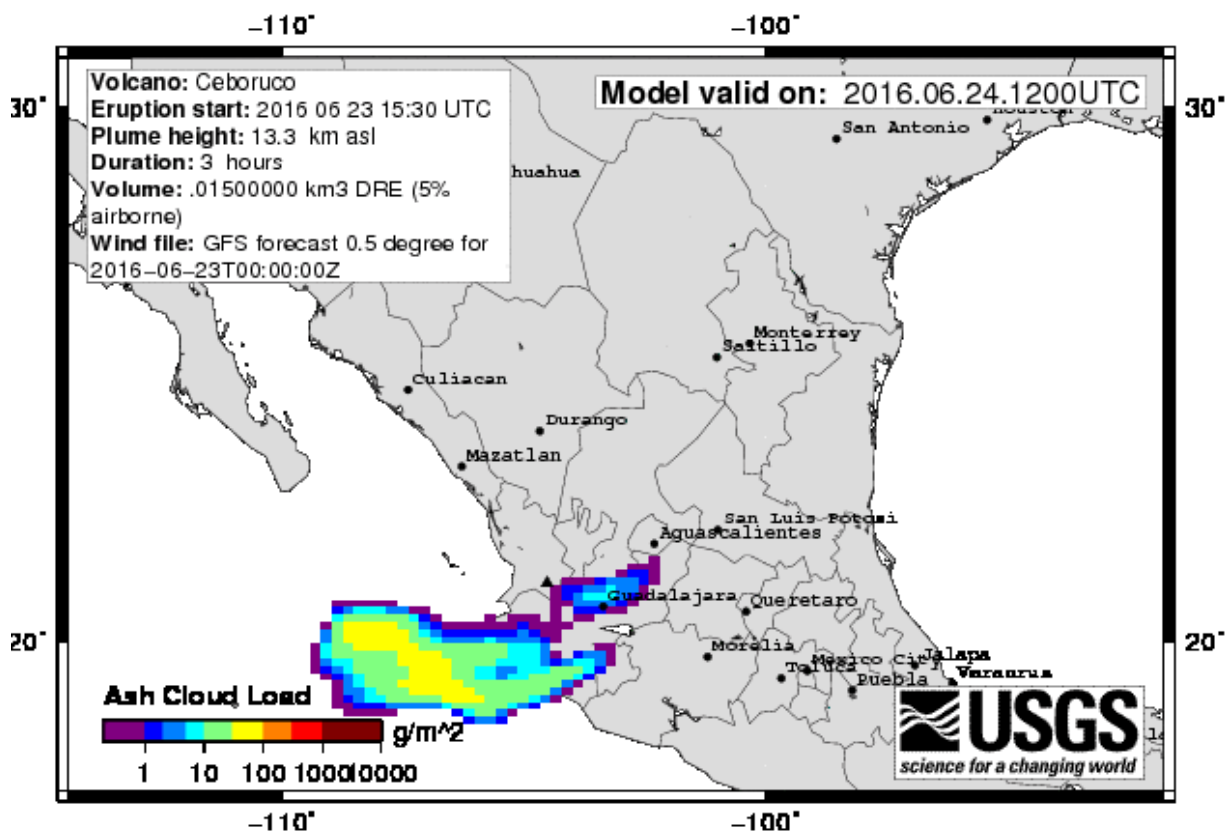
5.1.1.13 Peligros por vulcanismo en el Municipio de Tecolotlán

Se utilizó el programa ASH3D de la United States Geological Survey (USGS) para simular el peligro que representa la expansión de una nube en el momento una erupción con la emisión de material piroclástico entre ellos cenizas volcánicas. El modelo se genera usando la dispersión Ash3D del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Imagen 5-IX).

Las incertidumbres en el modelo significan que ceniza perceptible puede caer fuera del área de pronóstico. Por lo tanto, el modelo debe ser considerado como una

guía general de las zonas afectadas en lugar de un predictor de cantidades tales como el grosor de depósito o de la concentración de cenizas en la nube en un lugar determinado.

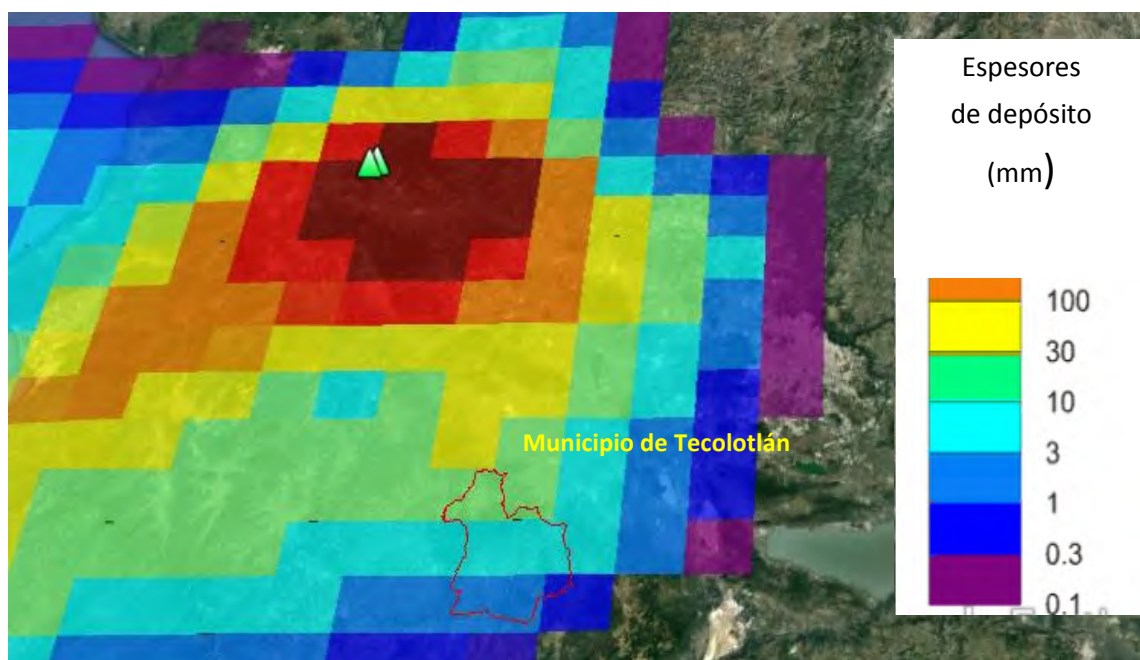
Imagen 5-IX. Dispersión ceniza volcánica en una erupción explosiva del Volcán Ceboruco.



Fuente: Malagón, 2016. Mapa generado usando el programa ash3d de la USGS, 1998.

El peligro real por una actividad volcánica para el Municipio de Tecolotlán es la posible caída de cenizas. El volcán Ceboruco se encuentra aproximadamente a 100 Km en línea recta de la cabecera, razón para pensar que si puede ser afectado levemente por caída de cenizas en un probable erupción de este volcán (Imagen 5-X).

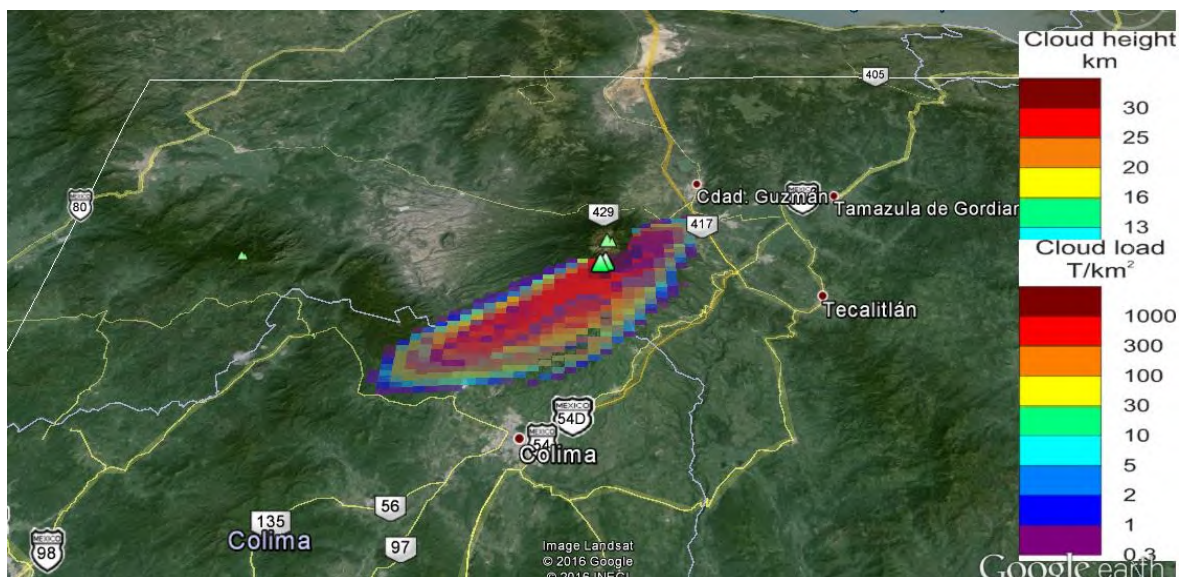
Imagen 5-X. Espesores de depósito de cenizas por erupción del volcán de Ceboruco en el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: Malagón, 2016. Mapa generado usando el programa ash3d de la USGS, 1998.

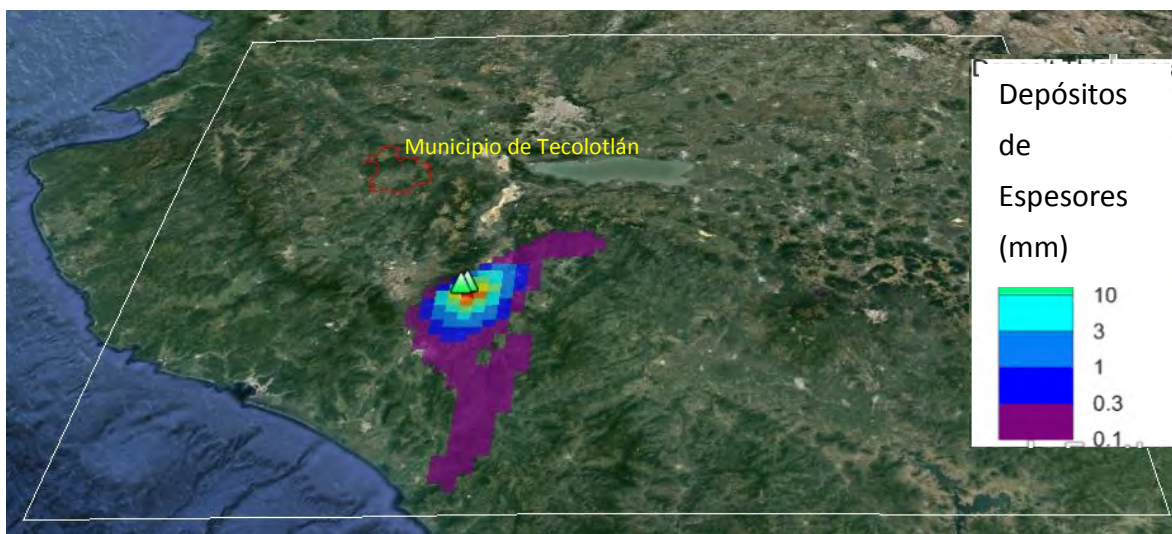
El volcán de Colima se encuentra aproximadamente a 80 Km en línea recta de la cabecera, la nube corre de NE-SW razón para pensar que el Municipio de Tecolotlán no puede ser afectado por caída de cenizas en una probable erupción de este volcán.

Imagen 5-XI. Simulación de expansión de nube volcánica para el volcán Colima.



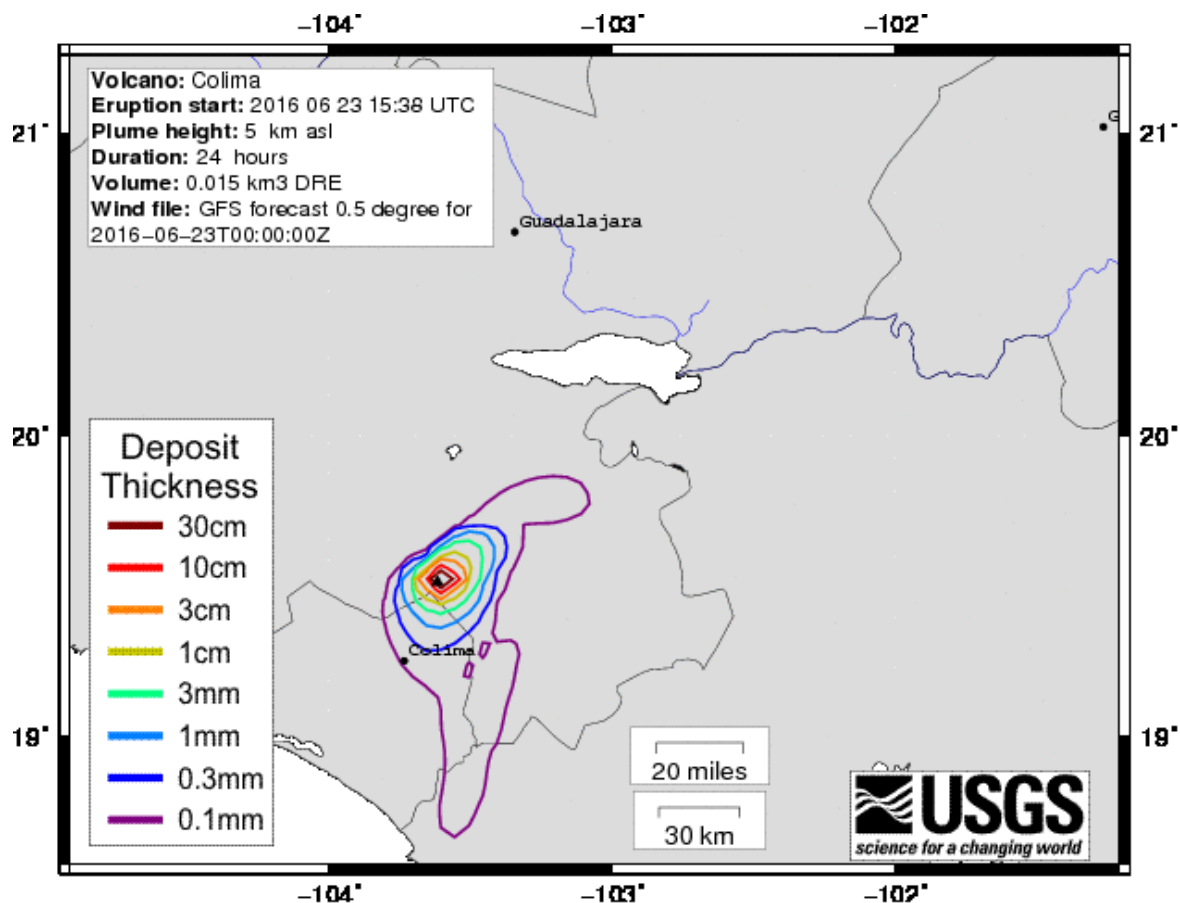
Fuente: Malagón, 2016. Mapa generado usando el programa ash3d de la USGS, 1998.

Imagen 5-XII. Mapa de Peligros por vulcanismo (depósito de cenizas) en el Municipio de Tecolotlán, por el volcán Colima.



Fuente: Malagón.2016. Mapa generado usando el programa ash3d de la USGS, 1998.

Imagen 5-XIII. Configuración de los límites para depósito de cenizas en la erupción del Volcán Colima.



Fuente: Malagón, 2016. Mapa generado usando el programa ash3d de la USGS, 1998.

En la Tabla 5-VIII se muestra los poblados principales del Municipio de Tecolotlán con espesores de depósito por caída de cenizas probables.

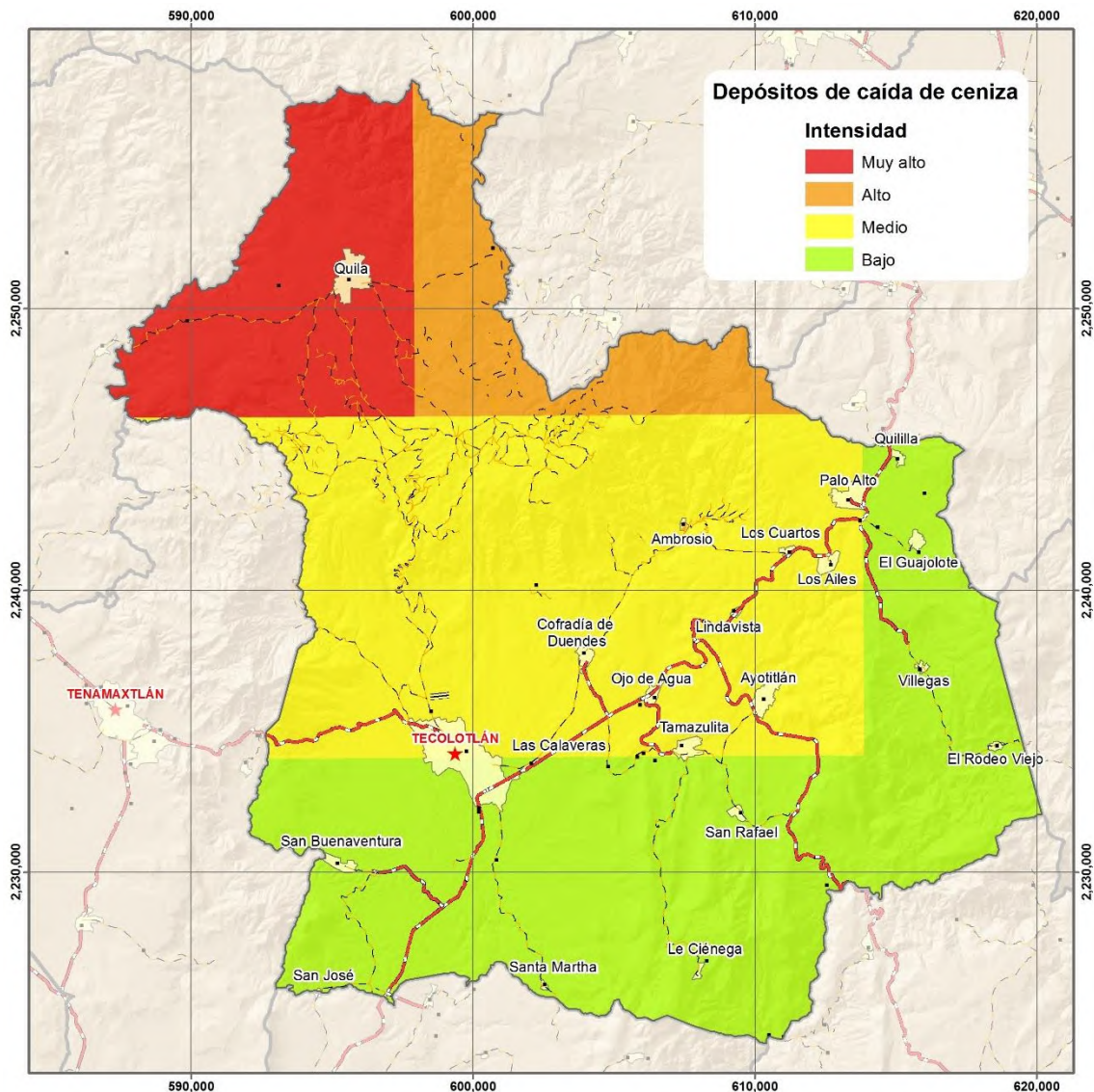
Tabla 5-VIII. Evaluación del peligro por depósito de cenizas en los principales poblados para el Municipio de Tecolotlán.

No.	Poblado	Depósito de cenizas (mm)	Peligro
1	Quila	18.15	Muy Alto
2	Tecolotlán	1.56-5.97	Bajo Medio
3	Tamazulita	5.97	Medio
4	Ayotitlán	5.97	Medio
5	Cofradía de Duendes	5.97	Medio
6	Ambrosio	5.97	Medio
7	Quililla	3.43	Bajo
8	Los cuartos	5.97	Medio
9	Los Ailes	5.97	Medio
10	Villejas	3.43	Bajo
11	El rodeo	5.97	Medio
12	San Rafael	3.43	Bajo
13	Ojo de Agua	5.97	Medio
14	El Rodeo viejo	3.43	Bajo

Fuente: Malagón, 2016.

Con los datos de las figuras anteriores y la tabla se obtuvo el mapa de peligros por depósito de cenizas por erupciones de los volcanes Ceboruco y Colima en el Municipio de Tecolotlán (Imagen 5-XIV).

Imagen 5-XIV. Mapa de peligro por Vulcanismo (depósito de cenizas) en el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG. Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2016.

El mapa de peligro volcánico por depósito de cenizas en el Municipio de Tecolotlán, representa una realidad natural frente a la amenaza en las diversas zonas en el territorio del Municipio. Es importante la utilización del mapa de peligros por depósito de cenizas por una gran erupción del volcán Ceboruco, que se tome en consideración en los planes de emergencia, la planeación del uso del terreno, etc., con la finalidad de mitigar el riesgo.

El mapa de peligro por depósito de cenizas por el volcán Ceboruco, fue elaborado considerando la extensión máxima de los depósitos originados por depósitos volcánicos en el pasado con un índice de explosividad (VEI) mayor a 3 y suponiendo que la erupción tenga lugar en las inmediaciones de la cima y considerando una columna eruptiva de más de 3 km. Los límites de los diferentes colores en el Municipio fueron trazados con base en el alcance máximo observados en el modelo generado para depósito de cenizas.

El mapa muestra en colores la distribución y alcance máximo de depósito de cenizas volcánicas. Por ejemplo, el rojo muestra los máximos espesores de depósito considerado como peligro Muy Alto con 18.15 mm para el poblado de Quila. Para la localidad de Tecolotlán se tendrán depósitos de 1.56 a 5.97 mm con intensidades entre Bajo y Medio. Los poblados al centro del Municipio tendrían intensidades medias (5.97 mm) y los que se encuentran al sur y al este del Municipio con intensidades bajas (3.43 mm).

5.1.1.14 Evaluación de la vulnerabilidad

Para lograr una evaluación completa, es necesario determinar la vulnerabilidad Física de los distintos elementos de la sociedad como son población, infraestructura y agricultura, con respecto al peligro volcánico identificado.

La naturaleza de las manifestaciones volcánicas como son flujos piroclásticos, flujos de lodo o lahares, flujos de lava y avalanchas de escombros producidas por derrumbes y deslizamientos hacen muy difícil definir funciones de vulnerabilidad que permitan establecer el porcentaje o proporción de pérdida de algún elemento de la estructura social ante esos fenómenos.

La experiencia de numerosas erupciones sugiere asignar una vulnerabilidad del 100% a cualquier elemento de la sociedad ante cualquiera de las manifestaciones directas. Esto quiere decir, que ante estas manifestaciones puede esperarse una pérdida total de

estructuras para habitación o usos laborales, obras de infraestructura, bosques y tierras laborables (por lo menos temporalmente), como es el caso de caída de cenizas.

5.1.1.15 Análisis del Riesgo

En el análisis del riesgo volcánico, es muy importante distinguir claramente la diferencia entre el fenómeno volcánico (erupciones) y su impacto (el efecto que pueden llegar a tener sobre el entorno del volcán), que si es grande puede transformarse en un desastre. Por lo que si bien no es posible evitar la ocurrencia de erupciones, sí es posible evitar que se transformen en desastres.

En el área en la que se localiza el Municipio de Tecolotlán están expuestos al peligro volcánicos, en el caso de fuerte erupción del volcán de Colima o el volcán del Ceboruco, con caída de cenizas, no repercute en gran medida en el Municipio, que no representa riesgos para la población e infraestructura, en la remota posibilidad de la presencia de este fenómeno beneficiaría solamente a la agricultura.

Los flujos de lodo, avalanchas, bombas explosivas, no repercuten en el Municipio, dado que tiene un alcance máximo entre 20 o 30 Km. La zonificación del peligro volcánico en el Municipio de Tecolotlán no muestra afectación por flujos de lava, flujos piroclásticos y caída de bombas volcánicas.

5.1.1.16 Medidas de Mitigación y Acciones ante el Riesgo por Caída de Cenizas

En el caso de caída de cenizas en el municipio, las obras propuestas para el riesgo por vulcanismo se basan en el saneamiento periódico de los cauces de los ríos que cruzan el municipio. Esto simplemente es una acción preventiva previa a la temporada de lluvias, pues los lahares pueden dispararse principalmente en esta época. A diferencia de otros

volcanes, el volcán de Fuego de Colima no tiene un glaciar que pueda ser fundido por una erupción y cause un lahar que arrase el valle. Sin embargo, durante la temporada de lluvias son varios eventos de este tipo que descienden por las barrancas y su dimensión estará potenciada debido a la cantidad de lluvia presente en el momento y al material existente diseminado en las barrancas y cauces producto de las erupciones registradas en los meses previos, principalmente lava y cenizas.

Ante una erupción volcánica grande, como las que han ocurrido en el pasado, el volcán de Fuego de Colima, pueden esperarse pérdidas casi totales de bienes; por lo que la única forma de proteger la vida humana es por medio de evacuaciones preventivas. Dentro de las acciones que se proponen están las de establecer campañas de información a la población sobre los peligros volcánicos y sus consecuencias, y realizar simulacros de evacuación, toda vez que una población bien informada y entrenada, tendrá una mejor capacidad de respuesta ante este tipo de fenómenos.

Ante un escenario de lluvia de ceniza se deberá poner en práctica lo siguiente:

1. Sepa anticipadamente qué es lo que se puede esperar y cómo enfrentarlo; eso hará manejable la situación.
2. En las áreas con ceniza, use máscaras para el polvo y lentes con protecciones para los ojos. Si usted no tiene una máscara para polvo, use un pañuelo o tela húmeda. de preferencia no use lentes de contacto.
3. Tanto como sea posible, mantenga la ceniza fuera de casas-edificios, maquinaria, suministros de agua, aire acondicionado, drenajes, cañerías, alcantarillas, etc.
4. Permanezca dentro de su casa o habitación para minimizar la exposición – especialmente si usted padece de enfermedades respiratorias.

5. Minimizar los viajes. Manejar durante una lluvia de ceniza es arriesgado para usted y su automóvil.
6. No sature las líneas telefónicas con llamadas que no sean de emergencia.
7. Use su radio para recibir información sobre la caída de ceniza y lo que debe hacer.

5.1.2 SISMOS

Un sismo es un fenómeno que se produce por el rompimiento en la cubierta rígida del planeta llamada Corteza Terrestre. Como consecuencia se producen vibraciones que se propagan en todas las direcciones y se perciben como una sacudida o un balanceo con duración e intensidad variable.

La sismicidad en su conjunto es uno de los fenómenos derivados de la dinámica interna de la tierra que ha estado presente en la historia geológica de nuestro planeta, y que seguramente continuará manifestándose de manera similar a lo observado en el pasado. Los sismos no pueden predecirse, es decir, no existe un procedimiento confiable que establezca con claridad la fecha y el sitio de su ocurrencia, así como el tamaño del evento. Sin embargo, los sismos se presentan en regiones bastante bien definidas a nivel regional y se cuenta con una estimación de las magnitudes máximas, en función de los antecedentes históricos y monitoreos sísmicos para poder ubicarlos y estudiar su ocurrencia.

El tener conocimiento acerca de la frecuencia con que se presenta el fenómeno, cuál es el impacto que se tendría o ha tenido, el tamaño del área afectable, entre otros aspectos, permite dar la debida importancia a la generación, actualización y aplicación de reglamentos de construcción, así como de especialistas en construcción, definición y planeación de acciones de prevención y organización de grupos de trabajo para la atención de una posible emergencia. Adicionalmente, se tendrá una base importante para la promoción y el sostenimiento de una cultura de protección civil.

5.1.2.1 Metodología

La identificación de peligros o amenazas sísmicas que pueden afectar una región constituye uno de los primeros pasos en el análisis de riesgo. El conocimiento de las condiciones regionales de ocurrencia de eventos peligrosos, así como las características reportadas

sobre eventos históricos, proveen una primera idea del potencial de los fenómenos que amenazan la región, y permiten conocer, de manera preliminar y aproximada, los periodos de retorno de los eventos más importantes.

La metodología base para estudiar el riesgo sísmico es el siguiente:

1. Ubicar al Municipio de Tecolotlán en la Regionalización Sísmica de México.
2. Recopilación histórica de eventos ocurridos en el pasado.
3. Investigar en catálogos actividad sísmica reciente en la zona de estudio.
4. Ubicar el Municipio en el contexto sísmico investigado.
5. Cálculo de la zonificación del peligro sísmico

El análisis del peligro sísmico está basado en la frecuencia histórica de eventos y en la severidad de cada uno de ellos. La severidad se mide mediante parámetros de intensidad válidos para una ubicación geográfica específica. Una vez que se definen los parámetros de amenaza, es necesario generar un conjunto de eventos estocásticos que definen la frecuencia y severidad de miles de eventos, representando así la ocurrencia de la amenaza en la región.

El cálculo de peligro sísmico, requiere cálculos estadísticos y la caracterización de modelos sobre la ocurrencia de un sismo, las zonas de fuente sísmicas, las relaciones de magnitud recurrencia, y las leyes de atenuación. Los catálogos históricos y registros de movimiento del terreno son esenciales para establecer los modelos. La ocurrencia de sismos es comúnmente modelada como un proceso Poissoniano, aunque también se ha considerado como un proceso no Poissoniano. Más aún, se asume frecuentemente que la ocurrencia de un sismo es estadísticamente homogénea en magnitud y ubicación dentro de una zona de la fuente sísmica. Para evaluar el peligro sísmico, en el Municipio de Tecolotlán se consideran las fuentes sísmicas más próximas al Municipio.

Los avances actuales en el desarrollo y presentación de la información geográfica y georreferenciada permiten adelantos importantes en la visualización y entendimiento de las amenazas y de los eventos que las generan. El manejo de esta información por medio de capas en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite la automatización de los procesos de cálculo de riesgo, así como una visualización ambiciosa y comunicación simple y ágil de resultados. Sin embargo, el cálculo de las capas de amenaza generalmente recae en programas especializados que no necesariamente son parte de los Sistemas de Información Geográfica.

El cálculo de la amenaza exige la generación de eventos estocásticos, cada uno con una frecuencia de ocurrencia definida, y que entre todos representen de manera adecuada las diferentes combinaciones de intensidad y ubicación geográfica de las posibles fuentes generadoras de amenaza. Se deben desarrollar modelos analíticos probabilistas para cada uno de los fenómenos naturales tales como sismo, huracanes, lluvias intensas, inundaciones, deslizamientos y volcanes, entre otros, y que la evaluación de cada amenaza se haga en términos de parámetros de intensidad que estén correlacionados con los daños observados.

5.1.2.2 Procedimiento de análisis

Los pasos de la metodología utilizada en el modelo de amenaza sísmica son los siguientes:

1. Definición y caracterización de las fuentes sismogénicas principales: a partir de la información geológica y neotectónica se define la geometría de las fuentes sísmicas.
2. Asignación de parámetros de sismicidad a las diferentes fuentes sísmicas: con base en el catálogo sísmico histórico se asignan los parámetros de sismicidad a cada fuente.

3. Generación de un conjunto de eventos estocásticos compatible con la distribución de ubicación, profundidad, frecuencias y magnitudes: a partir de toda la información anterior, se genera un conjunto de eventos sísmicos por medio de un muestreo basado en división recursiva de la geometría de las fuentes, y se asignan parámetros de sismicidad a cada segmento de manera ponderada según su aporte de área en el área total. Para cada segmento se generan una serie de escenarios de diversas magnitudes, cuyas probabilidades de ocurrir se calculan a partir la curva de recurrencia de magnitudes específica de esa fuente.
4. Modelo de atenuación de parámetros de movimiento del terreno: se seleccionan las leyes de atenuación que mejor representen las condiciones del movimiento entre las fuentes y los sitios donde se calcula la amenaza, ya sean leyes existentes en la literatura o creadas con información y datos locales.
5. Generación de mapas de amenaza de eventos representativos: se generan los mapas de distribución espacial de intensidad sísmica.
6. Amplificación de parámetros de amenaza por efectos de sitio: la respuesta dinámica de depósitos de suelo modifica las características del movimiento en amplitud, contenido de frecuencias y duración. El efecto de amplificación y de amplificación de la intensidad por efecto de los depósitos de suelo blando superficiales se cuantifica por medio de cocientes de espectros de respuesta de manera que modifican directamente los mapas calculados en el paso (5).
7. Aplicación del modelo probabilístico de amenaza sísmica: obtención de mapas de amenaza sísmica para diferentes periodos de retorno.

5.1.2.3 Ubicación del Municipio de Tecolotlán en la Regionalización Sísmica

El municipio de Tecolotlán está ubicado en la zona Occidente de México. El mapa de Regionalización Sísmica de México (CFE, 1993), permite conocer, en términos generales, el nivel de peligro que tiene todo el país. Con fines de diseño antisísmico, la República Mexicana se dividió en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios de siglo XX. Dicho mapa tiene una clasificación en cuatro regiones, de A - D (Imagen 5-XV). La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores. Las zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Imagen 5-XV. Zonas sísmicas en México.



Fuente: Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad.

http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/region_sismica_mx.jsp

Este mapa muestra que el Municipio de Tecolotlán está completamente dentro de la zona D, la zona del peligro sísmico máximo. Dada esta condición, es importante llevar a cabo una revisión histórica de la sismicidad a nivel regional y local, así como determinar la sismicidad actual, y establecer la localización epicentral de eventos más cercanos al Municipio, así como magnitud en la escala de Richter, para determinar el peligro por sismo.

5.1.2.4 Análisis de sismicidad histórica

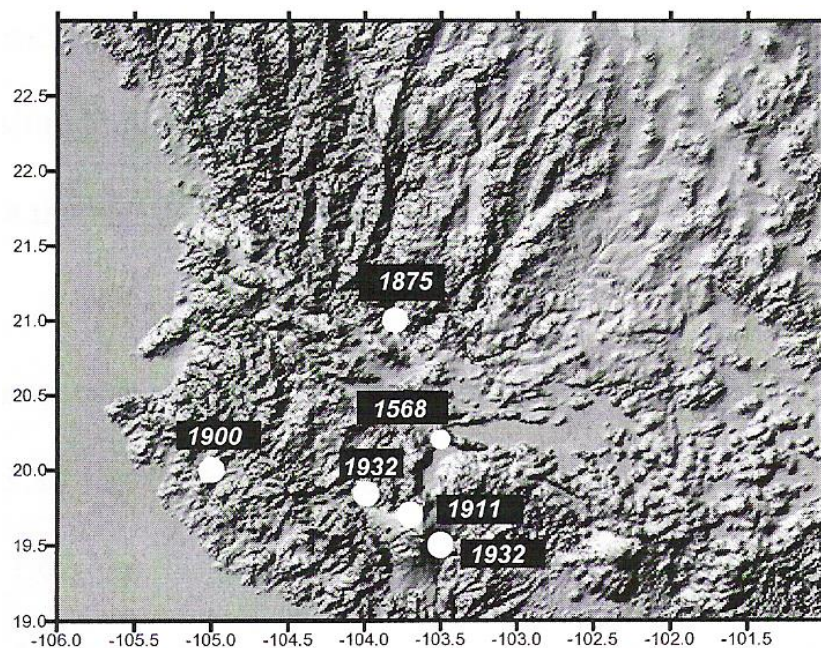
Para una adecuada caracterización de cada amenaza es necesario realizar un análisis exhaustivo de la información histórica y registros globales de la región con relación a su ocurrencia y afectación del fenómeno. El objetivo es obtener una base de datos que nos permita determinar la frecuencia e intensidades observadas. Para años y décadas recientes existirá en general información más confiable e instrumental, y para periodos más largos contaremos con información histórica que nos permite al menos fijar algunos parámetros de recurrencia de los eventos de mayor intensidad (Malagón, 2004).

La región de Jalisco es una de las zonas sísmicas más activas en México, las principales unidades tectónicas en esta región son el Bloque de Jalisco y la Placa de Rivera, que subduce bajo el Bloque, estructuras geológicas que involucran al Municipio de Tecolotlán.

La historia macrosísmica de la región se remonta hasta 1544. En los últimos 160 años, han ocurrido 10 sismos importantes con $M_s > 7.4$: 11/feb./1875 $M_s = 7.5$ (Singh et al, 1981, Malagón, 2004), 20/ene/1900 $M_s = 7.9$ y el 16/may/1900 $M_s = 7.4$ (

VI).

Imagen 5-XVI. Sismos históricos cercanos al Municipio de Tecolotlán



Fuente: Malagón, 2004.

El mayor terremoto ($M=8.2$) ocurrido en México en el siglo XX (1932), mencionado anteriormente, tuvo lugar en la costa de Jalisco, este fue seguido por otro de magnitud 7.8 quince días después. En 1995 un terremoto de magnitud 8.0 ocurrió en la costa de Jalisco, pero su área de ruptura fue solo la mitad sur del área propuesta para los terremotos de 1932, esto sugiere que la costa norte de Jalisco, incluyendo Bahía de Banderas, es una zona de alto potencial sísmico (también conocida como brecha sísmica). Sin embargo, no solo terremotos asociados al proceso de subducción ocurren en la región también existen

grandes terremotos intraplaca como el evento de diciembre 27 de 1568 (Nuñez-Cornú, 2002).

Otros eventos ocurridos como el del, 3 y 18/jun/1932 $M_s = 8.2$ y 7.8 , respectivamente y 10/ene/1973 $M_s > 7.5$ (Eissler y McNally, 1984), 19 y 20/sep/1985 con $M_s = 8.1$ y 7.8 , respectivamente; 9/10/95 con $M_s = 5.1$. Los tiempos de recurrencia estimados por Singh et al (1985) para terremotos como los de 1932 en la costa de Jalisco es de 77 años y considerando que el temblor de 1995 rompe apenas con la mitad sur del área que se rompió en 1932, la posibilidad de que ocurra un evento similar al de 1995 en un período relativamente corto de tiempo es muy alta. El 22 de enero del 2003 ocurre un terremoto somero de $M_w = 7.4$ en la costa de Armería no asociado al proceso de subducción (Núñez-Cornú et al, 2002).

Se han considerado tres sismos fuertes (1858 (7.5), 1932 (8.2) y 1995 (7.5)) para identificar las intensidades en la escala de Mercalli modificada (Tabla 5-IX) que se presentarían en el Municipio si ocurren sismos de magnitudes similares (Imagen 5-IX). Podemos observar que para el Municipio se pueden presentar intensidades hasta de VII grados, dentro de la escala es considerado MUY FUERTE (Imagen XVII), que representa los efectos y daños ocasionados, como son: ponerse de pie es difícil. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Mampostería dañada. Perceptible por personas en vehículos en movimiento. Aceleración entre 35 y 60 Gal (El Gal es el nombre que se le asigna a la unidad de aceleración en el sistema cegesimal, esto es, centímetro por segundo).

Tabla 5-IX. Escala modificada de Mercalli.

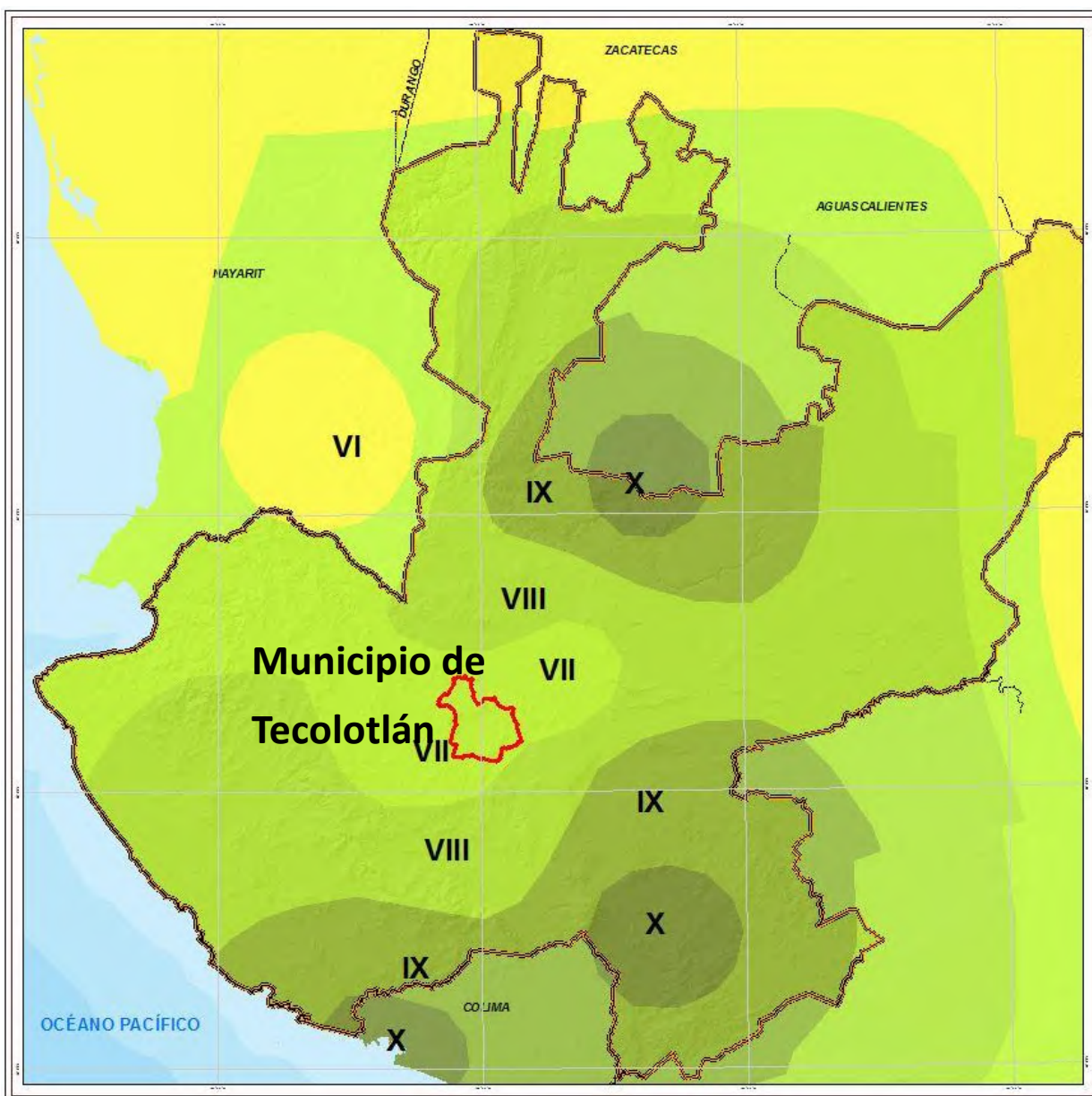
Grado	Descripción
I - <i>Muy débil.</i>	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables. Aceleración menor a 0,5 Gal.

II - <i>Débil.</i>	Perceptible solo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar. Aceleración entre 0,5 y 2,5 Gal.
III - <i>Leve.</i>	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Muchos no lo perciben como un terremoto. Los automóviles detenidos se mueven ligeramente. Sensación semejante al paso de un camión pequeño. Aceleración entre 2,5 y 6,0 Gal.
IV - <i>Moderado.</i>	Perceptible por la mayoría de personas dentro de los edificios, por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbación en cerámica, puertas y ventanas. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación semejante al paso de un camión grande. Aceleración entre 6,0 y 10 Gal.
V - <i>Poco fuerte.</i>	Sacudida sentida casi por todo el país o zona y algunas piezas de vajilla o cristales de ventanas se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen los relojes de péndulo. Aceleración entre 10 y 20 Gal.
VI - <i>Fuerte.</i>	Sacudida sentida por todo el país o zona. Algunos muebles pesados cambian de sitio y provoca daños leves, en especial en viviendas de material ligero. Aceleración entre 20 y 35 Gal.
VII - <i>Muy fuerte.</i>	Ponerse de pie es difícil. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Mampostería dañada. Perceptible por personas en vehículos en movimiento. Aceleración entre 35 y 60 Gal.
VIII - <i>Destruutivo.</i>	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles derrumbes. Daño severo en estructuras pobremente construidas. Mampostería seriamente dañada o destruida. Muebles completamente sacados de lugar. Aceleración entre 60 y 100 Gal.
IX - <i>Muy destructivo.</i>	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. Grandes daños en importantes edificios, con derrumbes parciales. Edificios desplazados fuera de las bases. Aceleración entre 100 y 250 Gal.
X - <i>Desastroso.</i>	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las estructuras de mampostería y el marco destruido con sus bases. Vías ferroviarias dobladas. Aceleración entre 250 y 500 Gal.

XI - <i>Muy desastroso.</i>	Pocas estructuras de mampostería, si las hubiera, permanecen en pie. Puentes destruidos. Vías ferroviarias curvadas en gran medida. Aceleración mayor a 500 Gal.
XII - <i>Catastrófico.</i>	Destrucción total con pocos supervivientes. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Imposibilidad de mantenerse en pie.

Fuente: Seismic Research Centre, University of the West Indies. «Modified Mercalli Scale». Consultado el 03 de octubre de 2016.

Imagen 5-XVII. Relación de intensidades generadas por sismos históricos (1875) e instrumentales (1932 y 1995) entorno al Municipio de Tecolotlán.



Fuente: CFE, 1996

5.1.2.5 Sismicidad regional actual

La región de Jalisco es una de las zonas sísmicas más activas en México, las principales unidades tectónicas en la región del Municipio de Tecolotlán son: el Bloque de Jalisco y la Placa de Rivera, que subduce bajo el Bloque. El mayor terremoto ($M=8.2$) ocurrido en México en el siglo XX (1932) tuvo lugar en la costa de Jalisco, este fue seguido por otro de magnitud 7.8 quince días después, el epicentro ha sido localizado y reubicado recientemente en las coordenadas (19,5 N, 104.25 W). Por la baja densidad de población en este año en el Municipio de Tecolotlán no se tienen reportes de daños o efectos destructivos.

Cuando ocurre un sismo de magnitud considerable las rocas que se encuentran cerca de la zona de ruptura sufren un reacomodo, lo que genera una serie de temblores en la zona que reciben el nombre de réplicas. El número de las réplicas puede variar desde unos cuantos hasta cientos de eventos en los próximos días o semanas de ocurrido el temblor principal.

Técnicamente hablando, el sismo del 18 de junio de 1932 no se considera una réplica del temblor del 3 de junio porque rompió un área diferente a la del primer sismo (Imagen 5-XVIII). Si bien las áreas de ruptura de ambos sismo están contiguas, no se traslapan, lo cual significa que el segundo no es réplica del primero. Este tipo de sismo en parejas, o “dobletes” ha sido observado en otros eventos sísmicos importantes como los sismos del 1985, que ocurrieron el 19 y 21 de septiembre de 1985, o recientemente, los sismos del 18 de abril y 8 de mayo de 2014. Estas parejas de sismos estuvieron muy cercanos en tiempo y distancia pero, técnicamente, en ninguno de los tres casos podemos decir que el segundo sismo sea réplica del primero dado que sus áreas de ruptura son diferentes.

Imagen 5-XVIII. Áreas de rupturas de los sismos de 1932 y 1995.



Fuente. Sismos históricos, SSN. Consultado el 3 de octubre de 2016.

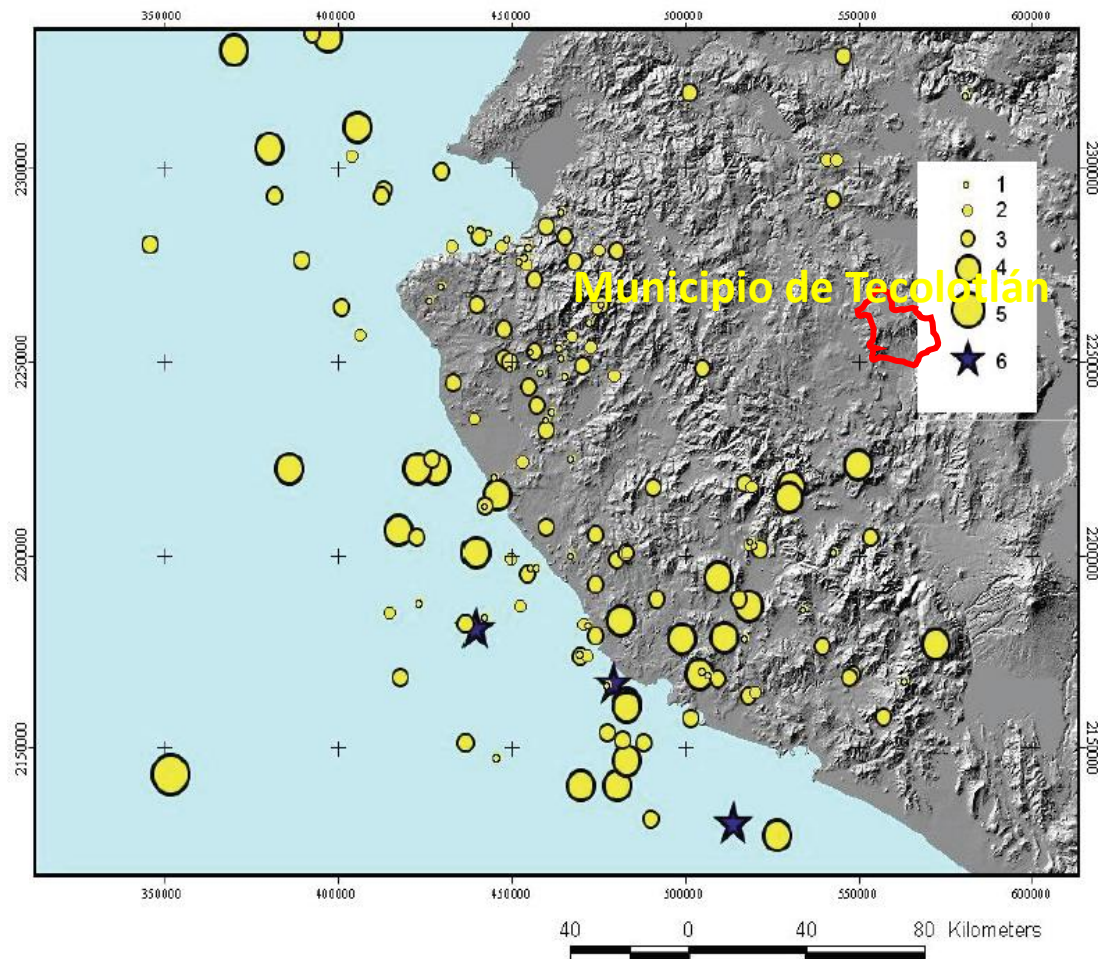
Entre 1993 y 1995 el Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada (CICESE) y el Departamento de Geografía de la Universidad de Guadalajara empezaron a realizar estudios de sismicidad en las costas de Jalisco utilizando redes temporales de estaciones portátiles. Después del terremoto de 1995 estos estudios recibieron más apoyo y se pudieron obtener los primeros resultados regionales (Nuñez-Cornú, 2011).

En 1995 un terremoto de magnitud 8.0 ocurrió en la costa de Jalisco, pero su área de ruptura fue solo la mitad sur del área propuesta para los terremotos de 1932 (Imagen 5-XVIII), esto sugiere que la costa norte de Jalisco, incluyendo Bahía de Banderas, es una zona de alto potencial sísmico (también conocida como brecha sísmica) (Nuñez-Cornú, 2011). Sin embargo, no solo terremotos asociados al proceso de subducción ocurren en la región también existen grandes terremotos intraplaca como el evento de 1568, destructor en San Cristóbal de la Barranca.

En los años 1996, 1997 y 1998 se realizaron estudios de microsismicidad en el norte y oeste del Bloque de Jalisco motivado por la escasez de trabajos y datos de sismicidad disponibles para esta área, a pesar del conocimiento de la ocurrencia de grandes sismos en este territorio. Los datos registrados se logró observar la gran actividad sísmica que tiene la zona (Nuñez-Cornú, 2011).

La instalación de una serie de aparatos en la región y el registro de eventos sísmicos por el Centro de Sismología y vulcanología de Occidente (SISVOC), para los años del 2001 al 2002, se confirmó la alta actividad sísmica registrada con años anteriores en la parte sur del bloque de Jalisco (Imagen 5-XIX).

Imagen 5-XIX. Sismicidad registrada por SISVOC entre los años 2001 y 2002



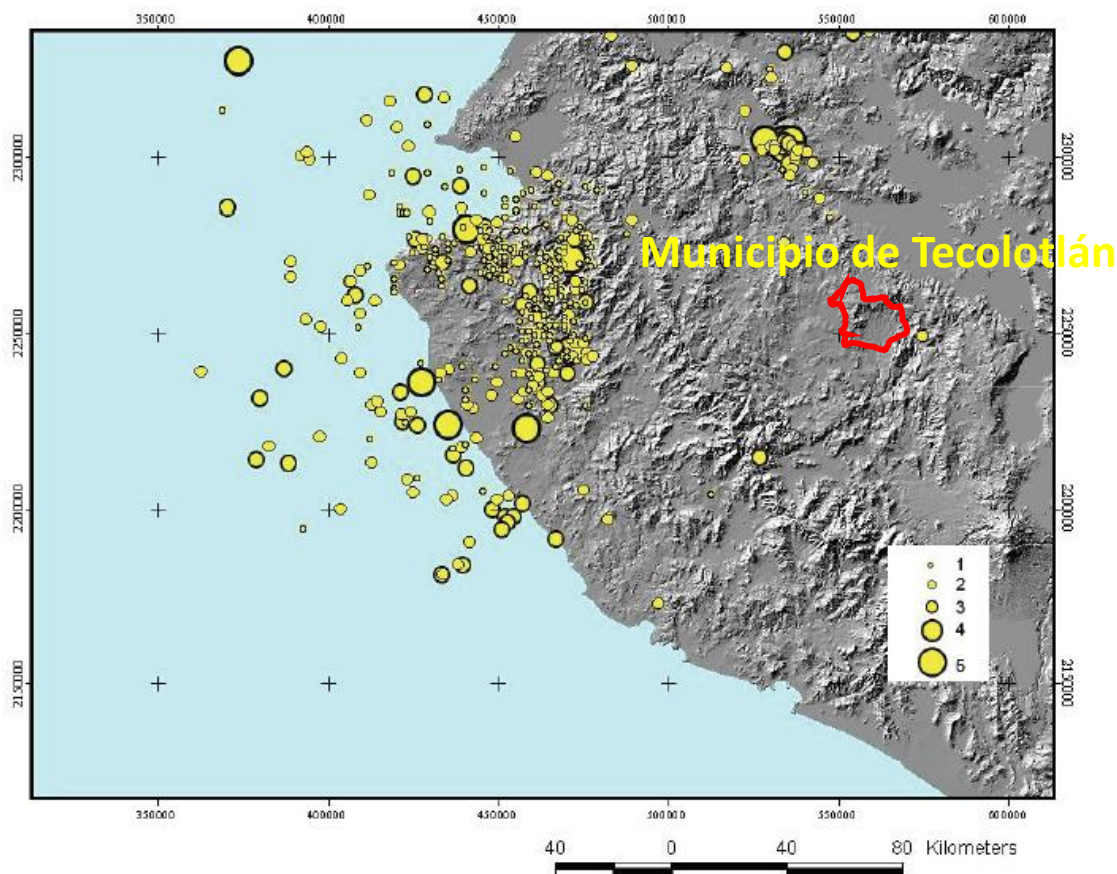
Fuente: Nuñez-Cornú, 2011.

En la imagen anterior se puede observar que la sismicidad se registra en la costa de Jalisco, con eventos de 3 a 5 grados en la escala de Richter. La zona centro del estado y al noreste del bloque de Jalisco donde se encuentra el Municipio de Tecolotlán se muestra una ausencia de sismicidad debido a la falta de instrumentación y monitoreos para el registro de actividad sísmica en esta área.

En el 2003 se continuó con el monitoreo de la actividad sísmica en la costa (Imagen 5-XX), siguiendo con la misma tendencia en el registro de sismos de 3 a 6 grados en la escala de Richter. Al norte de la latitud 21°N la sismicidad es muy escasa. Hay actividad sísmica de baja magnitud en la zona de Bahía de Banderas y de magnitud considerable en la costa sur de Jalisco y en la zona de Amatlán de Cañas-Ameca la sismicidad detectada es menor. En general los patrones sísmicos observados (

) son similares a los observados para el período 1996 – 1998. De enero a septiembre del 2003 se localizaron 435 temblores entre las coordenadas 22° (2'435,000) N -19.5° (2'156,000) N y 106° (396,000) W-104° (605,000) W, con magnitud local comprendida entre 0.0 y 5.0. Se redujo la zona de estudio a la zona de Bahía de Banderas hasta el Valle de Tomatlán y a la zona de Amatlán de Cañas-Ameca. Se observa nuevamente actividad en el área de Amatlán de Cañas (Nuñez-Cornú, 2011).

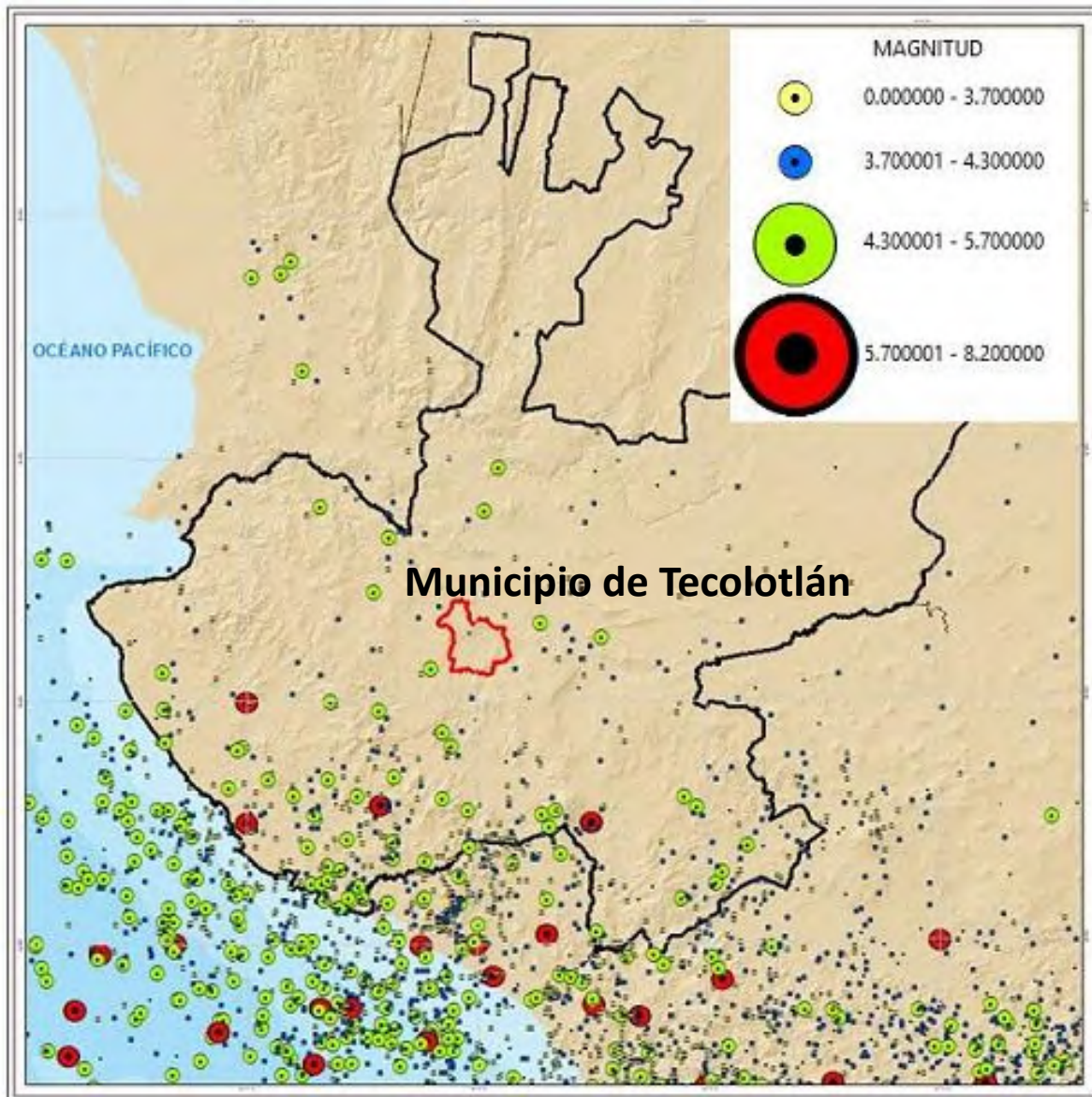
Imagen 5-XX. Sismicidad registrada por SISVOC en 2003



Fuente: Nuñez-Cornú. 2011.

Siguiendo con el análisis de la sismicidad registrada por diversas instituciones, entre ellas el Servicio Sismológico Nacional muestra la actividad sísmica obtenida de 1900 al 2015 (Imagen 5-XXI).

Imagen 5-XXI. Actividad sísmica en el Occidente de México 1900-2015.



Fuente: Sismicidad registrada de 1900-1915. Información proporcionada por el Servicio Sismológico Nacional UNAM, 2015.

De acuerdo a la sismicidad observada se ha podido establecer la regionalización sísmica para el estado de Jalisco (Imagen 5-XXII).

Imagen 5-XXII. Regionalización sísmica para el Estado de Jalisco



Fuente: Elaboración propia. Modificado e integrado de los catálogos sísmicos, 2015

En la Imagen 5-XXII, el Municipio de Tecolotlán se ubica dentro del Eje volcánico y sismicidad aleatoria es decir afectado por la actividad sísmica generada por movimiento de fluidos volcánicos y por la sismicidad intraplaca (actividad sísmica originada dentro del continente por fallas de tipo normal). Pero esto no deja que pueda ser afectado por evento originado en otras áreas sísmicas, principalmente por eventos generados en las costas del estado.

Una vez analizado la actividad sísmica en el estado de Jalisco y considerando los catálogos sísmicos, se procede a determinar el Peligro por sismo para el Municipio de Tecolotlán.

5.1.2.6 Cálculo del peligro sísmico para el Municipio de Tecolotlán

El cálculo de peligro sísmico, requiere cálculos estadísticos y la caracterización de modelos sobre la ocurrencia de un sismo, las zonas de fuente sísmicas, las relaciones de magnitud recurrencia, y las leyes de atenuación. Los catálogos históricos y registros de movimiento del terreno son esenciales para establecer los modelos. La ocurrencia de sismos es comúnmente modelada como un proceso Poissoniano, aunque también se ha considerado como un proceso no Poissoniano. Más aún, se asume frecuentemente que la ocurrencia de un sismo es estadísticamente homogénea en magnitud y ubicación dentro de una zona de la fuente sísmica. Para evaluar el peligro sísmico, en el Municipio de Tecolotlán se consideran las fuentes sísmicas consideradas en la regionalización sísmica para el estado de Jalisco (Imagen 5-XXII), y los eventos máximos en las diversas fuentes identificadas de mayor peligro. Se tomarán los eventos sísmicos de mayor magnitud y se calculará la aceleración máxima en el terreno con relaciones matemáticas (leyes de atenuación) por poblado en el Municipio para zonificar las zonas de peligro dentro del área de estudio y determinar el mapa de peligros por sismo.

5.1.2.7 Aceleraciones teóricas del terreno por sismo fuerte

La determinación del peligro sísmico, se basa en el método tradicional de Análisis de Peligro Sísmico probabilista (PSP) de acuerdo a los catálogos sísmicos y de movimientos del terreno, en las observaciones macrosísmicas y registros instrumentales.

Debido a que los datos sismológicos son limitados, lo más apropiado fue recurrir a un escenario basado en un enfoque determinista. La principal ventaja del procedimiento es el tratamiento simultáneo de la contribución fuente sísmica y la propagación de la onda, que serán determinantes para la estimación del peligro sísmico del Municipio de Tecolotlán.

La peligrosidad sísmica está definida como el nivel probable de sacudida del suelo asociado con la recurrencia de terremotos (Giardini et al., 1998).

Basándose en los datos de los catálogos histórico e instrumental, el territorio de México se subdividió, de manera global, en unidades sismotectónicas con el propósito de definir, dentro de ellas, estimaciones de peligrosidad sísmica.

5.1.2.8 Sismicidad de las fuentes Sismogenéticas

La incertidumbre existente en el conocimiento sísmico obliga a considerar las variables en juego como aleatorias, por lo que deben sujetarse a teorías de probabilidad. Para determinar los parámetros de la distribución de probabilidades que describen la ocurrencia de temblores en una región dada, se tiene que calcular la distribución de magnitud, el instante de ocurrencia y la localización del foco.

Aquellos eventos con magnitud M_w superior a 7, están asociados con la subducción a lo largo de la costa pacífica mexicana y tienen un proceso de ocurrencia más bien periódico.

Como la sismicidad para el estudio de peligrosidad sísmica en México sólo se ha tenido en cuenta hasta el año 1994, el proceso de renovación para Jalisco tiene en cuenta la media de los tiempos entre eventos ($mt = 46$ años) y el tiempo que ha transcurrido desde el último temblor en la zona, $t_0 = 61$ años. Por ello no se ha tenido en cuenta el gran terremoto de Octubre de 1995 producido en un proceso de subducción en las costas de Jalisco-Colima con una magnitud M_w de 8.0.

Para conocer los niveles de peligro sísmico se requiere de un procedimiento complejo que implica contar, entre otros elementos, con información de catálogos sísmicos con magnitudes y localizaciones epicentrales confiables y un conocimiento amplio de la tectónica que caracteriza a las diferentes regiones analizadas. Asimismo, la información geológica es de gran relevancia en tanto que permitirá tener conocimientos acerca de fallas, zonas sismogénicas y, particularmente, aportará datos sobre aspectos superficiales en el caso de valles aluviales.

Como sucede en la generalidad de los casos, en el Municipio de Tecolotlán, se tiene que recurrir a procedimientos determinístico dado que no se cuenta con un catálogo sísmico local que cubra periodos suficientemente largos de registros para determinar directamente los periodos de recurrencia característicos de las diferentes zonas sismogénicas. Se tiene, para la República Mexicana, un conocimiento bastante claro de la sismicidad a partir del siglo pasado.

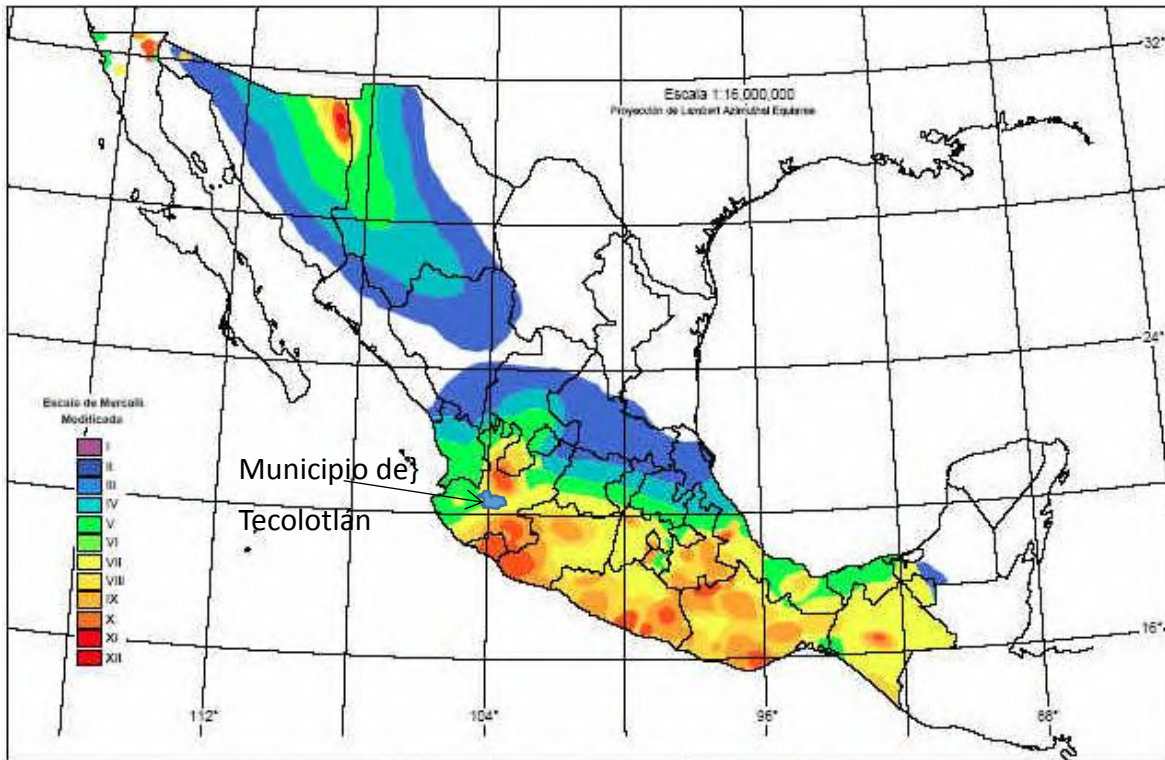
Sin embargo, con respecto al Siglo XIX sólo se conoce de manera general la ocurrencia de eventos con magnitudes de 7 en adelante. Debido a la falta, en esa época, de estaciones suficientes, es muy probable que en el catálogo para dicho periodo no se encuentren presentes varios eventos importantes, especialmente de magnitudes entre 6 y 7. Las localizaciones epicentrales y las profundidades correspondientes no alcanzan la precisión que se tiene actualmente.

Para siglos anteriores, la incertidumbre en cuanto a número de temblores, su punto de origen y profundidad es aún mayor. De ellos sólo se tienen referencias históricas, particularmente a partir del Siglo XVI.

El procedimiento para la estimación del peligro sísmico implica el análisis de la sismicidad local, lo que implica dividir el territorio nacional en varios volúmenes nombrados fuentes generadoras, para las cuales se supone una tasa constante de generación de temblores.

Posteriormente, se determinan los efectos que son producidos por cada una de ellas en un sitio dado, en términos de intensidad sísmica instrumental (Imagen 5-XXIII). Para ello se desarrollan leyes de atenuación, las cuales relacionan la magnitud, la posición de la fuente con relación a un sitio dado en nuestro caso de estudio se tomó en cuenta el Municipio de Tecolotlán y la intensidad producida. Dichas leyes asumen el principio de que, en la medida que aumenta la distancia a partir de la fuente, la intensidad disminuye.

Imagen 5-XXIII. Mapa global de intensidades.



Fuente: <http://www.seismo.ethz.ch/>

De manera formal, el peligro sísmico se describe mediante indicadores cuantitativos de las probabilidades de ocurrencia de movimientos de distintas intensidades durante lapsos dados (UNAM, 2003) y por medio de parámetros cualitativos, como son las intensidades sísmicas, para el área del Municipio de Tecolotlán, podemos observar que se han registrado intensidades de VII en la escala de Mercalli (Imagen 5-XVII).

Sin embargo, dado que el fenómeno del efecto de sitio no ha sido reconocido como factor determinante en los cálculos de peligro sísmico, se deben incluir, además de la información acerca de las fuentes sísmicas y los patrones de atenuación asociados a ellas, los efectos de la geología local. Por tanto, para una valoración completa se tienen que incluir parámetros derivados de una microzonificación sísmica propia del área.

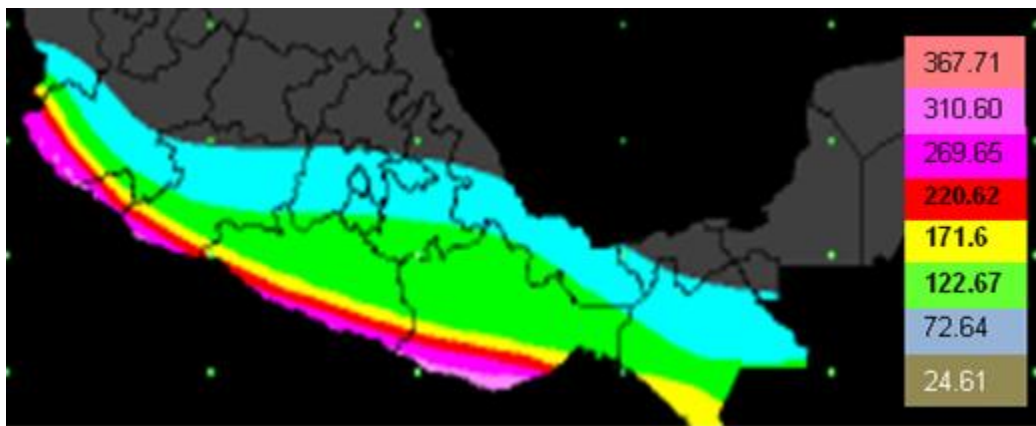
5.1.2.9 Aceleraciones para Periodos de Retorno de 10, 100 y 500 años en el Municipio de Tecolotlán

Los mapas de peligro por sismo, son algunos de los resultados que se obtuvieron del programa Peligro Sísmico en México (PSM, 1996), que constituye un sistema de información cuantitativa sobre el peligro sísmico en la República Mexicana en cuya elaboración participaron, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) colaboró con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el desarrollo del Manual de Obras Civiles de la CFE. Por lo que respecta al capítulo de diseño por sismo, el II-UNAM desarrolló, entre otras cosas, mapas de peligro sísmico de la República Mexicana que quedaron parcialmente plasmados en el Manual de Obras Civiles y que, además, dieron origen al sistema de cómputo PSM, que incluye los resultados completos del estudio realizado por el II-UNAM en esta materia. El Instituto de Ingeniería de la UNAM, Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Comisión Federal de Electricidad, además del CENAPRED.

El Peligro Sísmico de México (PSM) genera los siguientes tipos de resultados (Imagen 5-XXIV).

1. Mapas de valores de la intensidad sísmica seleccionada asociados a un periodo de retorno dado.
2. Para cualquier sitio dentro de la República Mexicana, la curva intensidad vs. tasa de excedencia para el parámetro de intensidad seleccionado.
3. Para cualquier sitio dentro de la República Mexicana, el espectro de respuesta cuyas ordenadas tienen un periodo de retorno constante dado.
4. Información sobre las relaciones de atenuación utilizadas para el cálculo del peligro sísmico.

Imagen 5-XXIV. Aceleraciones máximas del terreno en México.



Fuente: PSM, 2004

Es sumamente recomendable que el empleo de esta información se lleve a cabo con la asesoría o participación directa de un ingeniero civil capacitado para el diseño de obras sismorresistentes. Se observa que el Municipio de Tecolotlán tiene una aceleración de 122,67 cm/seg² (0.125 g).

El conocer solamente las magnitudes de los temblores, nos da una idea clara del impacto que éstos producirían en una determinada región, ya que pueden presentarse a diferentes profundidades y distancias de los asentamientos humanos.

Por su parte, los mapas de intensidades de Mercalli, describen de manera sencilla la distribución espacial de los efectos en el terreno y las construcciones, asociada a la ocurrencia de un evento en particular que, si bien permiten plantear un escenario a futuro, no indican cuál es la probabilidad de que un sismo ocurra nuevamente.

En el caso de mapas de peligro como los que aquí se presentan, y en donde se ubicará al Municipio de Tecolotlán, se da a conocer la distribución de las intensidades en términos de aceleración del terreno asociada a periodos de retorno. Esta información, aunque no directamente aplicable en la población con fines de protección civil, es un elemento

fundamental para especialistas en el diseño de nuevas construcciones y modificación o refuerzo de obras civiles existentes.

Para facilitar la definición de niveles de peligro para un sitio dado se eligieron los mapas más representativos, en función de la vida útil de la gran mayoría de las construcciones, correspondientes a periodos de 10, 100 y 500 años. En ellos se muestran aceleraciones máximas para terreno firme para un periodo de retorno dado (tiempo medio, que tarda en repetirse un sismo con el que se exceda una aceleración dada).

Para que los estados y municipios cuenten con información actualizada que les permita tomar medidas apropiadas y orientar decisiones para la evaluación y mitigación del riesgo por sismo, CENAPRED, 2004 realizó, con base en los mapas ya mencionados, la clasificación municipal de peligro por sismo. Ahí se reportan los valores de aceleración máxima del terreno para cada municipio. Esto facilitará, ante la falta de un reglamento de construcción propio, definir las ordenadas de diseño para edificaciones de poca altura, típicas en nuestro país; es decir, construcciones de uno o dos niveles ubicadas en suelo firme.

Para el caso del Municipio de Tecolotlán las aceleraciones máximas para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años se muestra en la Tabla 5-X.

Tabla 5-X. Aceleraciones máximas para diferente periodo de retorno en el Municipio de Tecolotlán.

MUNICIPIO	Amax (cm/seg ²), para Tr = 10 años	Amax (cm/seg ²), para Tr = 100 años	Amax (cm/seg ²), para Tr = 500 años
Tecolotlán	34	135	150

Fuente: CENAPRED, 2004.

En caso de que un estado o municipio lleve a cabo estudios de riesgo para obras en particular, se deben solicitar mapas específicos a alguna de las instituciones participantes en la elaboración del PSM 2004, como se muestra en las Imágenes 5-XXV, 5-XXVI y 5-XXVII, (el sistema también es capaz de generar mapas para periodos estructurales fundamentales hasta de 3 s.).

Si para periodos de retorno de 100 años o menos se alcanzan o superan aceleraciones del terreno de 150 gal. (Imagen 5-XXVII), habrá que dar alta prioridad a la aplicación, actualización o creación de un reglamento de construcción para el propio municipio.

Imagen 5-XXV. Aceleración máxima del terreno en un periodo de retorno de 10 años.



Fuente: CENAPRED, 2006

Imagen 5-XXVI. Aceleración máxima del terreno para un periodo de retorno de 100 años.

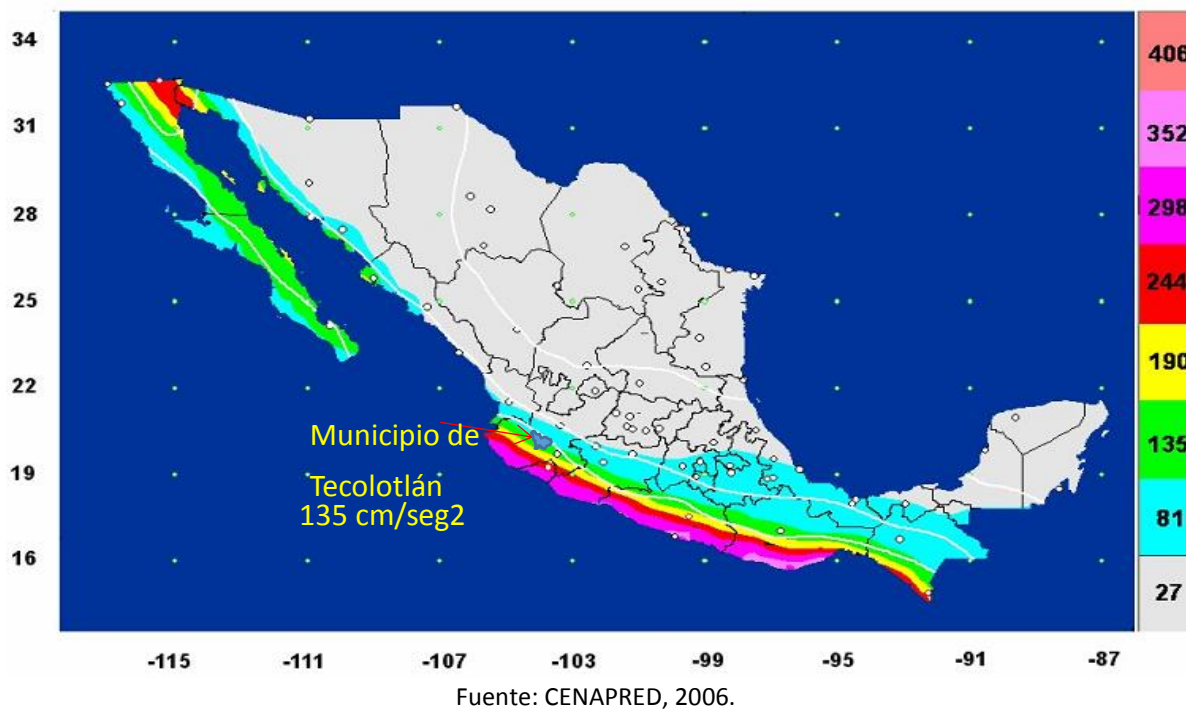
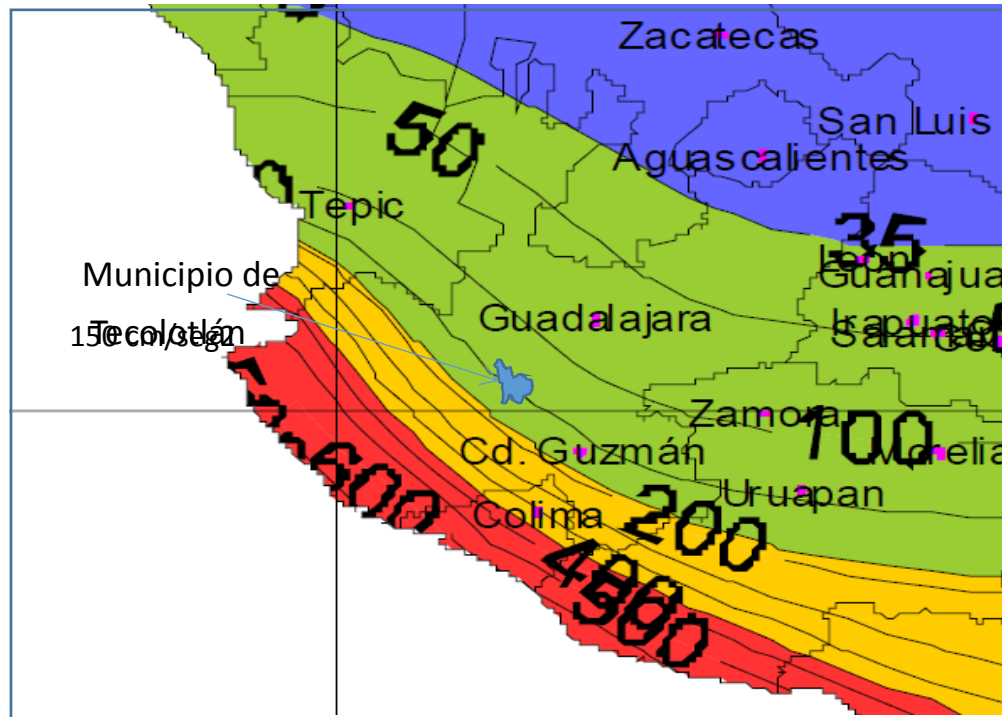


Imagen 5-XXVII. Aceleraciones máximas del terreno para periodo de retorno de 500 años.



Fuente: CENAPRED, 2006

Es sumamente recomendable que el empleo de esta información se lleve a cabo con la asesoría o participación directa de un ingeniero civil capacitado para el diseño de obras sismorresistentes. De la Imagen 5-XX se observa que el Municipio de Tecolotlán se tiene aceleraciones de 135 cm/seg².

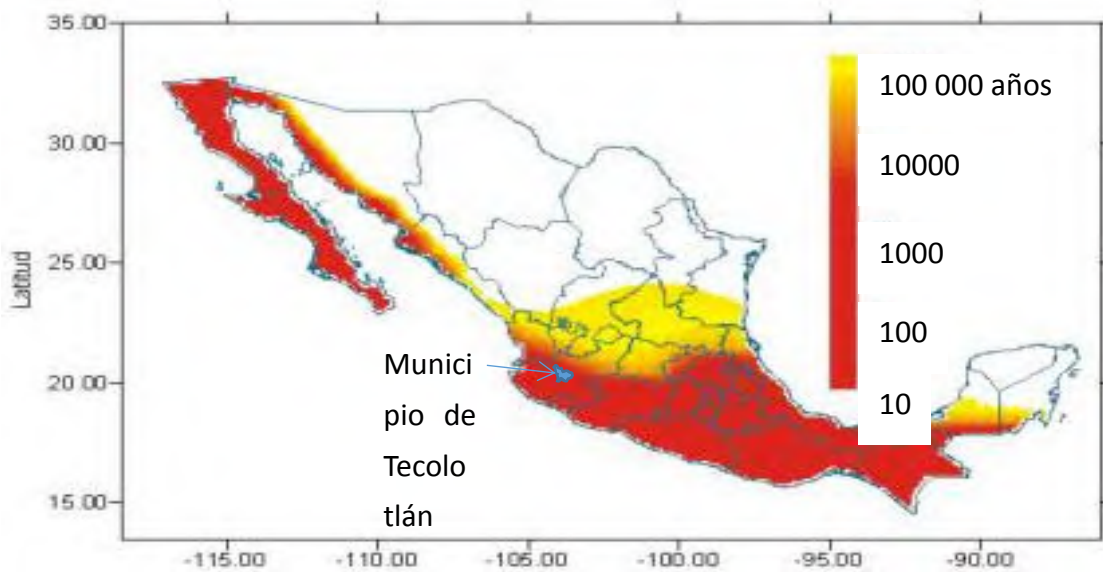
La aplicación de la información derivada de estos mapas, junto con las características estructurales y estado físico de las construcciones, permitirá que especialistas emitan recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad de las obras civiles.

5.1.2.10 Mapa de Periodos de retorno para Aceleraciones de 15 % g o Mayores

Se sabe que, para los tipos constructivos que predominan en nuestro país, los daños son considerables a partir de un nivel de excitación del terreno igual o mayor al 15% de g (aceleración de la gravedad terrestre). Por tal razón, utilizando información reciente, la

Comisión Federal de Electricidad generó el mapa actualizado de periodos de retorno para aceleraciones de 0.15 de g o mayores, (Imagen 5-XXVIII).

Imagen 5-XXVIII. Mapa de periodos de retorno para aceleraciones del 0.15 % g o mayores (CFE, 2004). La escala de la derecha tiene valores en años.



Fuente: CENAPRED, 2006.

Si adicionalmente se toma en cuenta el volumen de población, del cual un porcentaje significativo estaría expuesto a los efectos del sismo, pueden definirse prioridades para estudios específicos de seguridad estructural, actualización de reglamentos de construcción, etc.

5.1.2.11 *Aceleraciones Máximas Teórica Probable*

El cálculo de aceleraciones teóricas se realizó tomando en cuenta las distancias más cercanas a las trazas de las fallas de la sección de estructuras principales, en el cual se consideró las potencialmente peligrosas analizando su comportamiento sísmico histórico e instrumental. Este último de los catálogos del S.S.N. y SisVoc Estos criterios fortalecen la idea que en caso de una activación estas estructuras son las que representa mayor peligro sísmico.

Con el fin de determinar el peligro sísmico de las estructuras que pudieran representar mayor riesgo para el Municipio de Tecolotlán es necesario realizar la estimación de la aceleración teórica máxima creíble debido al movimiento de una estructura geológica.

Para realizar la estimación de la aceleración teórica máxima ha sido necesario tomar en cuenta leyes de atenuación que mayormente se apeguen a la sismicidad del sitio en estudio, considerando la relación de Bufaliza (1984) quien propuso las leyes de atenuación basadas exclusivamente en temblores mexicanos. La ecuación utilizada se basa, en la dependencia de la magnitud y la distancia epicentral cuya ecuación se da en la siguiente relación matemática.

$$\text{Log } a = 0.349 + 0.307 (M) - 0.211 \log (R) - 0.0027 (R) \quad (1)$$

Dónde: a = Aceleración Teórica Máxima

M = Magnitud del sismo

R = Distancia epicentral del sismo al sitio de estudio

Otra relación tomada en cuenta es la propuesta por Malagón y López (2006), realizaron un análisis de regresión lineal múltiple con 255 datos de aceleraciones máximas probables, correspondientes a 68 eventos sísmicos seleccionados de los catálogos, tanto Histórico como Instrumental, del Estado de Jalisco. Se obtuvo el modelo de regresión lineal múltiple que describe la relación entre el Logaritmo de la Aceleración y las tres variables independientes, asimismo, se presenta la ecuación de predicción para la aceleración máxima probable, en función de la magnitud, distancia epicentral y suelo considerado en el sitio la ecuación se muestra a continuación.

$$\text{Log } a = -0.865048 \text{ Log}(R) + 0.479073 (M) + 0.0279388 (S) \quad (2)$$

Dónde: $\text{Log } a$ = Logaritmo de aceleración máxima probable (cm/seg^2)

R = Distancia Epicentral (Km).

M = Magnitud del evento máximo esperado en escala de Richter.

S = Sitio (1 = Roca, 2 = Superficial, 3 = Profundo).

Por otra parte la asignación de magnitudes máximas creíbles se sustenta en las dimensiones geométricas de las estructuras geológicas. Al sustituir en la función de Bufaliza (1984) y con las relaciones matemáticas propuestas por Malagón y López (2006), se obtuvieron los valores de aceleración teórica expresados como una fracción de “g”. Los valores de la magnitud y aceleración teórica se muestran en la Tabla 5-X, para sismos de magnitud máxima y estructuras geológicas capaces de generar eventos de grandes magnitudes y próximos al Municipio de Tecolotlán, donde se observa que sismos asociados a la Trinchera Mesoamericana es la estructura geológica que genera el valor máximo de aceleración con 0.20g, sin tomar en cuenta efecto de sitio según Bufaliza (1984) y 0.07 a 0.09 “g”, según Malagón y López, (2006), al suponer un sismo de 8.2 grados en la escala de Richter en las costas de Jalisco y a una distancia de 80 Km tomando en cuenta efecto de material a nivel superficial, que puede considerarse valle aluvial.

Tabla 5-XI. Aceleración Teórica Máxima ante sismos a diferentes distancia epicentral.

ACELERACIONES TEÓRICAS MÁXIMAS CON CENTRO EN EL POBLADO DE TECOLOTLAN ANTE DIFERENTE FUENTE SISMOGENETICA				
Estructura	Magnitud (Richter)	Distancia (km)	Bufaliza (g) 1984	Malagón y López (g) 2006
Sismo 1858	6.0	57.02	0.07	0.03
Sismo 1900	8.0	102.70	0.23	0.14
Sismo 1932	8.2	80.72	0.28	0.20
Volcán de Colima	5.0	84.43	0.029	0.006

Fuente: Malagón, 2016

Para referencia, los sismos de campo lejano como el evento de 1932 ($M = 8.2^\circ$), ocurrido en las costas de Jalisco a 80 Km aproximadamente de Tecolotlán, generarían aceleraciones en el sitio de 0.28 g de acuerdo a Bufaliza (1984) y 0.20 g de acuerdo a Malagón y López (2006) considerando un valle aluvial a nivel superficial, que de cierta manera pudieran ser aceleraciones de peligro para la localidad Alto, dado que se

encuentran arriba de 0.2 g, que es un valor de alto riesgo que estaría influenciado por la amplificación de la onda sísmica debido a las condiciones del subsuelo.

De acuerdo a los valores obtenidos con la relación de Bufaliza (1984), para sismos iguales o mayores a 8.0 grados, son muy altos (mayores a 0.2 g) debido a que no considera los materiales del subsuelo y no toma en cuenta efecto de sitio. La relación de Malagón y López (2006), considera el tipo de suelo, ya sea valle aluvial o roca, lo que ajusta los valores a un modelo más apegado a la realidad y efectos que se pudieran presentar en el Municipio de Tecolotlán (Tabla 5-XI).

5.1.2.12 Funciones de Transferencia e Índices de calidad del Peligro Sísmico

Las funciones que traducen los valores absolutos de una variable (indicador) a un índice de calidad se denominan Funciones de Transformación, y no siempre son lineales. En algunos casos los indicadores de calidad serán cualitativos mientras que en otros serán cuantitativos. Si los indicadores a usar son cualitativos, se describirán claramente cuáles son los criterios usados para valorar la calidad del Peligro o Amenaza (Tabla XII).

En Sismología una de las variables utilizadas fue el concepto de magnitud de un sismo, introducido para proporcionar una medida instrumental del mismo, utilizando mediciones del movimiento de la tierra tomando en consideración la distancia y la profundidad focal. El desarrollo posterior condujo al uso de muchas fases sísmicas diferentes y a esfuerzos ya sea para “unificar” los resultados obtenidos por métodos diferentes en una medida común de la energía sísmica o de utilizar diferencias entre estimados individuales para un sismo dado para construir un cuadro del carácter de la fuente. Las estadísticas de las magnitudes han venido a proporcionar la base para el estudio y la comparación de la actividad sísmica de diferentes regiones de la tierra, o para estudiar la variación de actividad con el tiempo en una región dada.

La energía liberada en el foco del terremoto se define en función de la amplitud máxima de la onda sísmica, cuya ecuación está dada de la siguiente forma:

$$M_{\text{richter}} = M_L = \log A - \log A_0; \log A_0 = 6.37 - 3 \log A \quad (3)$$

La Tabla 5-XII. Muestra la relación de la magnitud con sus índices de calidad.

Tabla 5-XII. Relación de los Índices de Calidad para Peligro sísmico.

IC	DESCRIPCIÓN	CALIDAD
1	Generalmente no se siente, pero es registrado (< 3.5)	Calidad optima
2	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores (Magnitud 3.5-5.4)	Buena Calidad
3	Ocasiona daños ligeros (Magnitud 5.5-6.0).	Calidad Moderada
4	Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente (Magnitud 6.1-6.9).	Baja Calidad
5	Fuerte Terremoto. Causa graves daños (Magnitud 7.0-7.9)	Muy Baja Calidad
6	Gran Terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas al epicentro (Magnitud 8 o mayor).	Degradación Total

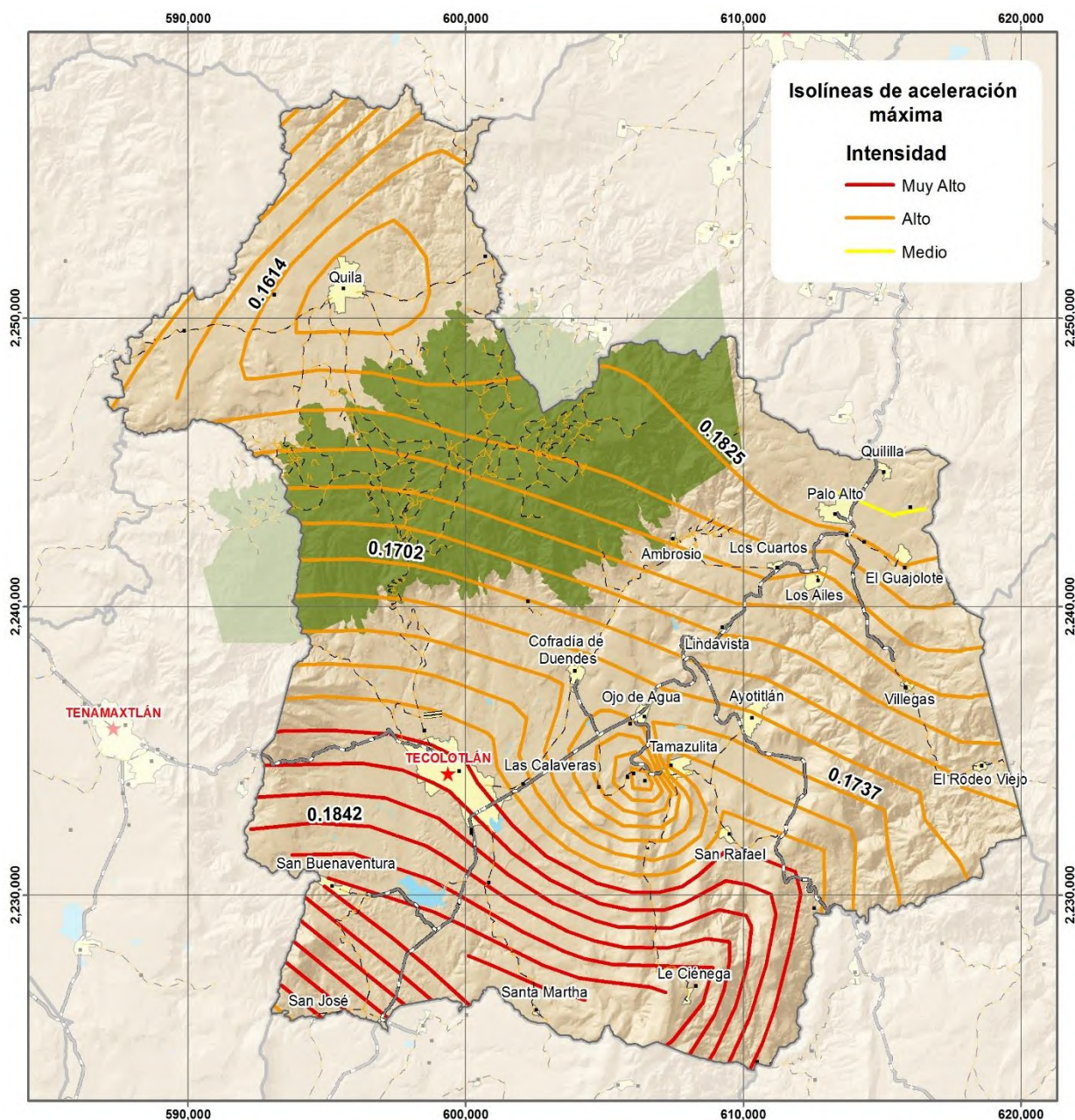
Fuente: Malagón, 2009.

5.1.2.13 Cálculo de la aceleración teórica máxima para el Municipio de Tecolotlán

Se construyó una microzonificación a partir de aceleraciones teóricas máximas que representa el peligro para el Municipio Tecolotlán, tomando en cuenta un sismo de magnitud 8.2 grados en la escala de Richter ubicado al sur de Jalisco distancia epicentral a Tecolotlán es de 80 km que es la cabecera Municipal de Tecolotlán. Las aceleraciones obtenidas oscilan entre 0.15 g y 0.18 g tomando como referencia un Valle Aluvial, que puede alcanzar valores hasta de 0.2 g, que es considerada como la zona de mayor aceleración teórica máxima para el Municipio. En los mapas 5-XXIX y 5-XXX, se muestra

las líneas de iso-aceleraciones y el mapa de peligro en función de las aceleraciones máximas calculadas para el Municipio (Tabla 5-XII), considerando peligro Muy Alto para Tecolotlán.

Imagen 5-XXIX. . Iso-líneas de la intensidad del peligro por sismo en el Municipio de Tecolotlán.



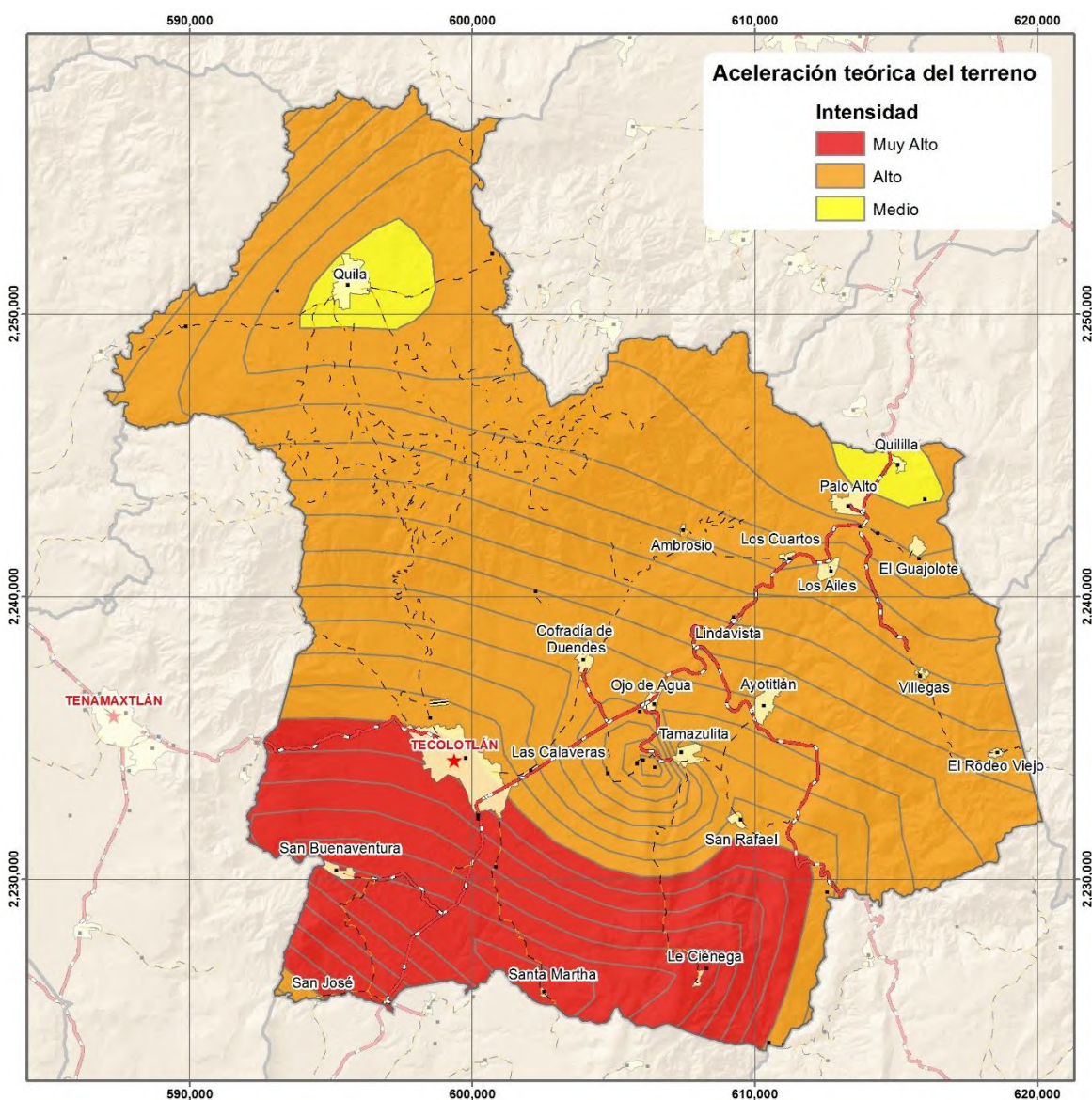
Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Tabla 5-XIII. Aceleraciones teóricas máximas generadas por un sismo de 8.2 grados.

Poblado	Aceleración Teórica Máxima (g)	Nivel de Peligro
Quila	0.1579	Medio
Tecolotlán	0.1796	Alto
San Buenaventura	0.1882	Muy Alto
Tamazulita	0.1764	Alto
Ayotitlán	0.1723	Alto
Cofradía de Duendes	0.1731	Alto
Ojo de Agua	0.1735	Alto
San Rafael	0.1783	Alto
Ambrosio	0.1649	Alto
Los Ailes	0.1657	Alto
Los Cuartos	0.1642	Alto
Palo Alto	0.1606	Alto
Quililla	0.1582	Medio
El Guajolote	0.1615	Alto
Villejas	0.1671	Alto
Lindavista	0.1681	Alto
Santa Martha	0.1914	Muy Alto
La Ciénega	0.1875	Muy Alto
El rodeo Viejo	0.1692	Alto

Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-XXX. Mapa del peligro por sismos en el Municipio de Tecolotlán, en función de aceleración teórica máxima del terreno.



Fuente: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016

Las aceleraciones máximas obtenidas con leyes de atenuación para el Municipio se pueden observar en la Imagen 5-XXIX es de Medio a Muy Alta. En cierta forma para las principales localidades es de Alta a Muy Alta, y es donde se centra la mayor concentración de la población, esencialmente para la cabecera municipal.

5.1.2.14 Implicaciones de la actividad sísmica y la aceleración del Terreno en el Municipio de Tecolotlán

Después de haber realizado el análisis regional y local de la sismicidad en el Municipio de Tecolotlán y observado el comportamiento de la sismicidad a través de diversos catálogos e información sísmica de la región se está preparado para plantear ciertas hipótesis del comportamiento sísmico de la zona en estudio.

La sismicidad que se puede dar en la zona de estudio, está asociada con el movimiento de placas en el pacífico, a los movimientos del bloque Jalisco y al ascenso de magma, asociado al Volcán Colima. El promedio de que ocurran terremotos devastadores en esta zona es de 126 años y de 70 en el caso de temblores de menor intensidad, pero que también pueden provocar daños a la población. La amenaza recae sobre todas las poblaciones incluidas en la cuenca, pero se esperan mayores daños en las áreas que se encuentran en las partes bajas de la cuenca, las cuales corresponden a las zonas con mayor densidad poblacional.

Se ha venido observando que la actividad sísmica a todo lo largo de la trinchera Mesoamericana está clara, y el alto nivel sísmico de actividad a nivel continental. Es cierto que la magnitud de estos eventos es menor que los sismos de límite de placa en la zona de subducción y en ocasiones imperceptible para los habitantes de la zona, pero el análisis de la sismicidad de los monitoreos locales demuestra que hay estructuras tectónicas activas que hasta ahora eran desconocidas. Es labor a futuro el llegar a su pleno conocimiento ya que hasta ahora no ha sido posible profundizar en este aspecto por falta de datos. Todo ello permitirá incluir muy posiblemente esta región, de una forma específica, en futuras evaluaciones de peligrosidad sísmica de México.

Del análisis de la sismicidad hacia el sur del estado de Jalisco, y a lo largo de la costa, se puede observar la franja de actividad sísmica.

Después del estudio de la microsismicidad del área de Tecolotlán, se han obtenido unos resultados y propuesto ciertas conclusiones que necesitan de un estudio más detallado y en profundidad, así mismo el monitoreo sísmico continuo como se ha venido manifestando, reconociendo el gran potencial de estudio que tiene la zona, a nivel regional y local en el Municipio.

El sismo de mayor magnitud registrado instrumentalmente en la zona, ocurrió en la frontera entre la Placa Tectónica de Rivera y el Bloque Jalisco en 1932, con magnitud de 8.2. La alta actividad sísmica en la costa puede activar estructuras geológicas (fracturas) a nivel continental, especialmente en el Municipio de Tecolotlán.

La aceleración máxima teórica obtenida para el municipio es alta y oscila entre 0.15 g a 0.18 g, es alta y cercana a presentarse una aceleración de 0.2 g, dependiendo del tipo de evento que se registre puede ser de peligro Muy Alto para la cabecera Municipal.

5.1.2.15 Periodo Fundamental del Suelo (T_s)

El periodo fundamental del suelo (T_s), es uno de los indicadores más usados mundialmente para estimar los efectos locales de los suelos, al ser sometidos a sollicitaciones sísmicas.

En muchas ocasiones se han podido asociar estos efectos a los daños observados en edificaciones, debido principalmente al fenómeno de resonancia en el cual tanto el suelo como la estructura oscilan en forma sincronizada y esta última se ve sometida a mayores esfuerzos y desplazamientos, los cuales pueden conducir al colapso.

Una forma económica de calcular el T_s , sin tener que recurrir a costosas perforaciones y ensayos de laboratorios, es el registro de sismos en diferentes sitios de la ciudad, mediante la instalación de una red local de acelógrafos durante algunos meses. A menudo se carece

de suficientes instrumentos y el número de sismos necesarios para poder describir el mapa de Ts de una ciudad, es por esto que en la actualidad la herramienta más usada en el cálculo de Ts en microzonificaciones sísmicas, es el uso de las vibraciones ambientales sin obviar la instrumentación sísmica local. Ante la falta de instrumentación para el registro sísmico y eventos en el área del Municipio de Tecolotlán, en el estudio de microzonificación sísmica, se ha utilizado métodos teóricos y empíricos, con el cual se busca fortalecer debilidades y a medida que se cuente con instrumentación sísmica los valores y datos obtenidos por métodos empíricos se obtendrán datos más precisos de los periodos dominantes de vibrar el terreno.

5.1.2.16 Metodologías empleadas

La modificación de la señal sísmica debida a la influencia de las condiciones geológicas y topográficas durante o después de un terremoto, se conoce como efecto local. Esta modificación consiste en la amplificación fuerte de la señal así como una mayor duración de la misma y la modificación de su contenido frecuencial.

El análisis de las anomalías de la intensidad sísmica obtenidas a partir de escalas macrosísmicas permitió establecer la evidencia que los terrenos blandos amplifican los efectos de los terremotos.

Se han desarrollado un gran número de escalas macrosísmicas que recogen y clasifican en grados los efectos que provoca el terremoto sobre las edificaciones, las personas y el medio natural.

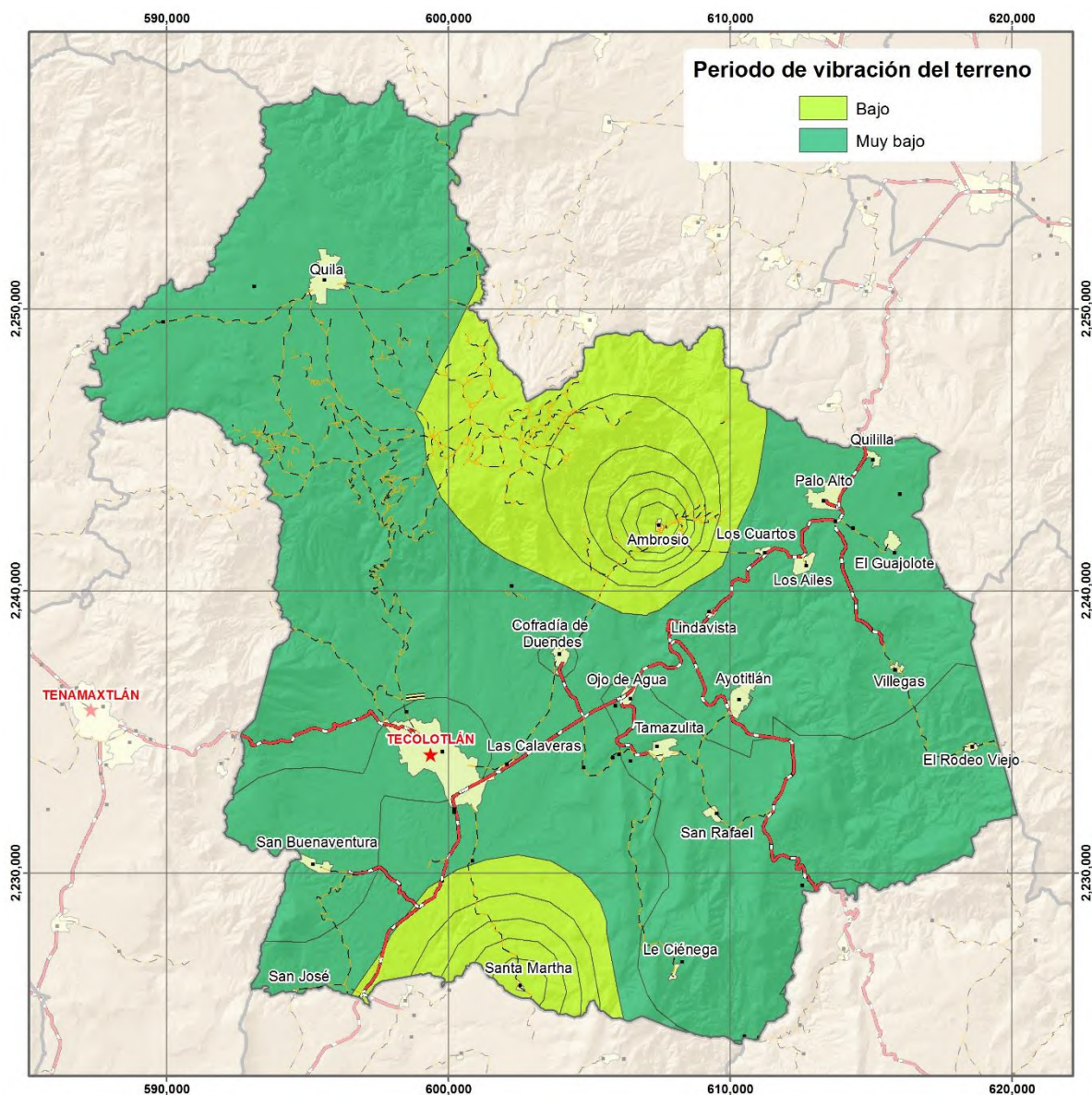
El análisis dinámico de los suelos es una herramienta fundamental en los estudios de microzonificación, ya que a través de él podemos conocer la respuesta o comportamiento de los suelos frente a ondas sísmicas; esta respuesta dinámica está íntimamente ligada con la frecuencia natural de vibración del suelo.

Por lo tanto, la identificación de las frecuencias predominantes del suelo y la cuantificación de la amplificación de la señal sísmica constituyen uno de los principales intereses en ingeniería sísmica. Las características del movimiento se pueden resumir en: gran amplificación a períodos largos, larga duración y períodos predominantes claramente definidos.

Para conseguir estas metas se recurre a métodos empíricos, como la técnica de Nakamura y a la simulación numérica de los efectos sísmicos locales, como fue el caso del Municipio de Tecolotlán.

Para realizar la microzonificación se ha recurrido a la simulación de eventos sísmicos de magnitud alta (mayor a 8.0 en la escala de Richter) y al cálculo de espectros de Fourier, para determinar la máxima frecuencia natural de vibración del terreno y el periodo dominante del mismo. El mapa de periodos dominantes del terreno obtenidos, se muestran en la Imagen 5-XXXI.

Imagen 5-XXXI. Periodos dominantes del terreno para el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: Instituto de Información estadística y Geográfica, 2016

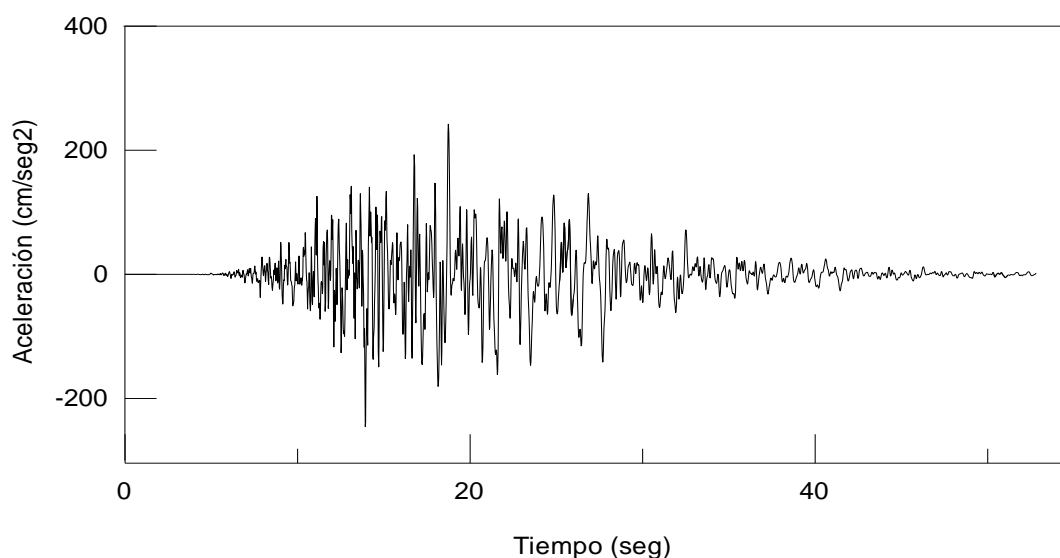
Una estimación burda del periodo fundamental de vibración en edificaciones de mampostería puede obtenerse al dividir el número de niveles entre 10, por lo que una edificación alta tiene periodo fundamental más grande. Cabe mencionar que los periodos de más riesgos para construcciones de mampostería son los de valor bajo que pueden ser

valores de 0.2 a 0.6 s, ya que la mayoría de las edificaciones en el Municipio no sobrepasan los dos niveles de construcción y están construidas con adobe y techumbres de teja o con muros de tabique y losas, con valores de periodos menores a 0.2 s. Por lo tanto, estas edificaciones tienen periodos fundamentales bajos. Es importante mencionar que debido al traslape entre los periodos del terreno con el de las construcciones existe el riesgo de que se presente el efecto de resonancia.

Otro rasgo importante para analizar es la presencia de periodos dominantes superiores a 0.15 segundos, lo que es indicio de un suelo blando, no obstante que en esta zona de estudio (Municipio de Tecolotlán) hay mucho material rocoso (basamento de rocas volcánicas). Algunas construcciones históricas tales como las iglesias son más altas, pero dadas las características de construcción pueden llegar a presentar periodos fundamentales del orden de 0.4 a 0.6 segundos.

Los valores obtenidos en el Municipio son periodos cortos, de poca duración y periodos predominantemente no bien definidos. Como se muestra en el acelerograma simulado en la cabecera Municipal (Imagen 5-XXXII). Además en su mayoría las construcciones en el Municipio no rebasan los dos o tres pisos, lo que hace bajo el peligro con la presencia de periodos dominantes con las características antes mencionadas.

Imagen 5-XXXII. Acelerograma sintético en la localidad de Tecolotlán.



Fuente: Malagón, 2016.

Se requiere realizar un monitoreo sísmico para determinar eventos útiles para complementar esta microzonificación o en su defecto realizar un monitoreo de microtrepidaciones para determinar el mapa correspondientes de los periodos dominantes del terreno para el Municipio.

5.1.2.16.1 Licuefacción de suelos

La licuación (o licuefacción) de suelos, ocurre cuando un material no consolidado (generalmente arenas) pierde su resistencia al esfuerzo cortante a causa de una vibración intensa y rápida (sismos), que rompe su estructura granular al reducir su presión intergranular. Al iniciarse la vibración, por efecto de un sismo, el material se expande y las partículas sólidas adoptan un estado muy suelto (por pérdida del soporte mutuo entre los granos); cuando el movimiento cesa, el material tiende a compactarse bruscamente, produciendo las presiones intersticiales que causan la licuación.

Durante los terremotos el movimiento del terreno puede causar una pérdida de la firmeza o rigidez del suelo que da como resultados el desplome de edificaciones, deslizamientos de tierra, daños en las tuberías, entre otros. El proceso que conduce a esta pérdida de firmeza o rigidez es conocido como *licuación del suelo*. Este fenómeno está principalmente, más no exclusivamente, asociado con suelos saturados poco cohesivos. El término licuación, incluye entonces todos los fenómenos donde se dan excesivas deformaciones o movimientos como resultado de transitorias o repetidas perturbaciones de suelos saturados poco cohesivos.

Según Fernández y Crumley, 2007, el suelo completamente saturado, con arenas sin cohesión, generalmente limpias, que pueden incluir algo de gravas puede ser licuefactado durante la sacudida sísmica. El incremento de la presión de poro provocado por la licuación, puede generar chorros de agua y aire mezclados con sedimentos finos, que cuando son expulsados sobre la superficie del terreno, forman volcanes de arena y agua.

Estas manifestaciones, notoriamente visibles en la superficie del terreno, pueden constituir indicadores de áreas susceptibles a la licuefacción. Los materiales más vulnerables a la licuefacción son: Las arenas limpias, no consolidadas y saturadas y los ambientes sedimentarios más favorables para la génesis de licuefacciones son: playas, barras arenosas y sistemas fluviales, ambientes lacustres y fluviolacustres.

En primer lugar es muy importante saber que los únicos materiales térreos que presentan el fenómeno de licuación son los suelos granulares que tengan una distribución de partículas uniforme y con cierta cantidad o contenido de materiales finos como limos o arcillas. Es decir: gravas y arenas bien graduadas, arenas finas y arenas limosas.

Entre las condiciones necesarias que se deben reunir para que los suelos granulares experimenten el fenómeno de licuación se encuentran: la distribución granulométrica de sus partículas, la baja densidad de los materiales, su ubicación bajo el nivel freático (suelos saturados) y, principalmente, estar sometidos a la acción de fuerzas dinámicas como las que generan los sismos.

Un suelo arenoso totalmente saturado se licua cuando la resistencia al esfuerzo cortante entre sus partículas disminuye a tal grado que la mezcla agua-suelo se comporta como un semilíquido o líquido.

Tal fenómeno está condicionado por la generación de presión en el agua, también reconocida como presión de poro, dentro de la masa del suelo, lo que determina la reducción de los esfuerzos efectivos; y con ello, la disminución y pérdida temporal de su resistencia al esfuerzo cortante. Los aumentos de presión en el agua, que inducen el fenómeno de licuación, son provocados por la acción de los movimientos sísmicos. Una

característica muy importante que indica la ocurrencia de licuación de suelos es la expulsión de una mezcla agua-suelo a través de pequeños volcancitos o grietas que se forman en la superficie del terreno.

El fenómeno de licuación de suelos tiene un potencial destructivo muy alto. En México, así como en otros países, el fenómeno de licuación de suelos ha causado daños muy severos en obras de ingeniería, infraestructura y vivienda; tales son los casos reportados durante los sismos de Michoacán, 1985, Manzanillo, 1995 por mencionar algunos casos.

5.1.2.16.2 Estratigrafía del suelo de Tecolotlán

Los terrenos del municipio pertenecen al período Cretácico, compuestos por rocas sedimentarias, lutita-arenisca, caliza, yeso, rocas ígneas intrusivas, granito, granodiorita, diorita y sienita. La cabecera municipal está compuesto principalmente de materiales aluviales. El sitio elegido para estudiar el subsuelo fue el Baulito, cuyo estudio realizado fue utilizando métodos eléctricos cuya profundidad de análisis es de 20 m, encontrando a esta profundidad una estratigrafía difusa de materiales de limos y arcillas, con fracturamientos, hundimientos y altos contenidos de humedad. (Imagen 5-XXXIII, 5-XXXIV y 5-XXXV).

Imagen 5-XXXIII. Material fino con humedad (limo) encontrado en el Baulito



Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-XXXIV. Material fino intercalado con cantos rodados y alto contenido de humedad (limo) encontrado en el Baulito.



Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

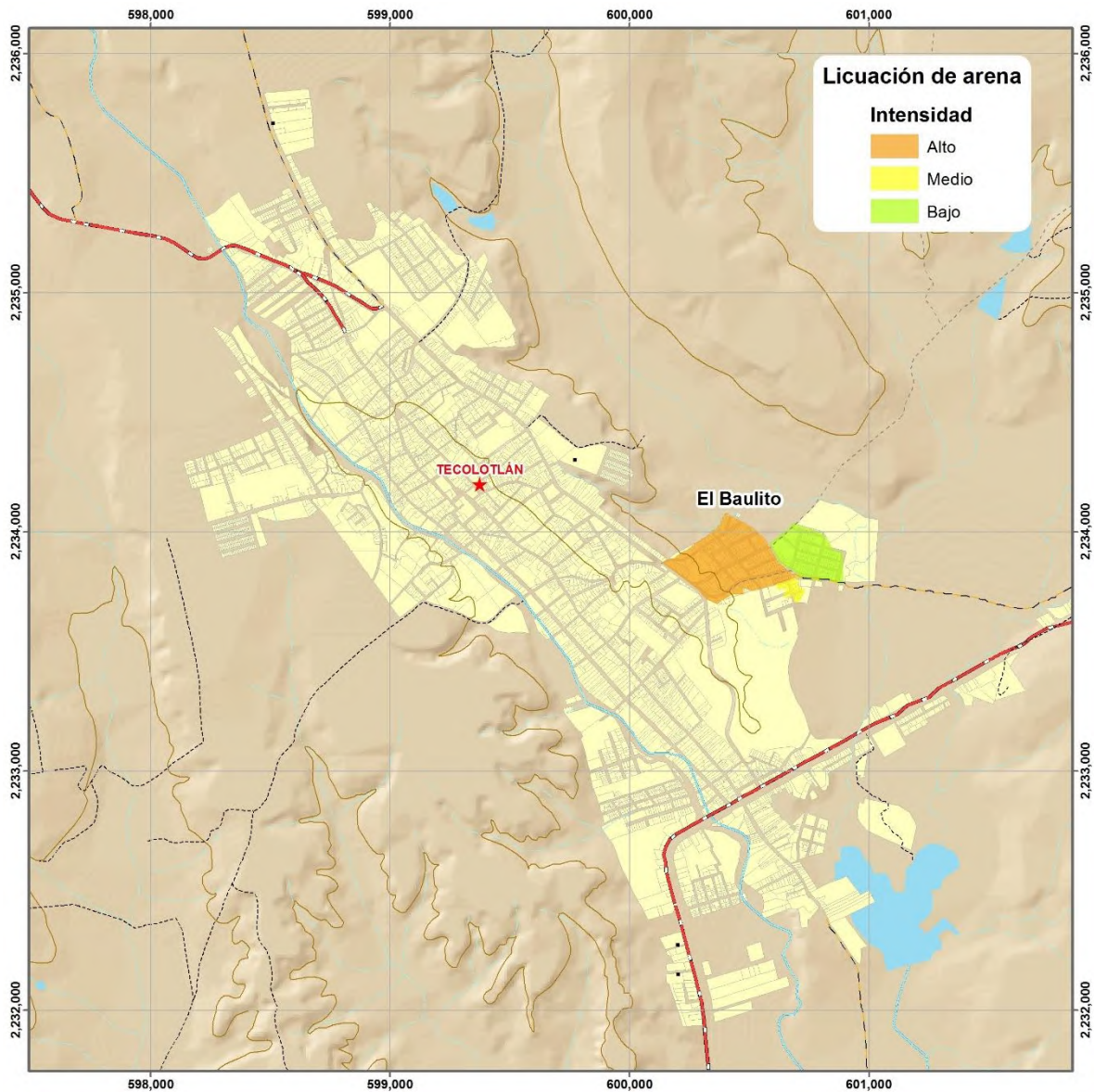
Imagen 5-XXXV. Pozo de 50 cm, con material fino con humedad por rotura de tubería encontrado en el Baulito.



Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Estas condiciones del terreno con la presencia de las fuerzas dinámicas que genera un sismo de gran magnitud (mayor a 8.0 grados en la escala de Richter), corre el peligro de presentarse el fenómeno de licuación de suelos. Los sitios identificados con estas condiciones se muestran en el mapa de la Imagen 5-XXXVI.

Imagen 5-XXXVI. Identificación de zonas propensas a la Licuación de suelos en Tecolotlán.



Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

5.1.2.17 *Evaluación de la vulnerabilidad*

Una evaluación de la vulnerabilidad por la ocurrencia de un evento sísmico en el Municipio de Tecolotlán, se realizó a partir de la determinación del grado de exposición y resistencia de viviendas, sistemas urbanos - líneas vitales y edificaciones esenciales, frente a la vibración sísmica, licuación de arenas e impacto del fenómeno.

Está basada en dos criterios que permiten evaluar la vulnerabilidad física de las poblaciones de manera cualitativa y con un nivel intermedio, es decir, sin llegar al grado de detalle de evaluaciones estructurales puntuales y funcionales de los componentes estudiados. Uno de los criterios es la determinación del grado de exposición de los elementos, a partir de su localización en áreas de menor o mayor amenaza, definidas con base en los escenarios exposición construidos a partir de cartografía temática (licuación e inundación), información histórica y trabajo de campo.

El otro factor, es la resistencia de estos elementos frente a los fenómenos evaluados, medida a partir de sus características constructivas y estructurales, edad, estado de conservación, materiales y disposición sobre los terrenos donde se emplazan. Estos criterios requieren conocimientos sobre variables ambientales, de emplazamiento de los elementos expuestos y grado relativo de resistencia, con base en secuencias de integración y comparación (cruce) de información, incluidas observaciones de campo que permiten identificar y asignar calificaciones de vulnerabilidad.

La metodología se caracteriza por ser rápida y sencilla, lo que permite identificar los componentes y entornos más vulnerables sobre los cuales se deben priorizar las acciones, esto permite elaborar estudios más detallados o para la intervención y acción por parte de actores individuales, comunitarios e institucionales. La Tabla 5-XIII, 5-XIV y 5-XV

muestra los elementos evaluados en un rango de 0 a 1.0, donde 1 es valor para la Vulnerabilidad más alta en caso de la ocurrencia de Licuación del terreno ante fuerzas dinámicas generadas por un sismos, evaluadas para infraestructura, elementos lineales como brechas y caminos y población.






Los resultados obtenidos en esta evaluación son cualitativos y por lo tanto, solo pueden tomarse como indicativos de la vulnerabilidad física frente a cada uno de los fenómenos evaluados. Se presentan como una contribución inicial de conocimiento a la toma de acciones para la reducción de riesgo y sus fenómenos asociados en las localidades del Municipio.

El grado de exposición por vibración sísmica de las viviendas, sistemas urbanos/líneas vitales y edificaciones esenciales, es de Muy Bajo a Bajo y generalizado en la mayoría de las poblaciones analizadas, debido a que éstas se emplazan sobre una zona de amenaza sísmica alta, que puede estar sometida a aceleraciones del terreno del orden de 0.18 g .

Finalmente, se realizó una Zonificación Regional, preliminar e indicativa, de la exposición con base en la cartografía generada a partir de testimonios históricos y criterios fisiográficos y geomorfológicos.

El grado de exposición por vibración sísmica de las viviendas, sistemas urbanos/líneas vitales y edificaciones esenciales, es alto y generalizado en la mayoría de las poblaciones analizadas, debido a que éstas se emplazan sobre una zona de amenaza sísmica alta, que puede estar sometida a aceleraciones del terreno del orden de 0,2 g sobre terrenos recientes como arenas, limos y depósitos aluviales. Además, se encontró que los elementos expuestos poseen una alta vulnerabilidad por resistencia, reflejada en las deficiencias constructivas y estructurales de viviendas en adobe y ladrillo o concreto, infraestructura de vías y transportes y edificaciones esenciales (Tabla 5-XIV).

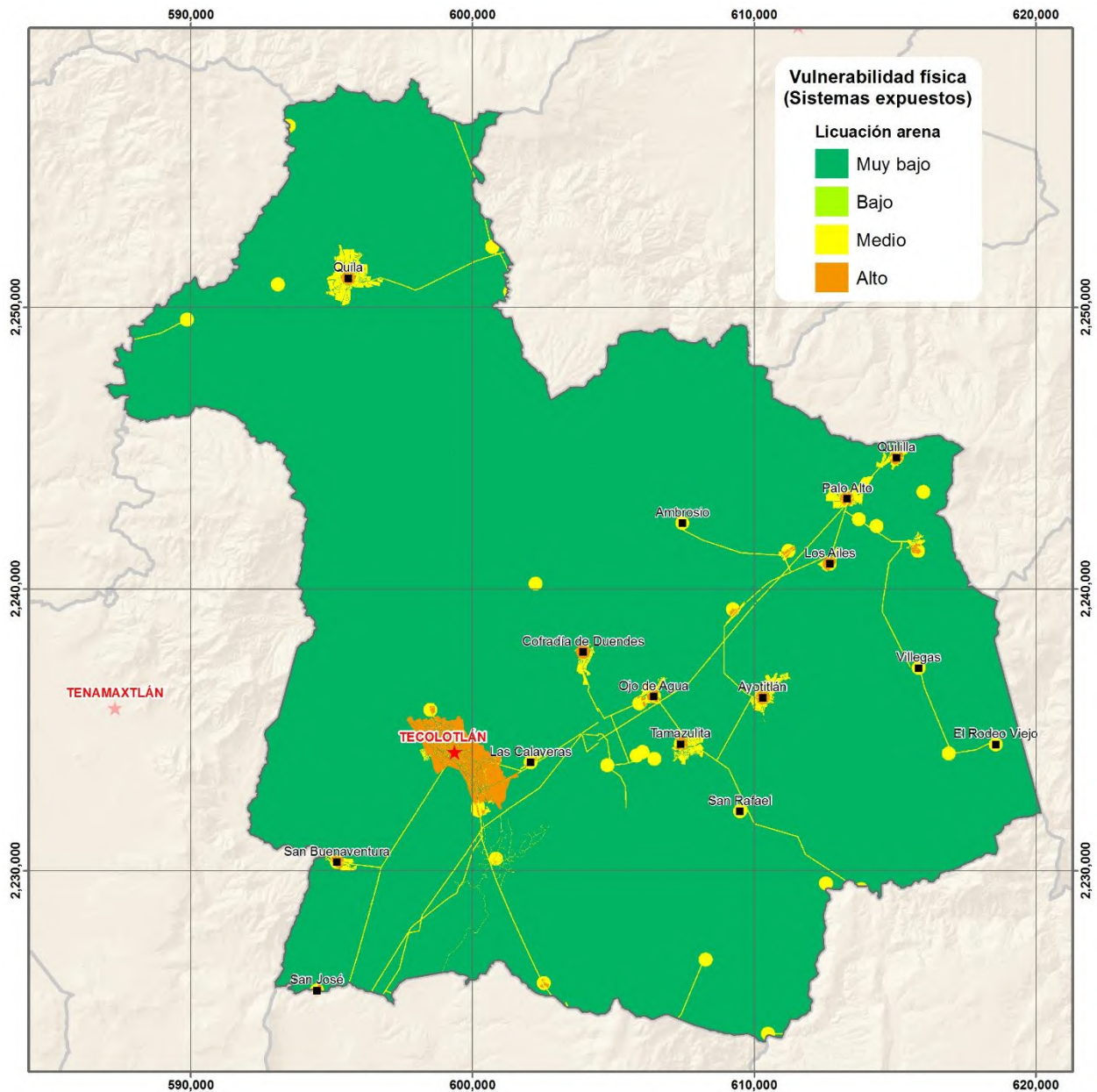
Tabla 5-XIV. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por sismos

Índice de Vulnerabilidad Física	Intensidad de Vulnerabilidad	Color	Rango de Daño	Tipo de Daño
0.2	Muy Baja		0-0.2	No hay daño, No afecta la estabilidad estructura
0.4	Baja		0.2-0.4	No hay daño, No afecta la estabilidad estructura
0.6	Media		0.4-0.6	Fisuras en muros, estabilidad no afectada, Reparaciones no urgentes
0.8	Alta		0.6-0.8	Fracturas estructurales, Destrucción parcial, es necesario evacuar
1.0	Muy Alta		0.8-1.0	Destrucción parcial o total, evacuación necesaria, reconstrucción total.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).






El mapa de la Vulnerabilidad física en el caso de presencia de Licuación de arenas se muestra en la Imagen 5-XXXVII.

Imagen 5-XXXVII. Mapa de Vulnerabilidad Física para Licuación de Arenas.



Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Tabla 5-XV. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por Licuación de arenas.

Índice de Vulnerabilidad Física	Intensidad de Vulnerabilidad	Color	Rango de Daño	Tipo de Daño
0.2	Muy Baja		0-0.2	No hay daño, No afecta la estabilidad estructural
0.4	Baja		0-2-0.4	No hay daño, No afecta la estabilidad estructura
0.6	Media		0.4-0.6	Fisuras en muros, estabilidad no afectada, Reparaciones no urgentes
0.8	Alta		0.6-0.8	Fracturas estructurales, Destrucción parcial, es necesario evacuar
1.0	Muy Alta		0.8-1.0	Destrucción parcial o total, evacuación necesaria, reconstrucción total.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).

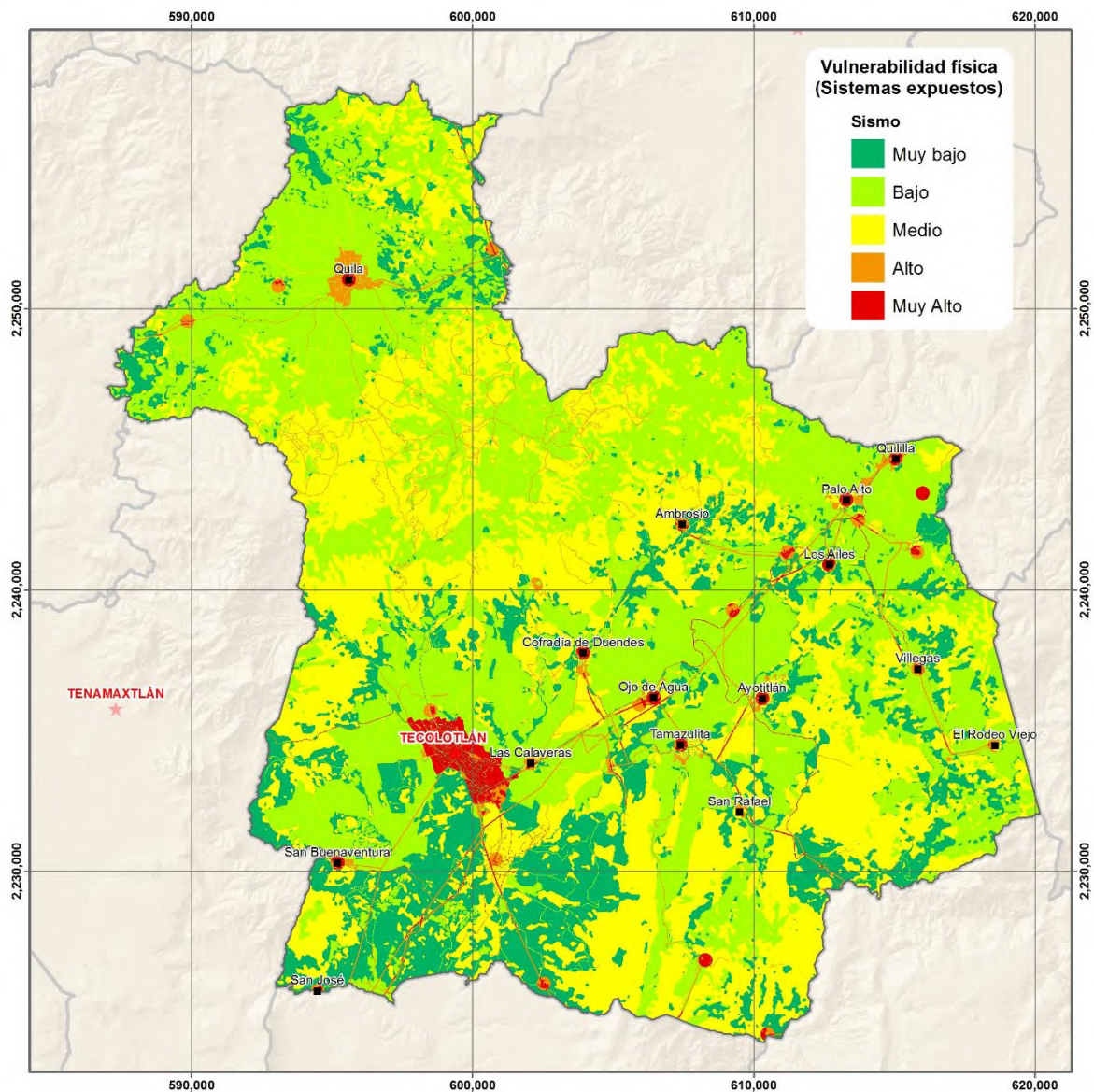
5.1.2.18 Escenarios de Vulnerabilidad

El estado de Jalisco, se encuentra asentado sobre una de las fuentes sísmicas donde se presentan terremotos de grandes magnitudes con alto potencial de Riesgo en, la Zona de Subducción del Pacífico. Esta fuente sísmica causó el sismo más grandes conocido en la historia de México en junio de 1932 con $M = 8.2$. En ellos ocurrieron los tres tipos de fenómenos asociados: vibraciones fuertes del terreno, licuación de suelos y tsunami.

El terremoto de 1995, aunque de menor área de ruptura que el de 1932 también causó vibraciones muy fuertes, a tal punto que nadie podía permanecer en pie. De casi todas las localidades costeras no se tiene noticia de los efectos de las vibraciones sísmicas, pues sobre éstos se superpuso el tsunami, tanto en 1932 como en 1995, de tal manera que los reportes se concentran en él.






Por otro lado, el fenómeno de licuación no es estacionario en el tiempo, depende de factores como la profundidad del nivel freático, a su vez influenciado por el régimen de la corriente y por la ocurrencia de lluvias prolongadas y saturación de los suelos, por cambios en las barras y bajos de arena producto de las corrientes fluviales y por la ejecución de rellenos. La Imagen XXXVIII muestra el mapa de vulnerabilidad por efecto sísmico para el Municipio de Tecolotlán.

Imagen 5-XXXVIII. Mapa de vulnerabilidad Física para sistemas expuestos por sismos en el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

Tabla 5-XVI. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para sismos.

Índice de Vulnerabilidad Física	Intensidad de Vulnerabilidad	Color	Rango de Daño	Tipo de Daño
.2	Muy Baja		0-0.2	No hay daño, No afecta la estabilidad estructura.
0.4	Baja		0-2-0.4	No hay daño, No afecta la estabilidad estructura
0.6	Media		0.4-0.6	Fisuras en muros, estabilidad no afectada, Reparaciones no urgentes
0.8	Alta		0.6-0.8	Fracturas estructurales, Destrucción parcial, es necesario evacuar
1.0	Muy Alta		0.8-1.0	Destrucción parcial o total, evacuación necesaria, reconstrucción total.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).

5.1.2.19 *Análisis del Riesgo*

El escenario de riesgo es la representación de los resultados de la interacción de los diferentes factores de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) en un territorio y en un momento dado. Debe representar y permitir identificar el tipo de daño y pérdidas que puedan producirse en caso de presentarse un evento sísmico en unas condiciones dadas de vulnerabilidad.

Considerando que el impacto de un sismo depende de diferentes aspectos, tanto del evento, (tales como la magnitud, intensidad, profundidad del foco, directividad, efectos de ampliación de las ondas sísmicas y duración), como de las condicionantes como hora de ocurrencia, densidad poblacional, capacidad de respuesta de la comunidad frente a un

evento sísmico, etc.; el estudio no se propone el cálculo de una cifra de víctimas considerando el alto grado de incertidumbre de su resultado.

Para la cuantificación de los diferentes rangos de riesgo y establecer una estimación general sobre el tipo de daño, pérdida y afectación esperada se utilizará el criterio descriptivo para la determinación del riesgo, ampliación de las ondas sísmicas y duración), como de las condicionantes como hora de ocurrencia, densidad poblacional, capacidad de respuesta de la comunidad frente a un evento sísmico, etc.; el estudio no se propone el cálculo de una cifra de víctimas considerando el alto grado de incertidumbre de su resultado.

Para la cuantificación de los diferentes rangos de riesgo y establecer una estimación general sobre el tipo de daño, pérdida y afectación esperada se utilizará el criterio descriptivo para la determinación del riesgo.

El riesgo sísmico del Municipio de Tecolotlán está condicionado por la ubicación de la zona en una región de alta sismicidad. Las características bastante estables de los suelos, hacen que los mismos tengan limitada relevancia, considerando que no incrementan ni disminuyen la vulnerabilidad de las estructuras frente a un sismo de grandes magnitudes, como si lo haría el nivel de vulnerabilidad estructural que influye directamente en las posibilidades de colapso de las mismas frente al sacudimiento del suelo producido por un sismo.

La localidad de Tecolotlán presenta viviendas construídas de adobe y construidas en zonas de rellenos con materiales de mala calidad y en la actualidad se encuentran en mal estado de conservación y alto nivel de precariedad y con una sobrepoblación. En estas condiciones todas estas viviendas son altamente vulnerables a sacudimientos del orden que se ha considerado hipotéticamente en este estudio. En la evaluación del riesgo se han considerado tres elementos que son la infraestructura, población y elementos lineales (terracerías, brechas, caminos etc.). En la tabla 5-XVII se muestra dentro de la estadística en

Infraestructura 72 elementos en riesgo Alto, siendo mayor las que se encuentran en medio con 1315 elementos (restaurant, postes de CFE, postes de Luz, etc.). Por lo tanto, será esta vulnerabilidad la causa de los altos niveles de afectación física y presencia de riesgo (Tabla 5-XVII).

Tabla 5-XVII. Riesgo por Sismo para Infraestructura

Intensidad de Riesgo	Elementos en Riesgo
Alto	72
Bajo	1625
Medio	1315
Muy bajo	1321
Total general	4333

Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

El riesgo que representa para la población, tomando en cuenta habitantes por vivienda, el riesgo alto se representa para una población de 100 habitantes, pero en un riesgo medio hay 7863 habitantes (Tabla 5-XVIII).

Tabla 5-XVIII. Riesgo por sismo para Pob.-Viv.

Intensidad de Riesgo	Población Total
Alto	100
Bajo	7717
Medio	7863
Muy bajo	575
Total general	16255

Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

Para el caso del riesgo por sismo sobre elementos lineales que representan las terracerías, caminos o brechas, que sean afectadas agrietamientos, fallas bloqueos de caminos ante la presencia de un sismo, se obtuvo que la intensidad de riesgo alto hay 1854 m de terreno que pueden ser afectados y en un riesgo medio 47,388 m de caminos afectables (Tabla 5-XIX).

Tabla 5-XIX. Riesgo por Sismo – Lineal

Intensidad de Riesgo	Longitud (m)
Alto	1854.905729
Bajo	247610.4259
Medio	47388.32192
Muy bajo	629448.7796
Total general	926302.4331

Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017

Para el caso del riesgo por Licuación de arenas, que es un fenómeno producto de fuerzas dinámicas generadas por un sismo en la que intervienen otros factores como: humedad y tipo de terreno, se observan riesgos desde Muy Bajo a Bajo, es decir elementos de infraestructura con riesgo y daños leves ocasionados por este fenómeno, los elementos en riesgo son 30 estructuras desde comercio, postes de CFE, restaurante (Tabla 5-XX).

Tabla 5-XX. Riesgo por Licuación de arenas para Infraestructura.

Intensidad de Riesgo	Elementos en Riesgo
Bajo	30
COMERCIO	1
POSTE DE CFE	20
POSTE DE TELEFONO	8
RESTAURANTE	1
Muy bajo	48
POSTE DE CFE	34
POSTE DE TELEFONO	13
RESTAURANTE	1
Total general	78

Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

La intensidad del riesgo por Licuación de arenas de acuerdo al análisis estadístico se considera que se presenta de Bajo a Muy Bajo, esta intensidad de hecho presenta nula

afectación en los caminos, brechas o terracerías. Por otra parte la intensidad Baja presenta afectación leve a 145.4 m de longitud de terreno (Tabla 5-XXI).

Tabla 5-XXI. Riesgo por Licuación de arenas para Brechas y Caminos.

Intensidad de Riesgo	Longitud (m)
Bajo	145.4019031
BRECHA	102.4276475
DESCONOCIDA	42.97425565
Muy bajo	648.9139124
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA	227.1535001
BRECHA	222.179631
DESCONOCIDA	5.500377191
TERRACERÍA	194.0804041
Total general	794.3158155

Fuente: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

El riesgo por Licuación de arenas para la población ubicada en zonas propensas a que se presente este fenómeno con afectaciones es bajo con una población total de 657 personas en riesgo (Tabla 5-XXII).

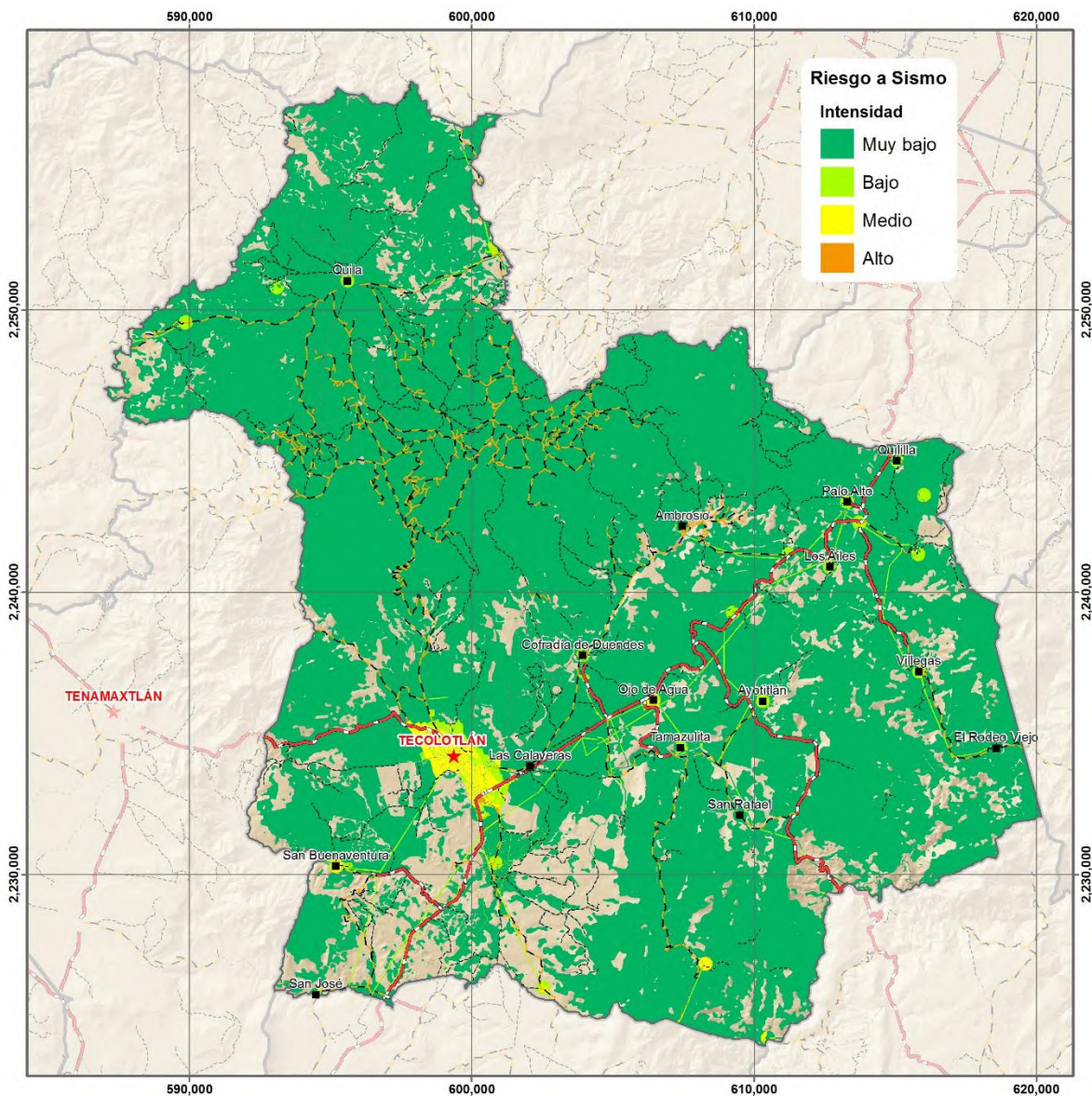
Tabla 5-XXII. Riesgo por Licuación de arenas para Población

Riesgo	Población Total	Población-Vivienda
Bajo	657	188
Muy bajo	45	13
Total general	702	201

Fuente: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

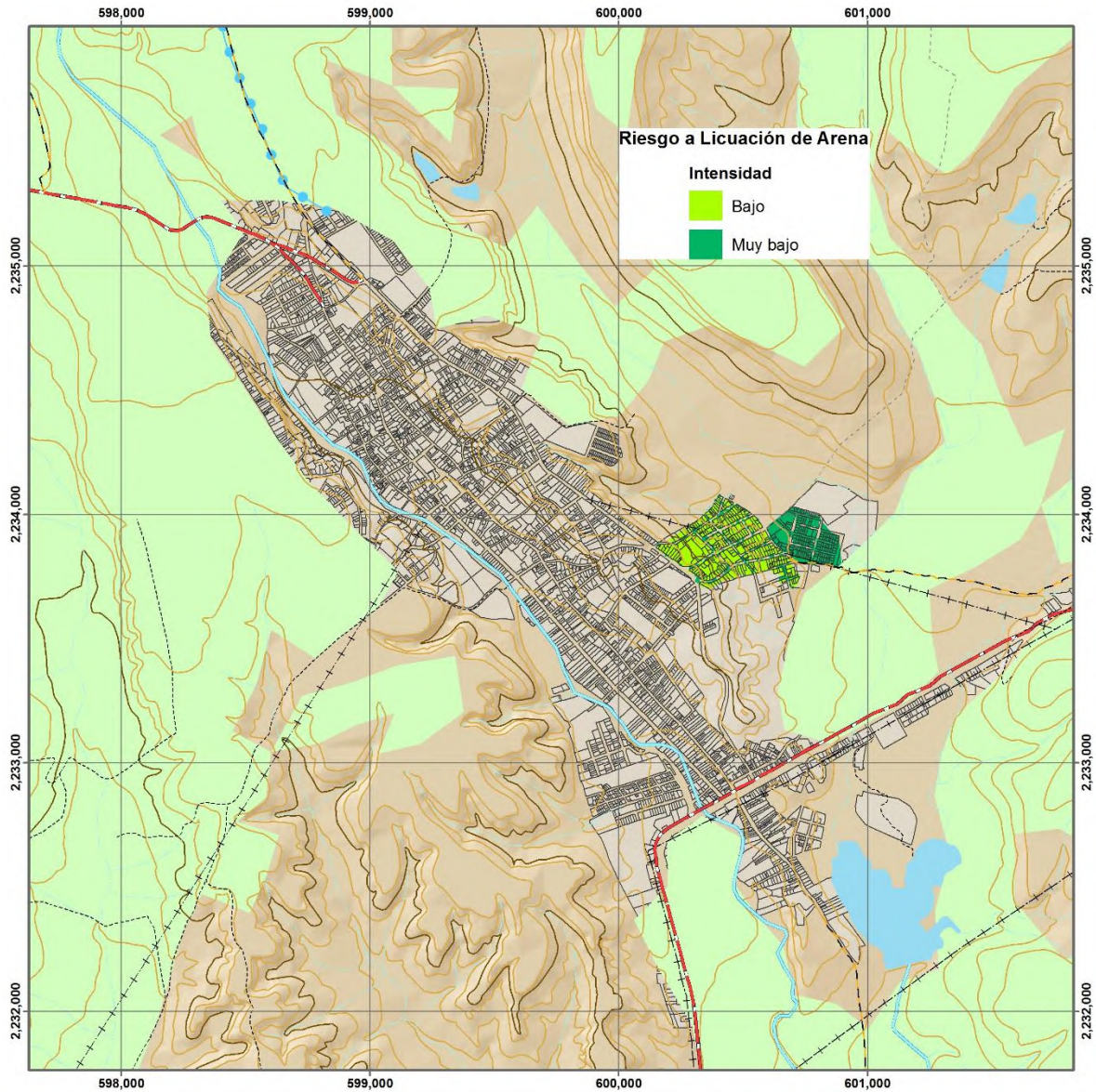
En la imagen 5-XXXIX y 5-XL muestra el mapa de riesgos por sismo y por Licuación de arenas.

Imagen 5-XXXIX. Riesgo por sismo para el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG. Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2017.


Imagen 5-XL. Riesgo por Licuación de Arenas para la Cabecera Municipal.



Fuente: IIEG. Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2017.



La matriz de riesgo por sismos representa el nivel de riesgo y descripción de efectos que se generarían en caso de la ocurrencia de un sismo, haciendo referencia a los mapas de riesgos por sismo o Licuación de arenas (Tabla 5-XXIII).

Tabla 5-XXIII. Matriz de riesgo por sismo

Nivel del riesgo	Color	Descripción
Muy Bajo		No hay daños. Generalmente no se siente el sismo pero es registrado (< 3.5 grados). Calidad óptima.
Bajo		A menudo se siente, pero sólo causa daños menores (Magnitud 3.5-5.4). Aceptable.
Medio		Ocasiona daños ligeros (Magnitud 5.5-6.0). Calidad Moderada
Alto		Fuerte Terremoto. Causa graves daños (Magnitud 6.1-7.9)

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996)

Tabla 5-XXIV. Matriz de riesgo por Licuación de Arenas.

Nivel del riesgo	Color	Descripción
Bajo		Se presentan bajas condiciones para la presencia de Licuación de arenas.
Muy Bajo		No hay efectos ni daños por Licuación de arenas.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996)

5.1.2.20 Medidas de Mitigación

Si bien se sabe que los sismos no se pueden predecir, ni saber de qué magnitud ocurrirá, si es posible tomar medidas para que los daños en caso de un gran sismo, puedan ser mínimos. Dado que el Municipio se encuentra en una zona sísmica. Recuerde, un terremoto de gran intensidad puede afectar en cualquier momento. Tome las siguientes medidas de precaución para evitar la muerte, heridas y daños a la propiedad.

- **AHORA:**

1. Desarrolle una conciencia sísmica.
2. Haga una inspección minuciosa de su casa y lugar de trabajo/estudio para determinar si hay peligros estructurales.
3. Asesórese con un ingeniero para asegurar la estabilidad estructural durante un terremoto.
4. Construya en terreno firme.
5. Identifique y tome medidas para reducir los peligros que hay en su hogar, vecindario y centro de trabajo/estudio.
6. Ancle los muebles potencialmente inestables a la pared o al piso.
7. Sujete muebles y enseres con ruedas al piso y las paredes

8. Asegure las puertas de los gabinetes y enseres.
9. Asegure firmemente los objetos colgantes del techo.
10. Remueva objetos pesados de lugares altos.
11. Aleje las camas de lugares peligrosos.
12. Sujete los tanques de gas y calentadores de agua a la pared.
13. Use tubos de materiales flexibles.
14. Mantenga las salidas libres.
15. Adquiera un seguro adecuado contra terremoto.
16. Prepare un plan de contingencia para su familia/hogar y lugar de trabajo/estudio.
17. Haga un duplicado de las llaves de su hogar y vehículo.
18. Mantenga una linterna con baterías de repuesto al lado de su cama.
19. Mantenga un radio portátil con baterías.
20. Coloque un extintor de incendios en un sitio accesible.
21. Mantenga una reserva adecuada de alimentos.
22. Guarde una reserva abundante de agua.
23. Mantenga en un lugar accesible una caja de herramientas.
24. Esté preparado para suministrar primeros auxilios y asegúrese de tener suficientes medicinas.
25. Guarde los documentos importantes en una caja de seguridad.
26. Para los salones de clases y lugares de trabajo, preparar una mochila de seguridad. Las mismas deben incluir suministros para primeros auxilios (alcohol, antiséptico, gasas, etc.), radio, linterna, baterías para radio y linterna, marcadores, libreta, guantes, y otras cosas que entienda sean necesarias.
27. Desarrolle un plan con sus vecinos para enfrentar terremotos.
28. Haga una evaluación de los recursos del vecindario.
29. Prepára a sus niños para enfrentarse a un terremoto.
30. Oriente a las personas con impedimentos.
31. No debe dejar realengos los animales domésticos.
32. Conduzca y practique simulacros contra terremotos en su hogar y lugar de trabajo/estudio.
33. Si vive o trabaja en un edificio alto, prepárese para oscilaciones fuertes.
34. Conozca rutas alternas.

- **DURANTE**

1. Reaccione con prontitud.
2. Si está dentro de su casa u otra edificación, quédese ahí y muévase a un lugar seguro.
3. Manténgase alejado de objetos peligrosos y protéjase contra los que caigan.
4. No corra. En la mayoría de los casos es más seguro quedarse adentro que tratar de salir.
5. Trate de salir por las escaleras durante el terremoto.
6. Detenga su automóvil y permanezca en él.
7. Si está fuera, quédese ahí, alejándose de postes, árboles.
8. Si está en un sillón de ruedas, quédese en él y trate de esquivar objetos que puedan estar cayendo.

- **DESPUÉS**

1. Aléjese del mar.
2. Mantenga la calma, tome unos momentos para pensar las consecuencias de lo que vaya a hacer.
3. Implante su plan de emergencia familiar y comunal.
4. Haga una rápida inspección inicial por si hay heridos o gente atrapada.
5. Póngase ropa adecuada.
6. Verifique si hay incendios.
7. No haga llamadas innecesarias.
8. Si detecta escapes de gas, cierre la válvula principal, abra las ventanas y salga de la edificación.
9. Desconecte el servicio eléctrico si hay daño en el sistema eléctrico de la propiedad.
10. No toque cables o postes eléctricos que hayan caído al suelo.
11. Disponga adecuadamente de sustancias peligrosas que se hayan derramado.
12. Examine el sistema sanitario.
13. Abra la pluma de agua fría y almacene agua en los lavabos y bañeras.
14. Inspeccione su casa cuidadosamente por si hay daños estructurales.
15. Tenga cuidado al abrir las puertas del mobiliario.

16. Sintonicé el sistema de radiodifusión de emergencia.
17. No salga al mar.
18. Esté preparado para más temblores.
19. Si usted es lisiado y está atrapado, llame o haga ruido para recibir ayuda.
20. Si usted es sordo o tiene problemas auditivos, atraiga la atención de otros.
21. Ayude a las personas con impedimentos visuales.
22. Coopere con la Defensa Civil y otras autoridades de emergencia y seguridad pública.

- **OTRAS RECOMENDACIONES**
-

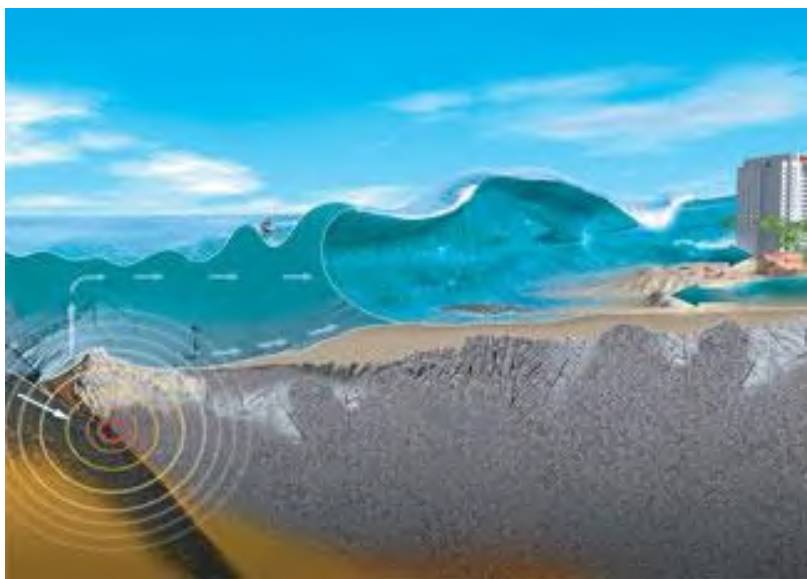
Se requiere realizar un Monitoreo sísmico local

Se debe contar con instrumentación sísmica y acelerográfica para detectar actividad sísmica local o intracontinental y detectar actividad sísmica producto de estructuras geológicas activas (Fallas) de riesgo para el Municipio.

5.1.3 TSUNAMIS O MAREMOTOS

El término tsunami es japonés; internacionalmente se usa para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Es una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto; a las costas pueden arribar con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales. La gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino (Imagen 5-XLI).

Imagen 5-XLI. Evolución de un Tsunami.



Fuente: Cruz, 2005.

Un Tsunami (del japonés Tsu: puerto o bahía, Nami: ola) es una ola o serie de olas que se producen en una masa de agua al ser empujada violentamente por una fuerza que la desplaza verticalmente. Terremotos, volcanes, meteoritos, derrumbes costeros o subterráneos e incluso explosiones de gran magnitud pueden generar un tsunami.

Un tsunami generalmente no es sentido por las naves en alta mar (las olas en alta mar son pequeñas) ni puede visualizarse desde la altura de un avión volando sobre el mar.

Como puede suponerse, los tsunamis pueden ser ocasionados por terremotos locales o por terremotos ocurridos a distancia. De ambos, los primeros son los que producen daños más devastadores debido a que no se alcanza a contar con tiempo suficiente para evacuar la zona (generalmente se producen entre 5 y 20 minutos después del terremoto) y a que el terremoto por sí mismo genera terror y caos que hacen muy difícil organizar una evacuación ordenada.

Los tsunamis, son consecuencia de sismos tectónicos de gran magnitud cuyo origen se encuentra bajo el fondo del océano. Debido al movimiento vertical del piso oceánico, la perturbación generada en el agua llega a desplazarse con velocidades de hasta 900 km/h en mar abierto, sin que sea posible percibir cambios de nivel. Sin embargo, al llegar a la costa su velocidad disminuye notablemente pero su altura puede aumentar hasta alcanzar unos 30 metros, como sucedió en Japón a finales del siglo XIX.

Para que un terremoto origine un tsunami el fondo marino debe ser movido abruptamente en sentido vertical, de modo que el océano es impulsado fuera de su equilibrio normal. Cuando esta inmensa masa de agua trata de recuperar su equilibrio, se generan las olas. El tamaño del tsunami estará determinado por la magnitud de la deformación vertical del fondo marino.

No todos los terremotos generan tsunamis, sino sólo aquellos de magnitud considerable, que ocurren bajo el lecho marino y que son capaces de deformarlo.

Si bien cualquier océano puede experimentar un tsunami, es más frecuente que ocurran en el Océano Pacífico, cuyas márgenes son más comúnmente asiento de terremotos de

magnitudes considerables. Además el tipo de falla, llamada de subducción, hace más propicia la deformidad del fondo marino y por ende la generación de los tsunamis.

A pesar de lo dicho anteriormente, se han reportado tsunamis devastadores en los Océanos Atlánticos e Índico, así como el Mar Mediterráneo. Un gran tsunami acompañó a los terremotos de Lisboa en 1755, el del Paso de Mona de Puerto Rico en 1918, el de Grand Banks de Canadá en 1929, Chile 1960, Prince Williams Sound en Alaska 1964, el de Hawaii 1975, el que afectó al continente asiático en diciembre de 2004, y el más reciente de marzo de 2011 que devastó la costa este del Japón.

En el caso de México, se tienen datos acerca de tsunamis ocurridos en la costa del Pacífico a partir del siglo XVIII. En Colima son significativos los eventos de 1816 y 1932 que ocasionaron varias víctimas mortales.

5.1.3.1 Historia de los Tsunamis Ocurridos en México

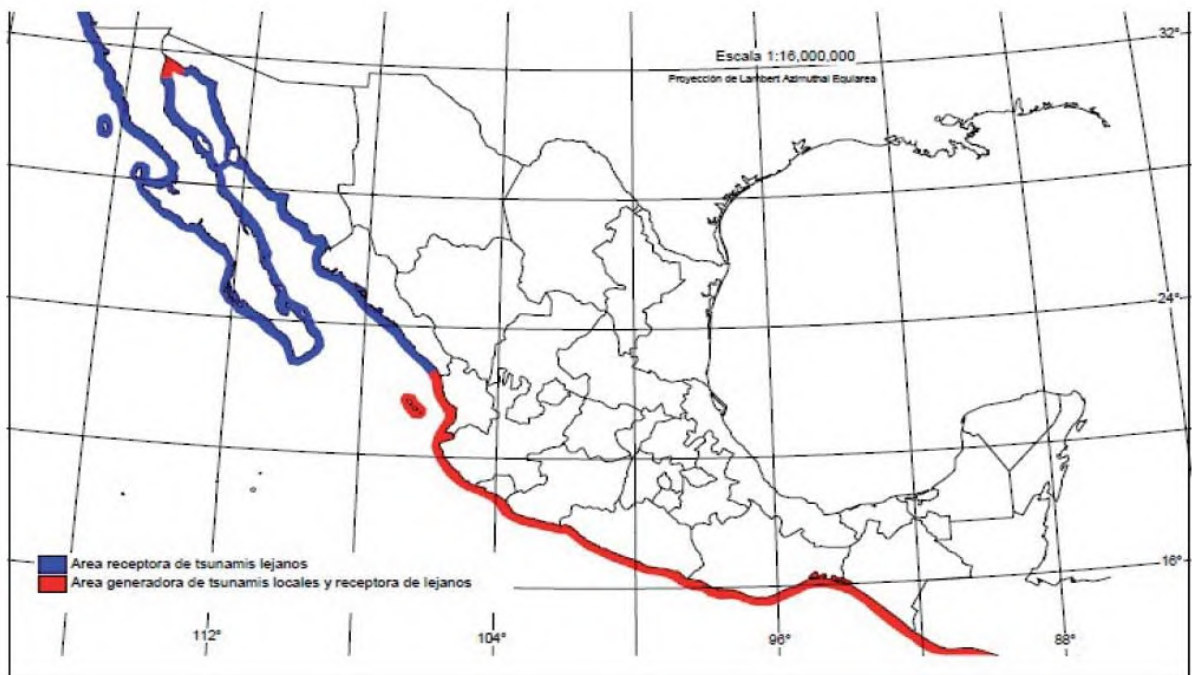
Los Tsunamis son fenómenos que están relacionados con la presencia de actividad sísmica en zona marina por el movimiento o rupturas de placas tectónicas oceánicas como ocurrió con el terremoto y posterior tsunami del 11 de marzo en 2011 en Japón, dejaron como lección para México el no descartar que las placas tectónicas del pacífico mexicano puedan moverse en bloque y liberar su energía al mismo tiempo, como ocurrió en la nación asiática (Sánchez, 1993).

La información histórica registra el arribo de más de 60 tsunamis a la costa occidental de México en los últimos 283 años. Los tsunamis de origen lejano han tenido olas de 2.5 m. de altura y los de origen local han tenido olas de 5 m. en promedio y excepcionalmente hasta 10 m. de altura, causando pérdida de vidas y bienes con la consecuente destrucción de comunidades. En la historia reciente no se tiene conocimiento de que en México hayan ocurrido tsunamis tan destructivos como los de Chile de 1960 y del 2010; el de Alaska de

1964; el de Sumatra en 2004 y el de Japón en 2011. Sin embargo, no podemos descartar la posibilidad de que tsunamis como estos puedan ocurrir en la costa del Pacífico Mexicano. De hecho, existen evidencias de que en 1787 ocurrió un gran terremoto de magnitud 8.4 en San Sixto, Oaxaca, que generó un tsunami local sumamente destructivo (Núñez-Cornú, et. al., 2008).

La información histórica documenta el arribo de 60 tsunamis a la costa occidental de México en los últimos 250 años. Los tsunamis de origen lejano han tenido olas de 2.5 metros de altura y los de origen local han tenido olas de 5 metros en promedio y excepcionalmente hasta 10 metros de altura, causando pérdida de vidas y destrucción. Los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, están expuestos a tsunamis locales y lejanos, mientras que Baja California, Sonora y Sinaloa, están expuestos a tsunamis lejanos y regionales (Nuñez-Cornú, et al., 2008) (Imagen 5-XLII).

Imagen 5-XLII. Mapa de peligro por tsunamis para México.

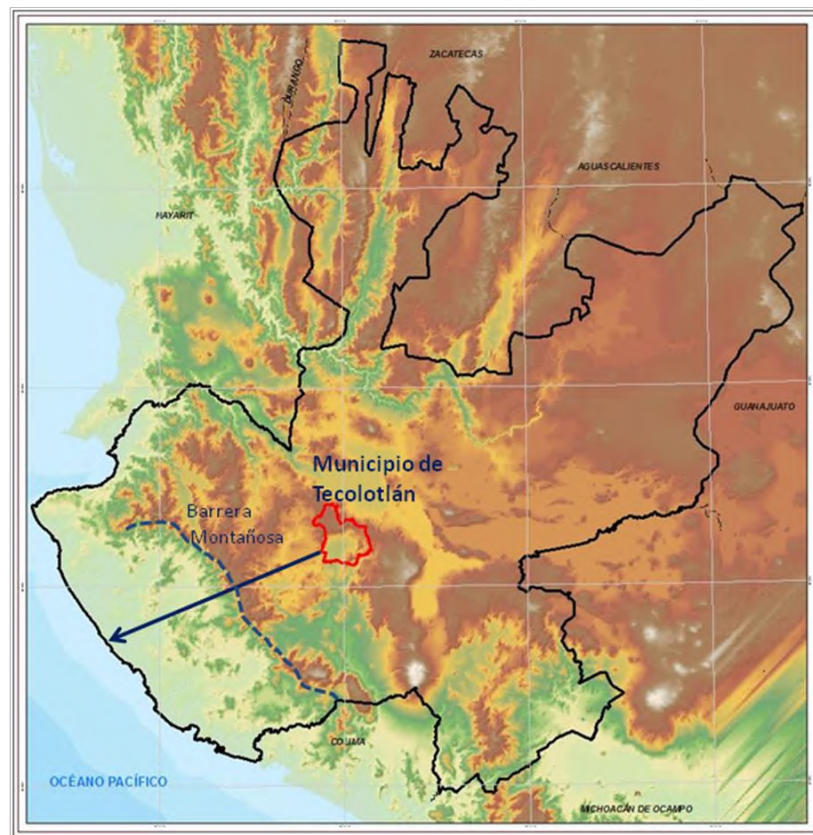


Fuente: CENAPRED, 2001.

5.1.3.2 Peligro por tsunami en el Municipio de Tecolotlán

El Municipio de Tecolotlán se encuentra a 146 km aproximadamente de la costa, zona en donde llegan las olas originadas por un Tsunami, el Municipio se encuentra muy retirado para que lo pueda alcanzar un fenómeno de este tipo, por lo que este fenómeno no incide y no genera peligro sobre la zona de estudio, por lo que podemos clasificar al área zona de peligro por Tsunami nulo. (Imagen 5-XLIII).

Imagen 5-XLIII. Distancia del Municipio de Tecolotlán a la costa. Peligro por tsunami muy bajo.



Fuente: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016

Si no se presenta peligros por Tsunami en el Municipio, por lo tanto no existen riesgo para este fenómeno y no hay medidas de mitigación que se tengan que realizar. Esto nos lleva a concluir que el fenómeno no incide sobre el área de estudio.

5.1.4 DESLIZAMIENTOS (INESTABILIDAD DE LADERAS).

Los eventos naturales son inevitables, pero lo que sí se puede evitar, o al menos reducir, son los desastres que en ocasiones resultan de esos eventos.

En la actualidad existen numerosas poblaciones que están expuestas a la ocurrencia de movimientos repentinos, tanto de masas de suelos como de rocas, a lo largo de la pendiente de una ladera. Estos movimientos se conocen genéricamente como deslizamientos de laderas.

La ocurrencia de movimientos de masas provoca daños considerables anualmente en muchos países del mundo. El gran número de pérdidas humanas (casi 200 mil en el siglo pasado) ocasionadas por derrumbes, deslizamientos y otros procesos morfodinámicos que ocurren en vertientes donde la estabilidad se ha perdido. Cuando tiene lugar el colapso, los materiales, incluyendo bloques rocosos, suelos, vegetaciones e infraestructuras, son desplazados desde las partes más altas hacia las más bajas a veces grandes volúmenes.

Además de la pérdida de vidas humanas, durante estos eventos catastróficos hay también grandes impactos ecológicos y ambientales que repercuten, obviamente, en la calidad de vida de la población. Y las pérdidas económicas que la incidencia de estos hechos tiene, son a veces de considerables proporciones.

Cualquier riesgo natural, ya sean inundaciones, erupciones volcánicas, terremotos, deslizamientos de ladera o taludes, son muy complejos a la hora de predecirlos y las consecuencias que tienen, tanto para la población como para los bienes, pueden llegar a ser muy severas.

Cuando existen grandes incertidumbres sobre la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, es difícil tomar decisiones sobre las medidas, la ubicación, etc. El costo de un

proyecto puede resultar muy alto o se requieren asumir riesgos de características y magnitudes no determinadas.

Existen diversas formas mediante las cuales se inicia un deslizamiento. Una característica casi invariable es “la presencia o ausencia de agua”, según el tipo de formación geológica involucrada.

Muchos de los taludes naturales se encuentran en una condición potencialmente inestable, de manera que los movimientos y los colapsos se pueden iniciar con facilidad. Los temblores intensos junto con los procesos de erosión son causas comunes que pueden actuar en diversas formas. La erosión diferencial de estratos de estabilidad variable puede dejar en voladizo el material de un estrato más duro que con el tiempo se romperá y causará el deslizamiento.

La erosión en el pie de un talud de material no consolidado puede remover el soporte necesario para el material superior, el que empezará a deslizarse hasta que se restaure la estabilidad. Esto sucederá con más facilidad en una formación de estratos inclinados.

Probablemente el factor más importante de todos los que pueden provocar un problema de inestabilidad de laderas naturales, sea el cambio en las condiciones de contenido de agua del subsuelo.

Esto puede ser generado por interferencia con las condiciones naturales de drenaje, evaporación excesiva de suelos que normalmente están húmedos o un incremento en el agua del subsuelo producido por lluvias excesivas.

Este último quizá sea el modo más común de afectar las condiciones del agua subterránea y es especialmente grave, porque las lluvias excesivas también incrementarán los

escurrimientos superficiales que pueden provocar una erosión del material al pie de un talud e intensificar de este modo las tendencias al deslizamiento. Se puede decir que la presencia de agua en el subsuelo tiene tres efectos principales.

1. Incrementa el peso efectivo del material que satura.
2. Crea una presión apreciable en el agua que se localiza dentro de las formaciones térreas (presión ejercida desde el interior de las formaciones geológicas por el agua que se encuentra ocupando los poros de los materiales térreos).
3. Este incremento de presión interna tiene una tendencia franca a expandir la estructura formada por partículas sólidas de estos materiales, con lo que a su vez reduce la resistencia de las masas térreas. Con esto se manifiesta una tendencia clara a que muchos materiales se debiliten, sobre todo aquellos tipos de roca más débiles y los materiales no consolidados con algún contenido de arcilla.

Este problema se agrava aún más con la presencia de asentamientos humanos irregulares, que propician el intemperismo acelerado de las formaciones geológicas, volviéndolas más vulnerables a los efectos desestabilizadores descritos.

En las zonas montañosas donde se ubican asentamientos humanos irregulares es común observar deforestación, cortes de terreno, terrazas e infiltración de agua y materia orgánica producto de la actividad humana. (CENAPRED, 2001).

En el caso de zonas potencialmente inestables, se vuelve indispensable realizar obras de control, principalmente a lo que se refiere al drenaje.

Los problemas de colapso de laderas más comunes son: (a) caído, (b) deslizamiento y (c) flujo.

En cada uno de ellos se pueden involucrar sedimentos no consolidados y fragmentos de roca que pueden ser desde pequeños hasta grandes bloques.

Específicamente, las volcaduras y derrumbes de roca constituyen uno de los subgrupos principales en que normalmente se dividen los colapsos de laderas naturales y cortes artificiales de las mismas. Éstos pueden tener una influencia considerable en los aspectos de protección civil y un alto impacto destructivo sobre las obras de ingeniería y por tanto merecen atención especial.

Muchos derrumbes abarcan grandes extensiones, aunque generalmente los de mayor tamaño ocurren en regiones montañosas deshabitadas y por ello interesan más desde el punto de vista ambiental que de protección civil; sin embargo, dado que los asentamientos humanos irregulares están proliferando en zonas cada vez más altas sobre las laderas, este fenómeno está empezando a afectar más directamente a los centros de población de este tipo.

Los derrumbes de roca más frecuentes son de menor tamaño que los anteriores y se les puede identificar como desprendimientos y volcaduras. Sólo en muy rara ocasión habrá fallas grandes, incluso durante la construcción de rutas de transporte en áreas montañosas. Los desprendimientos, volcaduras y deslizamientos de roca de menor extensión son comunes en asentamientos humanos regulares e irregulares así como a lo largo de rutas de transporte cercanas a acantilados de rocas naturales y a cortes excavados a través de la roca.

Para diseñar un plan de protección a la población contra deslizamientos, colapsos y caídos locales de material proveniente de taludes y laderas naturales, es conveniente identificar el tipo de formación geológica involucrada, dado que éste es el factor determinante para la

previsión de accidentes de este tipo. Es indispensable distinguir claramente entre material consolidado, roca basal, suelo y material no consolidado, como:

1. Fragmentos de roca
2. Arena y limo
3. Mixto
4. Material arcilloso plástico
5. Material complejo

De éstos hay que determinar sus características intrínsecas en cuanto a la evolución de la intemperización física y química, así como los patrones de erosión característicos, todo en función del tiempo, tomando en cuenta las condiciones ambientales y climatológicas de cada sitio en particular.

Asimismo, es indispensable diferenciar entre las zonas con potencial para que se generen derrumbes y aquéllas donde se pueden presentar deslizamientos; lo anterior en función del tipo de roca o sedimento no consolidado, la pendiente natural del terreno y las condiciones y características de sismicidad, clima y ambiente propias de cada sitio. Hay que considerar que se puede desencadenar un problema de inestabilidad, sobre todo por el deterioro de las características de resistencia y estabilidad de las formaciones geológicas, al paso del tiempo, o por modificaciones al medio ambiente natural por la acción humana.

5.1.4.1 Metodología

La metodología seguida para el estudio del deslizamiento en el Municipio de Tecolotlán, comprende las siguientes etapas.

1. Identificar y recopilar las variables que intervienen en la susceptibilidad a los deslizamientos de laderas y adaptarlas a la metodología adoptada.

2. Clasificar, homogeneizar y editar si fuese necesario, toda la información para su correcto análisis conjunto (Investigación de la historia de deslizamientos y reconocimiento e identificación en campo).
3. La recopilación de documentos o informes sobre deslizamientos ocurridos en el pasado son de gran ayuda ya que proveen información sobre las causas y consecuencias de los deslizamientos.
4. Reclasificar y asignar pesos a las variables de interés, identificadas.
5. Combinar dichas variables para estimar la susceptibilidad del terreno a los deslizamientos de laderas.
6. Elaborar el mapa para representar gráficamente las zonas de peligros por deslizamiento usando el método de Multicriterio.

Con esta información es posible reconstruir la relación entre los factores internos y las posibles causas naturales, o factores externos, que dispararon los deslizamientos. Ello permitirá tomar en cuenta dichos factores para la determinación de posibles áreas de deslizamientos en el futuro.

La recopilación de información es valiosa, toda vez que permite la creación de un inventario que puede ser organizado por: localización del fenómeno, fecha de ocurrencia, tipo y extensión del deslizamiento, intensidad de lluvia o magnitud del sismo, etc. La información en hemerotecas, y de manera destacada la que provean de primera mano los habitantes de una localidad en base a encuestas, será muy valiosa para la estimación del peligro. Como una fuente y punto inicial de información muy valiosa deben citarse las cartas topográficas y geológicas con escala de 1:50,000 que dispone el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI, de todo el territorio nacional. La sobreposición de esta información proporciona elementos que conjugan los factores internos principales

condicionantes de la estabilidad de una ladera; estos son, por una parte el tipo de roca (geología), suelo, geometría de la ladera, densidad de disecación etc.

Los mapas de elevación y pendientes siempre serán valiosos para identificar casi puntualmente la existencia de antiguos deslizamientos y las zonas susceptibles a dicho problema. Por ello será deseable contar con mosaicos de fotografías aéreas, las que vistas con estereoscopio, proporcionan una visión tridimensional con la que pueden juzgarse zonas propensas al deslizamiento. El desarrollo de nuevos asentamientos humanos y los cambios geomorfológicos de una zona son fáciles de identificar con estos medios.

5.1.4.2 El fenómeno de inestabilidad de laderas.

Un deslizamiento es básicamente el movimiento pendiente abajo de una masa rocosa, detritos o tierra (Cruden, 1991), y puede tener diferentes causas, tales como geológicas, geomorfológicas, físicas y humanas. El evento que desencadena un deslizamiento es conocido como factor detonante. Las lluvias intensas, movimientos sísmicos, erupciones volcánicas o rápido socavamiento basal son considerados agentes detonantes y su ocurrencia en determinadas áreas conduce a un aumento de la presión vertical (peso) o reducción de la cohesión de los materiales que conforman la vertiente, acelerando su colapso.

Un deslizamiento ocurre cuando se rompe o pierde el equilibrio y una porción de los materiales que componen una ladera se deslizan pendiente abajo por acción de la gravedad. Aunque los deslizamientos usualmente suceden en taludes escarpados, tampoco es raro que se presenten en laderas de poca pendiente. Son primariamente ocasionados por fuerzas gravitacionales, y resultan de una falla por corte a lo largo de la frontera de la masa en movimiento respecto a la masa estable; se alcanza un estado de falla cuando el esfuerzo cortante medio aplicado en la superficie potencial de deslizamiento, llega a ser igual a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo o roca (Mendoza y Domínguez, 2006).

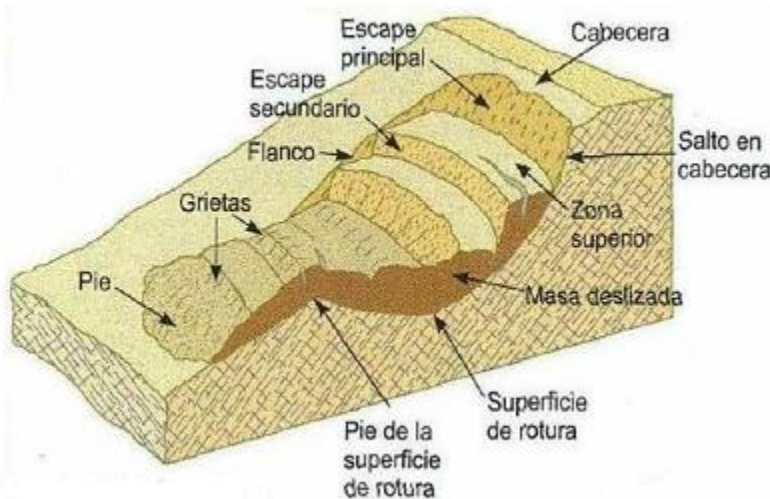
Los deslizamientos pueden ocurrir como fallas de laderas de cerros, cañadas, barrancas y riberas de ríos, lagunas o vasos de presas; en cortes y terraplenes de carreteras, minas a cielo abierto y bancos de materiales, etc. (CENAPRED, 2004).

También suceden deslizamientos o fallas de talud en terraplenes para presas, bordos y otras obras, así como en excavaciones para la construcción. Nuevamente, dentro del ámbito de la Protección Civil, interesan primordialmente las inestabilidades de laderas que afecten a las personas y a sus bienes en núcleos de población.

Los deslizamientos de laderas o taludes, así como las inundaciones, erupciones volcánicas y los temblores de tierra, son fenómenos naturales difíciles de predecir, en virtud de que son inciertos y tienen consecuencias serias para la población y sus bienes. "Fenómeno", "incertidumbre" y "consecuencias potenciales" necesitan ser identificados, a fin de definir el peligro que representa el deslizamiento de una ladera natural (Mendoza y Domínguez, 2006).

En la Imagen 5-XLIV, se muestra una ladera donde se indican los principales elementos que se definen en ella y que tienen algún papel relacionado con el fenómeno del deslizamiento.

Imagen 5-XLIV. Esquema de una ladera afectada por un deslizamiento.



Fuente: Vallejo, 2002.

Hay distintos tipos de deslizamientos, los cuales se explican en el trabajo presentado por Alcántara (2000). Se enumeran a continuación:

1. Flujos (Lodo, Tierra y Suelo, Lahares)
2. Derrumbes (caídos)
3. Creep o reptación

Estos se tratarán por separado durante el desarrollo del Atlas de Riesgos para el Municipio de Tecolotlán.

Las inestabilidades en México ocurren con gran frecuencia en suelos residuales y durante periodos de lluvias intensas. Los suelos residuales son aquellos materiales producto de la descomposición química de las rocas, resultado del intemperismo provocado por el clima;

se trata de geomateriales no transportados, disgregables o de consistencia blanda que se mantienen en el mismo sitio en que fueron modificados a partir de la roca original. Con frecuencia exhiben incluso la misma apariencia que la roca original (Imagen 5-XLV).

Imagen 5-XLV. Perfil de alteración de un suelo residual y de la roca basal



Fuente: Flores, et. al., 2012.

El grado de alteración y la extensión a la que la estructura original de la masa de roca se destruye o meteoriza varía con la profundidad. Se da lugar así a perfiles de alteración que comprenden materiales con propiedades mecánicas muy diferentes desde aquellas propias de la roca franca que se encuentra a profundidad, hasta las de suelo completamente intemperizado o alterado, o simplemente residual, que se observa en la superficie del terreno. No es de extrañarse entonces, que con frecuencia las superficies de deslizamiento en materiales residuales se ubiquen relativamente cerca y paralelas a la superficie del terreno.

5.1.4.3 Identificación del Peligro por deslizamientos en el Municipio de Tecolotlán

Debido a que no se encontraron reportes periodísticos, ni literatura que nos haya indicado la presencia de deslizamientos en el Municipio de Tecolotlán, se tuvo la necesidad de realizar un taller de identificación de peligros por deslizamientos identificados dentro del municipio del cual se observan en la Imagen 5-XLVI.

Imagen 5-XLVI. Mapa de peligros por deslizamientos identificados.



Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Por medio de trabajo de campo realizado, se identificaron sitios propensos a presentarse deslizamientos que se muestran en la Imagen 5-XLVII.

Imagen 5-XLVII. Zonas identificadas con peligro a deslizarse.



Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Además del deslizamiento es posible que posteriormente se den otros fenómenos como caída de bloques (derrumbes), flujos (época de lluvia) o Creep o Reptación (Imagen 5-XLVIII).

Imagen 5-XLVIII. Evidencia de deslizamiento dando origen a un Creep.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

También se localizaron zonas propensas a generar deslizamientos en la localidad Cofradía de Duendes, zona con presencia de material volcánico tipo basalto con alto grado de alteración propenso a deslizarse, como se muestra en la Imagen 5-XLIX.

Imagen 5-XLIX. Zona propensa a deslizarse en la localidad Cofradía de Duende



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

En el siguiente escalón de la ladera se encontró zona con material fino (arena y limos) con intercalaciones de cantos rodados débiles, como se muestra en la Imagen 5-L.

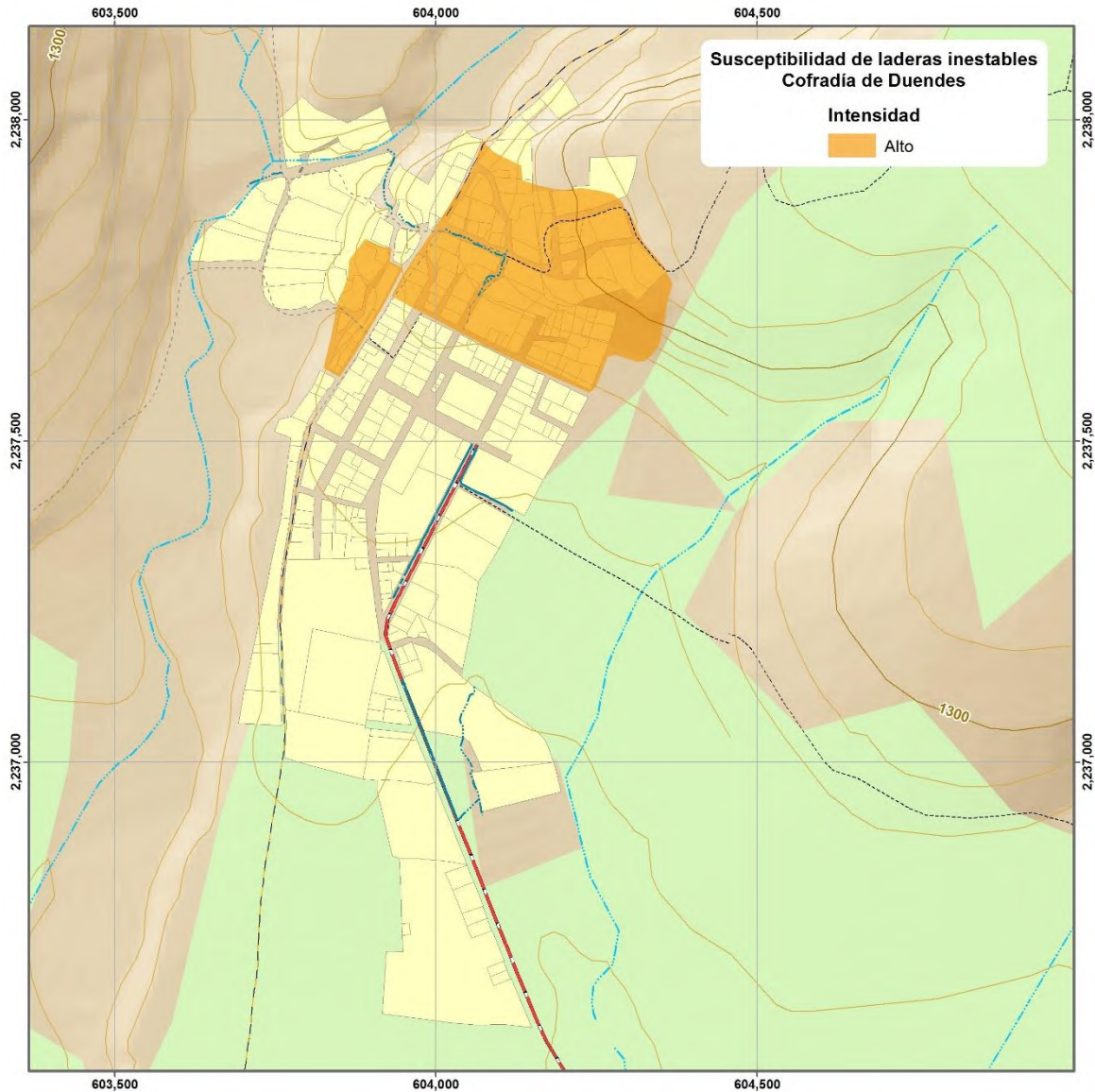
Imagen 5-L. Ladera propensa a deslizarse en Cofradía de Duende.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

El mapa de inestabilidad de laderas propensas se muestra en la Imagen 5-LI

Imagen 5-LI. Inestabilidad de laderas propensas en Cofradía de Duendes.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadísticas y Geográfica, 2016.

5.1.4.4 Criterio para identificar el Peligro por Deslizamientos (Inestabilidad de Laderas)

A reserva de abordar la estimación del peligro por deslizamiento de manera más formal, de acuerdo a la Tabla 5-XXV, los criterios que permiten establecer el grado de amenaza al deslizamiento, que podrían ofrecer diversos tipos de laderas. En lo que resta de esta sección, se distinguen con mayor detalle cada uno de los factores que influyen en el problema, asignándoles un peso relativo a cada uno de ellos.

Tabla 5-XXV. Grados de peligro en laderas.

Peligro	Tipo de Ladera
Muy Alto	Laderas con agrietamientos, escarpes o salientes. Suelos muy alterados, sueltos y/o saturados. Presencia de discontinuidades desfavorables. Antecedentes de deslizamientos en el área o sitio. Laderas desforestadas. Alta Laderas que exhiben zonas de falla. Meteorización de moderada a alta. Posee discontinuidades desfavorables, donde han ocurrido deslizamientos. Ladera deforestada.
Moderado	Laderas con algunas zonas de fallas. Formaciones rocosas con alteraciones y agrietamientos moderados. Sin antecedentes de deslizamientos en el sitio o región.
Bajo	Laderas en formaciones rocosas con alteraciones de baja a moderada. Plano de discontinuidades poco favorables al deslizamiento. Ladera sin desforestación. Capa de suelos compactos de poco espesor.

Fuente: CENAPRED, 2004.

Existen otros criterios, que nos pueden dar mayor precisión en la determinación de los sitios con posibilidades de deslizamiento, tomando en cuenta la metodología propuesta por Galindo y Alcántara (2015), en el Análisis Multicriterio.

5.1.4.4.1 Análisis Multicriterio para estimar el peligro por deslizamiento de laderas

Es una herramienta de análisis en la toma de decisiones que ha sido desarrollado y empleado desde la década de los sesenta. Este considera la influencia de diversos parámetros simultáneamente sobre un proceso o fenómeno en forma numérica, tomando en cuenta la opinión de especialistas involucrados en el tema, con esto es posible identificar la importancia de cada uno de los parámetros. En los últimos años, la aplicación de esta herramienta se ha incrementado con el uso de los SIG, principalmente en aspectos de riesgos volcánicos, identificación de áreas para restauración ecológica (Geneletti, 2007), determinar zonas de susceptibilidad por deslizamiento de laderas (Komac, 2006; Castellanos y Borja y Alcántara, 2009; Flores y Alcántara, 2012), entre otras aplicaciones.

Para llevar a cabo la aplicación del análisis Multicriterio, los parámetros empleados se derivan de la elaboración o adecuación de ocho capas de información geográfica como son:

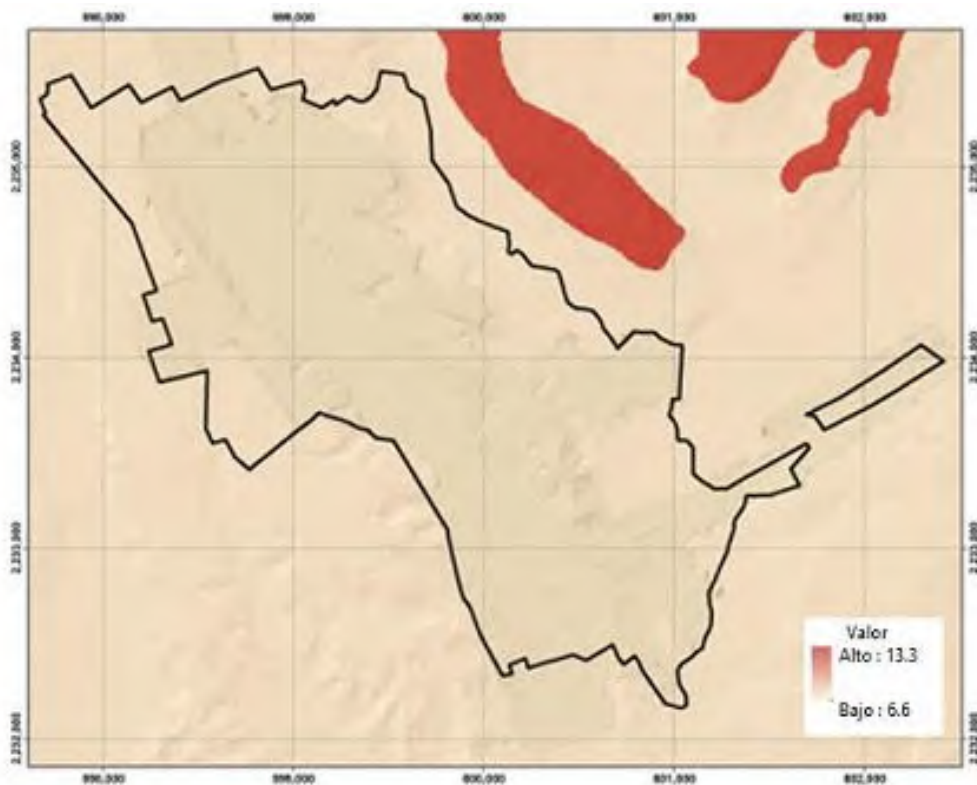
1. Geología
2. Suelos
3. Uso de suelo
4. Pendiente
5. Densidad de disección
6. Profundidad de disección
7. Geometría de Ladera
8. Orientación de ladera

Las clases o unidades de cada parámetro o capa de información se agruparan en tres categorías con base en su influencia en la inestabilidad del terreno. La asignación de los rangos en el tipo de rocas se realizó de acuerdo con las características físicas de tipo de materiales en el área de estudio, tales como geología, suelos y geometría de laderas.

5.1.4.4.2 Mapa temático para obtener zona propensa a deslizamientos a nivel de la cabecera Municipal.

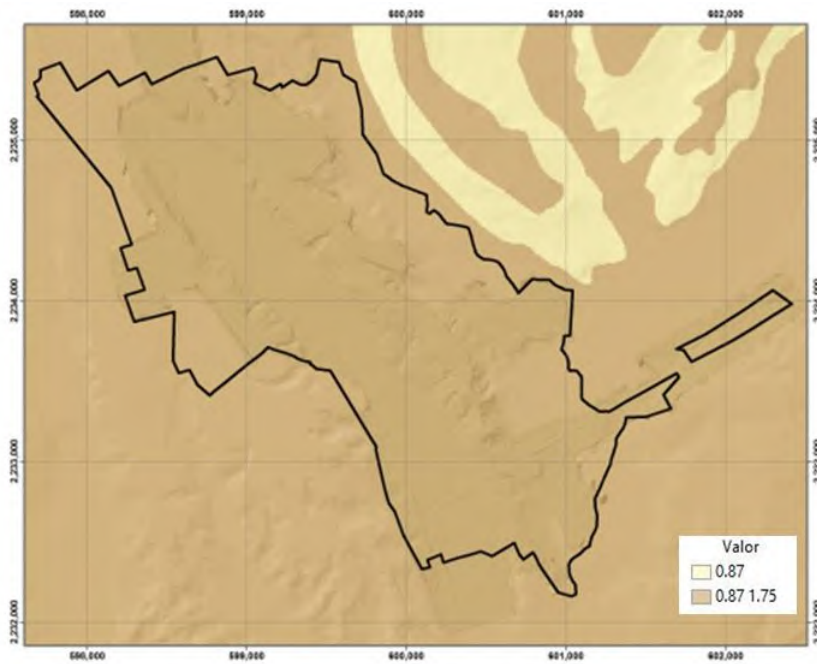
Debido a la configuración geológica, suelos pendientes por mencionar algunos de los principales factores que prevalecen en la región del Municipio de Tecolotlán, donde se localiza la cabecera del mismo nombre se representan las zonas susceptibles a deslizamientos de masas. A continuación se muestra la cartografía temática a nivel de la cabecera municipal desarrollada para identificar las zonas susceptibles a deslizamientos (Imágenes 5-LII a 5-LIX).

Imagen 5-LII. Mapa geológico



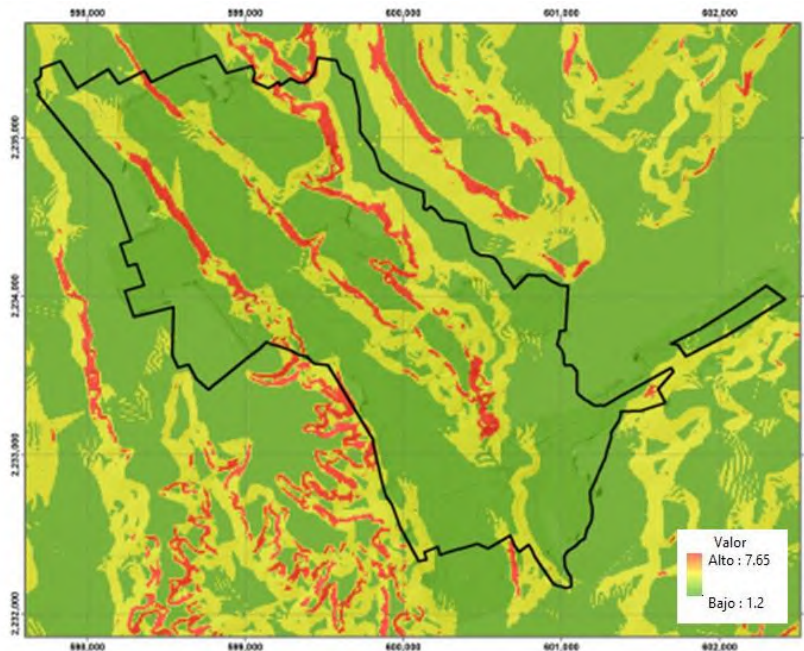
Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LIII. Mapa de suelos



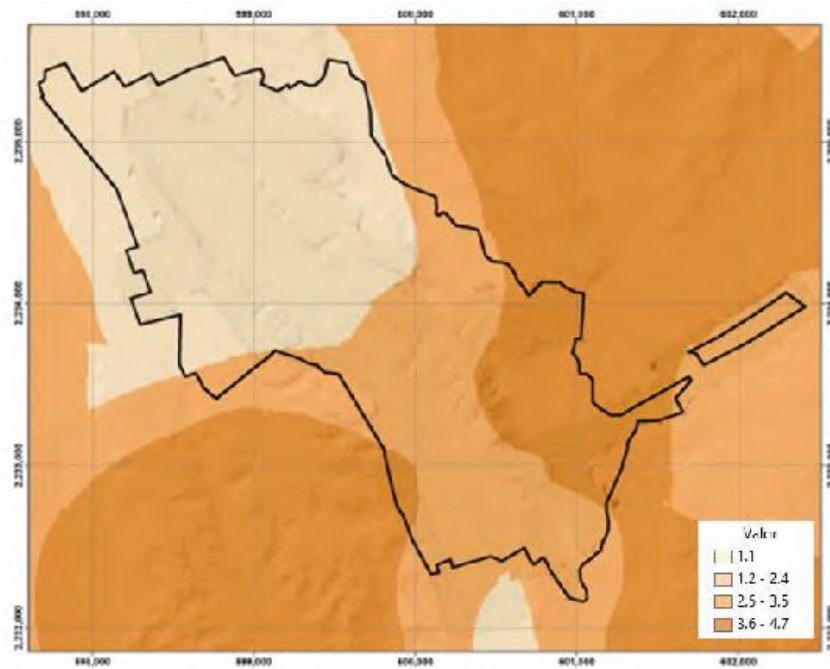
Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LIV. Mapa de pendientes



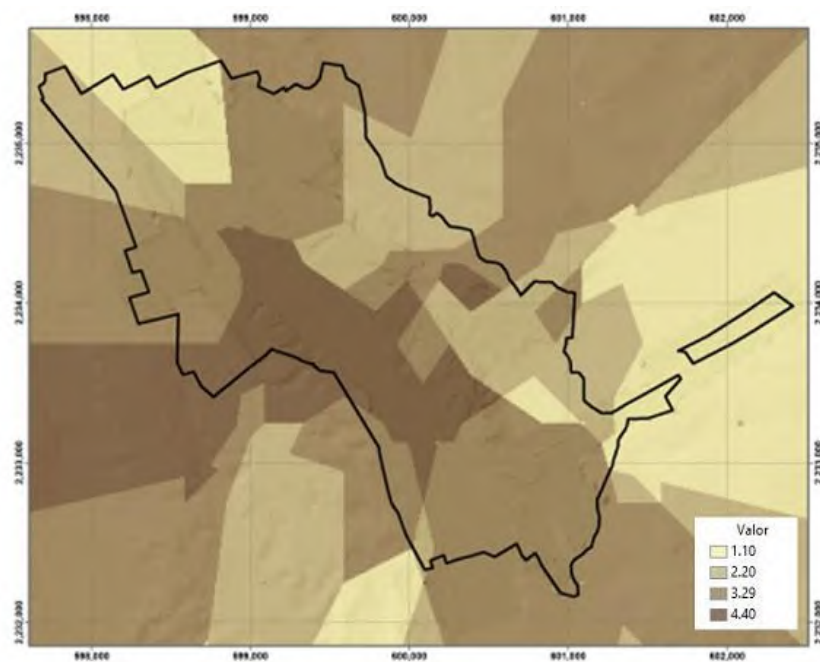
Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LV. Mapa de la densidad



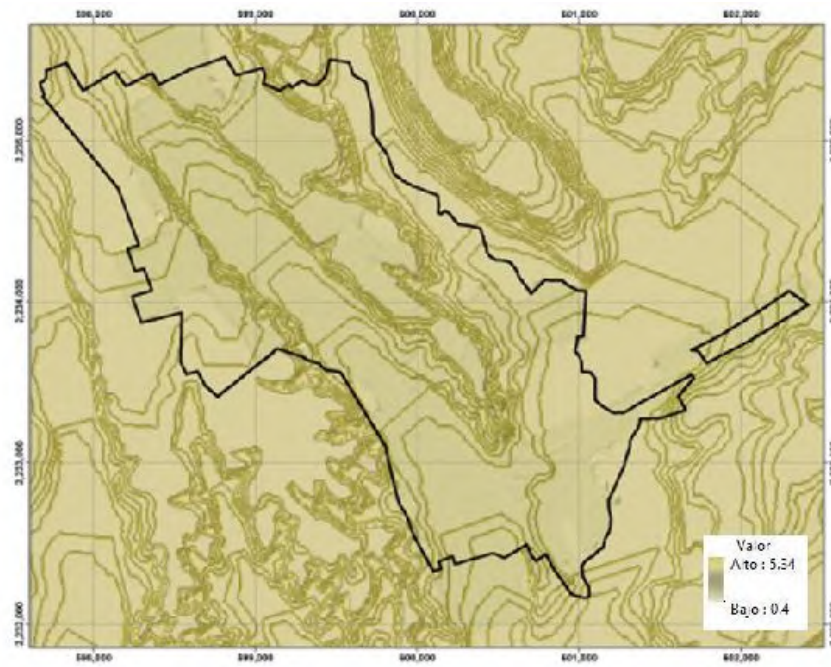
Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LVI. Mapa de la profundidad de disección.



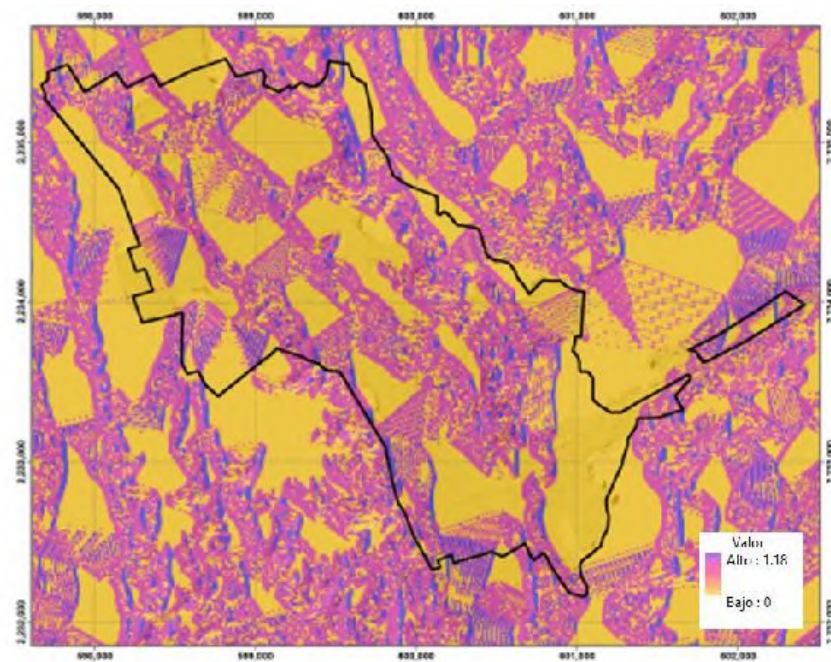
Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LVII. Mapa de la geometría de la ladera.



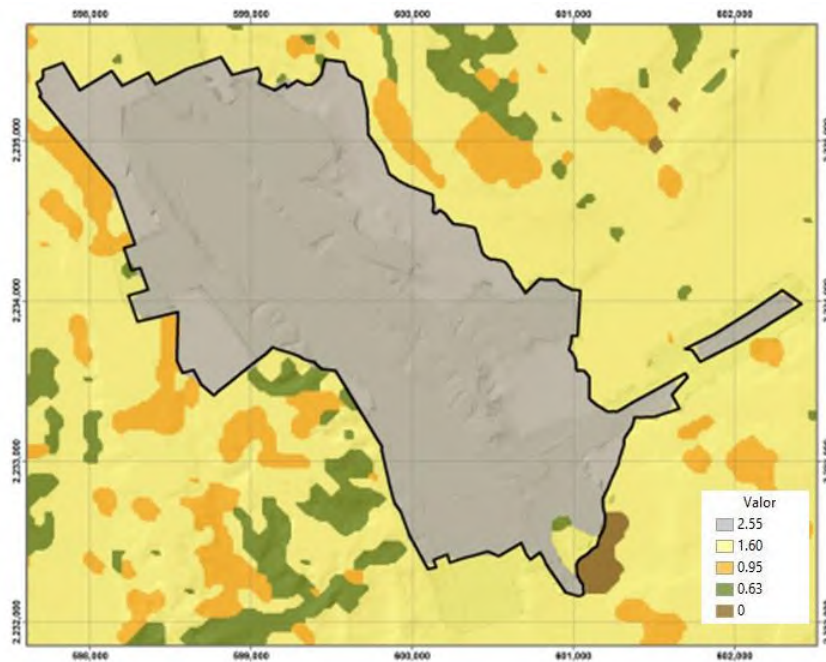
Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LVIII. Mapa de la orientación de la ladera.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LIX. Mapa de cobertura de la ladera.

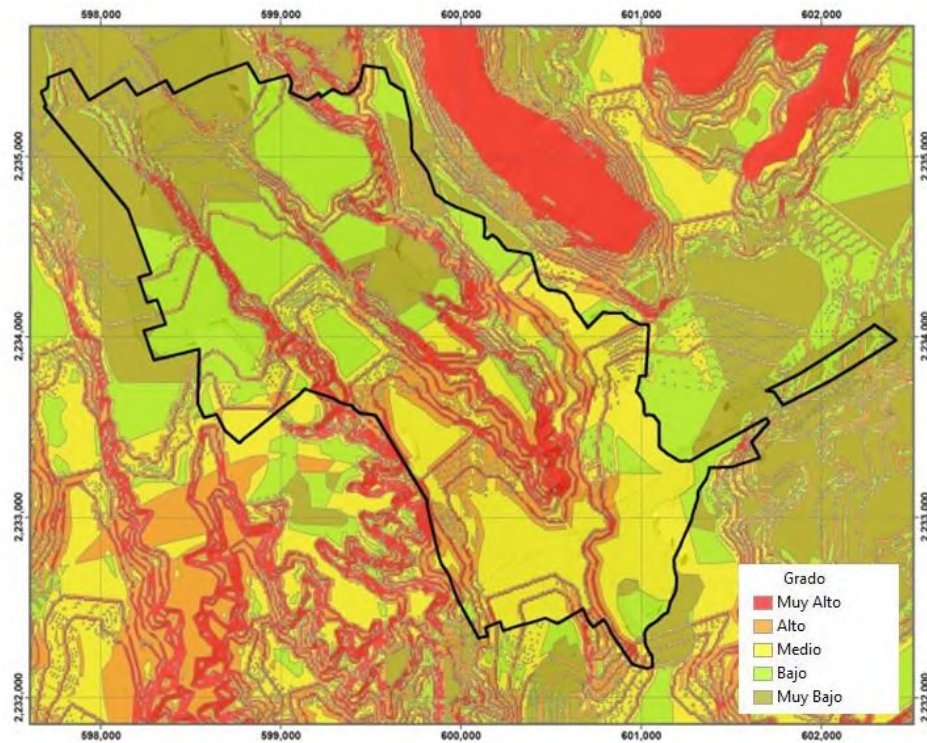


Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Posterior a la clasificación de las unidades de cada capa de información, se procedió a realizar la suma de todas las capas de información. Se añadió la influencia de la inestabilidad de laderas de cada clase tomando en cuenta el peso específico de cada capa, y finalmente se obtuvo el mapa de susceptibilidad de laderas o procesos de remoción en masa a nivel de la Cabecera Municipal, categorizada en cinco rangos: muy baja, baja, media, alta y muy alta (Imagen 5-LX). A la clasificación de las unidades de cada capa de información, se procedió a realizar la suma de todas las capas de información. Se añadió la influencia de la inestabilidad de laderas de cada clase tomando en cuenta el peso de cada capa, y finalmente obtener el mapa de peligros y zonas susceptibles a generar procesos de remoción en masa.

En primera instancia se trabajó a nivel cabecera municipal, en donde se aplicó la metodología de Multicriterio, considerando las ocho capas establecidas.

Imagen 5-LX. Susceptibilidad a inestabilidad de ladera en la Cabecera Municipal.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

De acuerdo con los resultados mostrados en los mapas de susceptibilidad elaborados con base en el análisis Multicriterio (Imagen 5-LX). En el mapa se observa que en la cabecera Municipal se localizan zonas desde susceptibilidad media; las pendientes originadas por los escurrimientos que cruzan de NE-SW presentan Muy alto grado de susceptibilidad a presentarse deslizamientos.

De manera general, se puede apreciar que las áreas de muy alta susceptibilidad a deslizamientos corresponden a zonas con un relieve con fuerte pendiente, mientras que las regiones planas coinciden con zonas de muy baja susceptibilidad.

5.1.4.5 Evaluación de la vulnerabilidad

El impacto de un evento en la población o en los bienes presentes en un área puede variar entre pérdidas no detectables a pérdidas totales. Lo más normal es que ocurran pérdidas parciales, donde únicamente un porcentaje de la población o de los bienes sufre daño.

Esta variación en el grado de impacto sobre los bienes y personas se conoce como vulnerabilidad física. El grado y características de esta reacción adversa están parcialmente condicionados por la resistencia del sistema, en la medida el sistema es capaz de absorber y recuperarse de la ocurrencia de un evento peligroso.

La vulnerabilidad también puede ser enfocada como el nivel de daño potencial, o grado de pérdidas esperables para un bien determinado (expresado en una escala de 0 a 1) cuando este es afectado por un evento de movimiento de ladera con una intensidad determinada. Esto puede ser muy difícil de cuantificar, ya que depende de la naturaleza y la intensidad de los esfuerzos mecánicos generados por la rotura existente (movimiento diferencial del terreno, subsidencia, empuje, carga, etc.) y las características de vulnerabilidad de los elementos en riesgo que están expuestos, como son agricultura, infraestructura y población.

Los movimientos de ladera requieren en primer lugar una breve conceptualización del peligro. La litología, la pendiente y el clima en conjunto predisponen áreas a la actividad de movimientos de ladera. Las litologías más débiles, tales como las arenas no consolidadas, consolidación o la inter-estratificación de materiales con permeabilidades muy variadas pueden conducir a altos grados de fracturación, de discontinuidad o de disección erosiva.

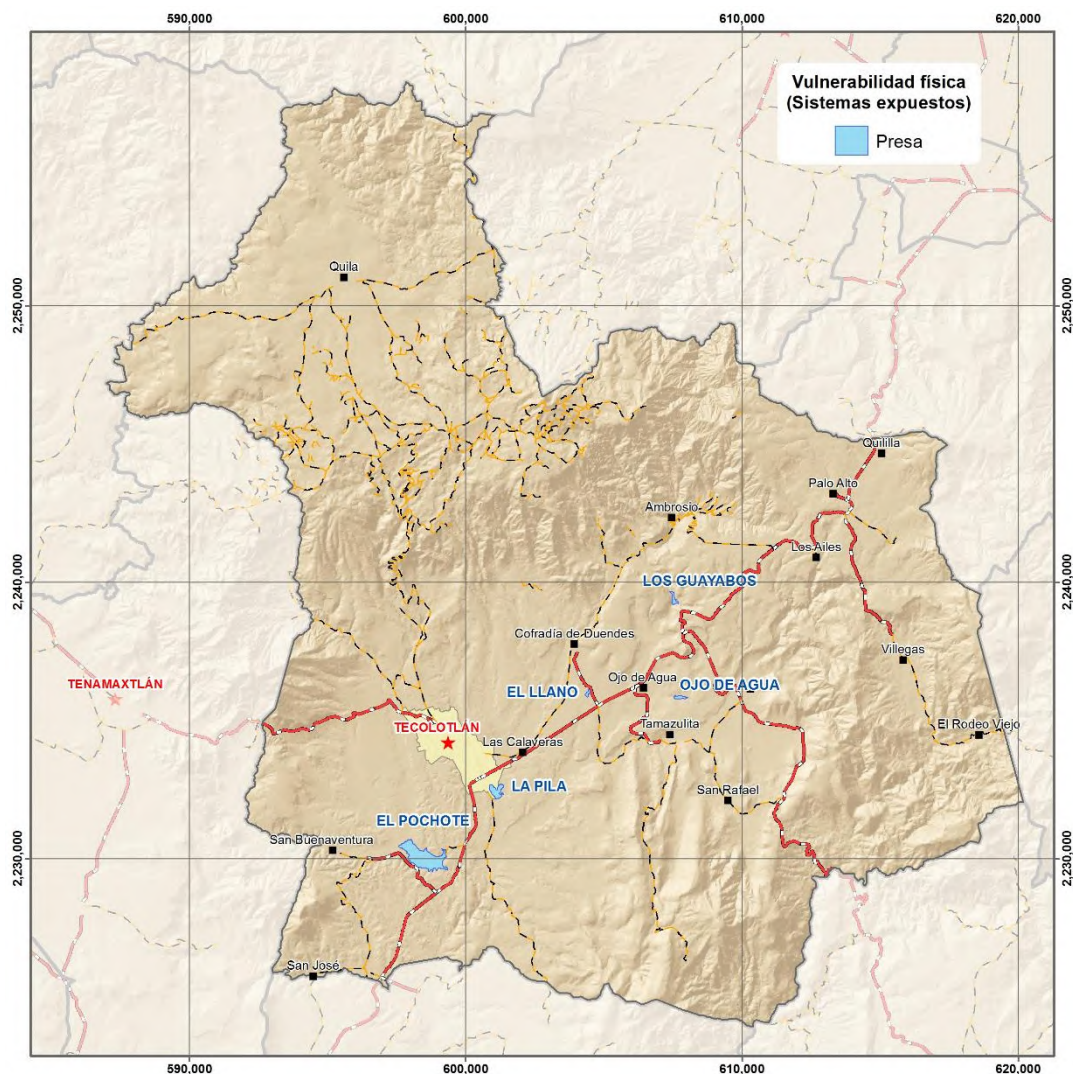
Por otra parte es importante tomar en cuenta la vulnerabilidad física por deslizamientos en la que se encuentran las presas que está representada por un conjunto de eventos o

escenarios, que colectivamente describen todas las formas posibles en que puede ocurrir o afectar un deslizamiento en este tipo de sitios y las frecuencias de ocurrencia de cada uno de estos eventos. En el caso de los deslizamientos provocados por el vertido controlado de una presa, este conjunto de escenarios está formado por los gastos de salida.

En términos generales, la vulnerabilidad física específica se encuentra relacionada a la intensidad local del fenómeno, tirante de inundación en el caso de una presa, y los daños producidos en un bien expuesto. En principio, cada bien expuesto tiene su propia función de vulnerabilidad física específica de acuerdo a las condiciones del elemento expuesto.

La presa el Pochote y la Pila también son elementos expuestos y vulnerables ante la presencia de deslizamientos o remoción de masas (Imagen 5-LX), generando inundaciones. La vulnerabilidad física por deslizamiento para estos elementos expuestos es Alto, de acuerdo a la Imagen 5-LXII.

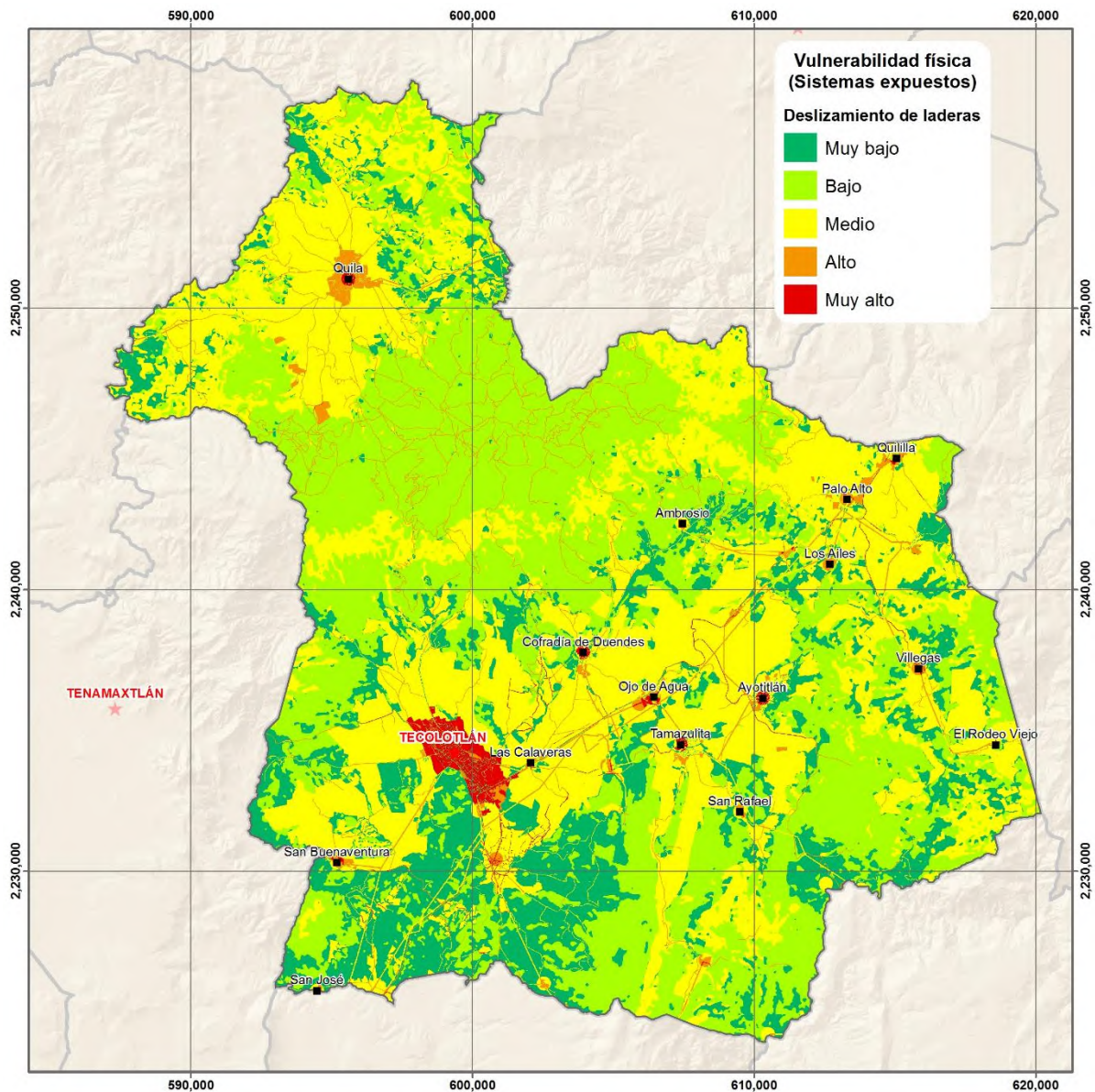
Imagen 5-LXI. Vulnerabilidad Física para sistemas expuestos por deslizamiento para presas.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

El mapa de vulnerabilidad física por deslizamiento de laderas para el Municipio de Tecolotlán se muestra en la Imagen 5-LXII.






Imagen 5-LXII. Mapa de vulnerabilidad física por deslizamientos de laderas para el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

La Tabla 5-XXVI muestra los valores de la intensidad de vulnerabilidad física con los colores representativos del mapa de vulnerabilidad para el Municipio y los daños esperados en el caso de la presencia de deslizamientos en la zona. El nivel de intensidad de Alto y Muy Alto se considera como casos específicos y puntuales en el Municipio.

Tabla 5-XXVI. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para los deslizamientos

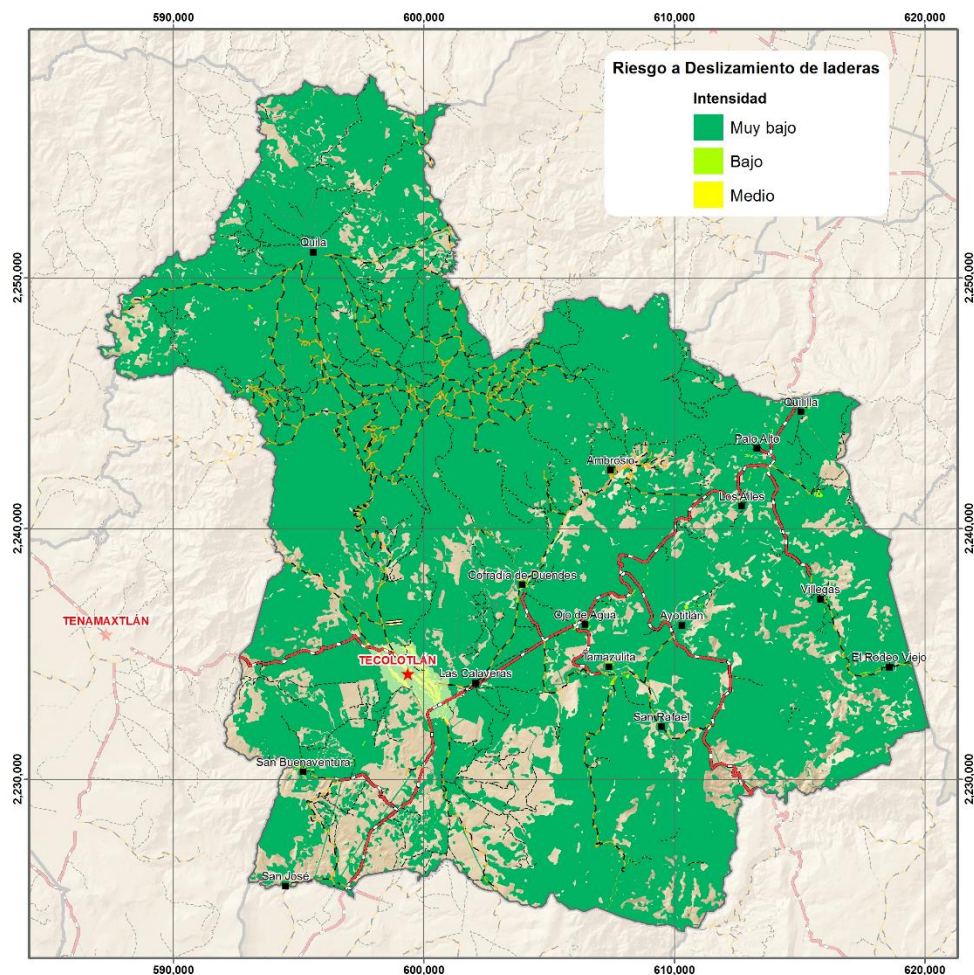
Índice de Vulnerabilidad Física	Intensidad de Vulnerabilidad	Color	Rango de Daño	Tipo de Daño
0.2	Muy Baja		0-0.2	No hay daño, No afecta la estabilidad estructural
0.4	Baja		0-2-0.4	Ligero daño, No afecta la estabilidad estructural
0.6	Media		0.4-0.6	Fisuras en muros, estabilidad no afectada, Reparaciones no urgentes
0.8	Alta		0.6-0.8	Fracturas estructurales, Destrucción parcial, es necesario evacuar
1.0	Muy Alta		0.8-1.0	Destrucción parcial o total, evacuación necesaria, reconstrucción total.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).

5.1.4.6 Análisis del Riesgo

El resultado fue la obtención de un mapa de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa (Imagen 5-LXIII), resaltando que el 15% aproximadamente de la superficie del Municipio se encuentra en probabilidad de tener riesgo por deslizamientos.




Imagen 5-LXIII. Mapa de Riesgo por inestabilidad de laderas para el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG- Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

El riesgo por deslizamiento de ladera se obtuvo en tres intensidades, Muy Bajo, Bajo y Medio. El cuál el Muy Bajo representa zona de nulo riesgo o sin daño, el nivel de riesgo bajo a medio representan daños leves, cuya descripción se muestra en la Tabla 5-XXVII.

Tabla 5-XXVII. Matriz de riesgo para deslizamientos.

Nivel del riesgo	Color	Velocidad	Naturaleza del Impacto
Medio		Moderado 1.5 m/año-1.6 m/año	Estructuras poco sensibles pueden mantener en pie, con posibles agrietamientos.
Bajo		Muy Lento 0,06 m/año- 0.016m/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas y sufren agrietamiento por el movimiento, pueden ser reparadas
Muy Bajo		Extremadamente Lento	No hay daño a las estructuras construidas con criterio de ingeniería civil

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996)

El riesgo obtenido para los tres factores analizados como son: Infraestructura (escuelas, postes CFE, etc.), población y elementos lineales (brechas, terracerías, caminos, etc.), se muestran en las Tablas 5-XXVIII, 5-XXIX y 5-XXX.

El riesgo por deslizamiento para la infraestructura en el Municipio es más representativo para la intensidad Baja cuya infraestructura en riesgo son 365 elementos propensos a tener efectos leves por deslizamiento de ladera (Tabla 5-XXVIII).

Tabla 5-XXVIII. Nivel de riesgo para la infraestructura.

Intensidad	No. Elementos
Bajo	365
Medio	40
Muy bajo	3953
Total general	4358

Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

El nivel de riesgo para la población en los fenómenos de deslizamientos, está representado por las intensidades Bajo a medio, con una población en riesgo bajo de 19249 habitantes y solamente 2189 pobladores para la intensidad media (Tabla 5-VII). La población es el elemento que mayormente se debe cuidar y que pueda tener los niveles más bajos de riesgos, como sucede cuando se realizó la estadística de la población por vivienda (Tabla XXIX).

Tabla 5-XXIX. Nivel de riesgo para la población por localidad

Intensidad	Población
Bajo	19249
Medio	2189
Muy bajo	56956
Total general	78394

Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

Tabla 5-XXX. Nivel de riesgo para la población por vivienda.

Intensidad	Población por Vivienda
Bajo	3219
Medio	1906
Muy bajo	11130
Total general	16255

Fuente: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

El nivel de riesgo para los elementos lineales (brechas, terracerías y caminos, etc.), están representados por intensidades bajas con 174313.12 m de longitud de caminos que se encuentran en riesgo de ser afectados por deslizamientos de tierra y en riesgo medio hay 1907.48 m de longitud (Tabla 5-XXXI).

Tabla 5-XXXI. Nivel de riesgo para elementos lineales.

Intensidad	Longitud (m)
Bajo	174313.1244
Medio	1907.480968
Muy bajo	750130.1011
Total general	926350.7065

Fuente: IIEG. Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

Del trabajo realizado para determinar el riesgo por deslizamientos se puede deducir que la mayor parte del territorio del Municipio son zonas de riesgo bajo y medio, donde existen procesos de inestabilidad de laderas, que no afectan grandemente a la zona. Los principales procesos identificados son caídos de bloques y flujos, considerándolos como problemas aislados. Con base en el análisis de datos obtenidos en campo y al cruce de información básica y temática con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se determinó

que de los elementos que, se encuentra en posibilidades de tener deslizamientos, en susceptibilidad baja el 5%, medio el 8.2%, y muy baja (sin riesgo) el 86.80%. Esto debido a que los taludes y laderas que afectan los caminos son de baja altura, lo que provoca que los deslizamientos sean de categorías bajas.

5.1.4.7 Medidas de Mitigación

Las medidas a seguir en caso de presencia de inestabilidad de laderas (deslizamientos) se recomiendan los siguientes aspectos:

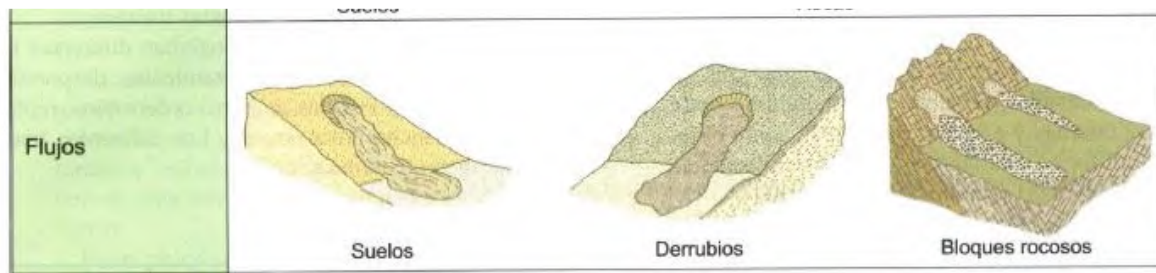
- 1.- No cortar los árboles ni destruir la vegetación.
- 2.- Cuidar el medio ambiente y respetar el uso del suelo.
- 3.- No excavar al pie de las laderas, dado que provocan inestabilidad de la misma.
- 4.- Solicitar el apoyo a un técnico cuando se vayan a realizar cambios, modificaciones y excavaciones en las laderas propensas a deslizarse.
- 5.- No permitir que el agua de los drenajes se infiltre en el terreno y lo reblandezca. En caso de que se detecten nacimientos de agua y fugas de drenaje o de agua potable, dar aviso inmediato a las autoridades para agilizar los trabajos de reparación.
- 6.- Mantener atento a las indicaciones de las autoridades de protección civil de la comunidad, sobre todo durante la temporada de lluvias y, con su apoyo, realizar brigadas para la ejecución de recorridos y la detección de cualquiera de las señales de inestabilidad de laderas.
- 7.- Revisar constantemente las paredes, pisos y techos de casas-habitación en busca de posibles grietas, hundimientos, expansiones del terreno y formación de escarpes (escalonamientos). Si éstos se presentan, avisar a las autoridades de protección civil de la comunidad.
- 8.- Es importante que estar en alerta a la posible inclinación de postes y árboles en las laderas.

- 9.- Antes de iniciar alguna construcción, hacer alguna excavación o instalación, consultar a las autoridades de protección civil.
- 10.- Si encuentras alguna grieta en la superficie del terreno, sobre la ladera donde vives, avisa de inmediato a las autoridades de protección civil de tu localidad.
- 11.-Producción de boletines técnicos e informativos por parte de las autoridades locales.
- 12.-Reubicación de viviendas y habitantes de los asentamientos en zonas de riesgo potencial.
- 13.- Protección del suelo y subsuelo en áreas propensas a deslizamientos.
- 14.- realizar tratamiento de taludes.
- 15.- Elaboración y actualización de censos en zonas de riesgo.

5.1.5 FLUJOS (LODO, TIERRA Y SUELO, LAHAR)

Los flujos son movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla (Imagen 5-LXI).

Imagen 5-LXIV. Tipos de movimientos de laderas por flujos.



Fuente: Suárez, 2014.

Bajo este concepto se agrupan a diferentes movimientos de ladera que tienen en común la deformación interna y continua del material y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento (Suárez, 2014).

En algunos casos la superficie de rotura se puede asimilar a toda una franja de deformación. Las diferencias estriban en el material implicado, su contenido en agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (reptación) a súbita (flujos de rocas). Los más comunes son los movimientos en suelo (flujos o coladas de tierra o barro), movimientos de derrubios (flujos de derrubios) o bloques rocosos (flujos de bloques).

En el área de estudio son predominantes los flujos de derrubios, que son movimientos que engloban a fragmentos rocosos, bloques, cantos y gravas en una matriz fina de arena, limo y arcilla (en general los gruesos representan un porcentaje superior a 50%). Este tipo de movimientos tienen lugar en laderas cubiertas por material no consolidado y el agua es un

motor principal en el proceso. Son movimientos muy rápidos y frecuentemente están relacionados con tormentas en épocas de lluvias.

Los flujos son movimientos espacialmente continuos, en los que las superficies de cizalla son muy próximas, de poca duración y, por consiguiente, difíciles de observar. El movimiento de los flujos es muy parecido al de un fluido viscoso, razón por la que la distribución de velocidades no es homogénea y origina la formación de lóbulos a partir del predominio del movimiento intergranular.

5.1.5.1 Peligro por flujos

Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos; pueden distinguirse (Suárez, 2014).

- a. Flujos de lodo: Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.
- b. Flujos de tierra o suelo: Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de grava, arena y limo.
- c. Flujos o avalancha de detritos: Movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan suelos sueltos, fragmentos de rocas, y vegetación con aire y agua atrapados, formando una masa viscosa o francamente fluida que fluye pendiente abajo.
- d. Flujo muy lento: A diferencia de los casos anteriores, es un movimiento constante pero muy lento de suelos y rocas pendiente abajo, en el que no se define con precisión la superficie de falla.

- e. Lahar: Flujo de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, o bien por rotura o desbordamiento de represas de agua.

5.1.5.2 Condiciones para la activación de los flujos

La activación de flujos está relacionada con los siguientes factores (CENAPRED, 2001).

- **Lluvias.** La saturación de los materiales sub superficiales puede convertir el suelo en un fluido viscoso. Algunos suelos como los materiales volcánicos, absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación puede conducir a la formación de un flujo.

Para que ocurra un flujo se puede requerir un determinado volumen de agua presente. Se han realizado estudios para cuantificar el nivel de lluvias que se requieren para producir flujos y es frecuente la ocurrencia de flujos (simultáneamente en sitios diferentes) dentro de una misma formación en el momento de una lluvia de gran intensidad o de un evento sísmico.

- **Deshielo de nevados.** El deshielo de los nevados puede activar flujos de materiales volcánicos, conocidos con el nombre de “Lahares”.
- **Sismos.** Los eventos sísmicos pueden generar un desprendimiento generalizado de bloques de roca que podrían terminar en un flujo. Igualmente, la licuación de los suelos puede terminar en flujos de suelo o lodo.

- **Alteración de suelos sensitivos.** Algunos flujos resultan de la alteración de suelos muy sensitivos, tales como los sedimentos no consolidados. Las arcillas de origen marino son generalmente muy sensitivas.
- **Deslizamientos en zonas de alta pendiente.** Al presentarse un deslizamiento de traslación o de rotación en una ladera de alta pendiente, existe la tendencia a la formación de un flujo al adquirir velocidad las masas de suelo desprendidas. Con frecuencia se unen varios deslizamientos para conformar un flujo de gran magnitud.
- **Velocidad de flujos.** Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los hay de roca, de residuos, de suelo o tierra. Los flujos muy lentos (o extremadamente lentos) se asimilan en ocasiones, a los fenómenos de reptación. En los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación, la velocidad del movimiento disminuye al profundizar en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura.

El lavado de la sal, facilita el colapso de la estructura de la arcilla y la formación de flujos, por la infiltración de agua. Al presentarse un deslizamiento de traslación o de rotación en una ladera de alta pendiente, existe la tendencia a la formación de un flujo al adquirir velocidad las masas de suelo desprendidas. Con frecuencia se unen varios deslizamientos para conformar un flujo de gran magnitud.

Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los hay de roca, de residuos, de suelo o tierra. Los flujos muy lentos (o extremadamente lentos) se asimilan en ocasiones, a los fenómenos de reptación. En los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación, la velocidad del movimiento disminuye al profundizar en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura.

Los flujos se clasifican de acuerdo con las características del material deslizado.

Flujos de bloques de roca. Los flujos de bloques de roca están compuestos por bloques y cantos de roca, con o sin presencia de materiales finos. Las pendientes de estos taludes comúnmente son muy empinadas (más de 45°).

Inicialmente, se presentan como caídos o deslizamientos, rápidamente evolucionan y se transforman a flujos o avalanchas. La pendiente de los flujos es generalmente superior a 20% y es común que haya pendientes de más de 100%.

Su presencia es común tanto en las rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas, como en las rocas sedimentarias con ángulos fuertes de buzamiento de los planos de estratificación. En las rocas ígneas o metamórficas, los flujos pueden estar precedidos por fenómenos de inclinación y en las rocas metamórficas por desplazamientos de traslación a lo largo de los planos de estratificación. Los flujos de roca de mayor magnitud, generalmente se presentan en las rocas sedimentarias (Guevara, 2006).

Para la formación de grandes flujos de bloques de roca, se necesita que haya planos importantes de debilidad en el macizo rocoso, tales como intercalaciones de areniscas y lutitas además de fallas geológicas cercanas, con aferencias importantes de roca fracturada, para lo cual se requieren alturas importantes y pendientes grandes de la superficie del talud. A mayor altura y/o pendiente, la velocidad de los flujos de roca es mayor. El tamaño de los bloques depende de los patrones de fracturación del macizo de roca.

Se observa la relación de los flujos en roca con perfiles de meteorización poco profundos en los cuales las fallas están generalmente relacionadas con cambios de esfuerzos y lixiviación, ocasionados por la filtración momentánea del agua en las primeras horas después de una lluvia fuerte.

Los flujos de bloques de roca ocurren con mucha frecuencia en las zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación, como en la cordillera de los Andes. Estos flujos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad va de rápida a muy rápida. La distribución de velocidades simula la de los líquidos viscosos.

Flujos de residuos (detritos). Los flujos de residuos o de detritos son movimientos relativamente rápidos que llegan a ser extremadamente rápidos y están compuestos de materiales gruesos con menos del 50% de finos. Por lo general, un flujo de rocas termina en uno de residuos.

Los materiales se van triturando por el mismo proceso del flujo y se observa una diferencia importante de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento.

Los flujos de escombros o de detritos, generalmente contienen partículas de diferentes tamaños, árboles y material vegetal, así como diversos objetos arrastrados por el flujo.

El movimiento de los flujos de detritos se activa con las lluvias, debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debidas al movimiento del agua subterránea (Mendoza y Domínguez, 2006). Los daños causados por los flujos de detritos abarcan áreas relativamente grandes.

El flujo típico de detritos es una onda larga de materiales sólidos y líquidos entremezclados, que corre, en forma constante, a través de un canal con algunas ondas menores superpuestas que se mueven a velocidades superiores a aquellas del flujo mismo.

Los movimientos se inician a velocidades moderadas y aumentan a medida que descienden por la ladera o cauce. Al aumentar la velocidad, va arrastrando materiales y objetos de

diferentes tamaños. Cuando el canal es más pequeño que el flujo, se forman ondas horizontales o depósitos laterales a los lados del canal.

Los flujos de tierra son movimientos de materiales con más del 50% de finos y su consistencia es líquida. Se inician comúnmente como desplazamientos de rotación o traslación y al acumularse los suelos sueltos abajo del pie del deslizamiento, éstos fluyen sobre la ladera. Los flujos de tierra son rápidos o lentos, de acuerdo con la humedad y la pendiente de la zona de ocurrencia. En las zonas de alta montaña y en las desérticas, se presentan flujos muy secos, por lo general pequeños pero de velocidades altas.

Flujos de lodo. En los flujos de lodo se habla de viscosidad propiamente dicha, llegando al punto de hablar de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo alcanzan velocidades muy altas y poseen grandes fuerzas destructoras, las cuales dependen de su caudal y velocidad.

Un flujo de lodo posee tres unidades morfológicas: un origen que generalmente es un deslizamiento, un camino o canal de flujo y finalmente, una zona de acumulación.

El origen consiste en una serie de escarpes de falla o desplazamientos de rotación o traslación; el camino o canal es un área estrecha, recta o una serie de canales a través de los cuales fluye el material viscoso. La anchura, profundidad y pendiente del camino del flujo, varía de acuerdo con las condiciones topográficas y morfológicas. La zona de acumulación es un área de menor pendiente en la cual el flujo pierde velocidad y forma un abanico de depósito.

5.1.5.3 Metodología de estudio

La metodología a seguir para identificar el peligro por flujos comprende las siguientes etapas:

1. Compilación de información de estudios realizados en el Municipio de Tecolotlán.
2. Análisis cartográfico.
 - a. Características naturales del territorio (Edafológico, Geológico, Geomorfológico, Uso Actual de Suelo y Vegetación, Precipitación media anual).
 - b. Levantamiento de información geológico-geomorfológica (fallas, fracturas, grietas).
3. Recorrido de campo para identificar sitios con evidencias de flujos antiguos y propensos
4. Obtener evidencias de daño en la infraestructura y asentamientos humanos.
5. Zonificar el peligro por flujos.

5.1.5.4 Peligro por flujos en el Municipio de Tecolotlán

De acuerdo al taller realizado con autoridades de protección civil, se identificaron sitios en donde se han presentado flujos y son propensos a que sigan repitiéndose como se muestra en la Imagen 5-LXV.

Imagen 5-LXV. Localización histórica del peligro por flujos en Tecolotlán.



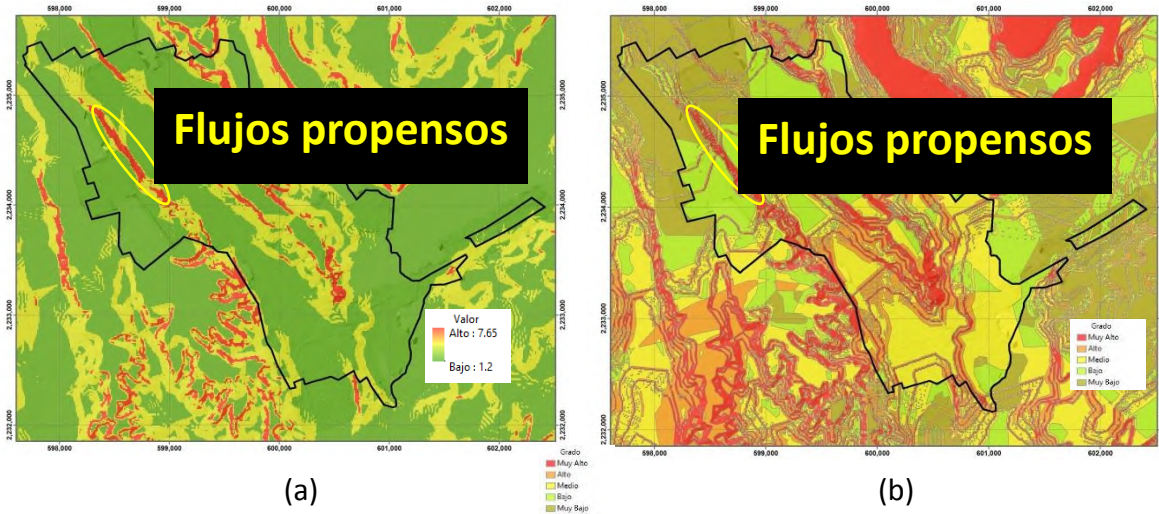
Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadísticas y Geográfica, 2016.

De acuerdo al recorrido de campo se identificaron como zonas propensas a que se originen flujos, sobretodo en épocas de precipitación pluvial. Tomando como referencia el mapa de susceptibilidades para inestabilidad de laderas (Imagen 5-LXVI) encontramos zona de alto peligro y susceptibilidad a flujos y más si encontramos fuerte pendiente y con alta precipitación se convierte en zona de peligro por flujos.

De acuerdo al mapa de pendientes y de susceptibilidades de Inestabilidad de laderas obtenido para deslizamiento, podemos observar la zona identificada para la presencia de flujos, con fuertes pendientes y en zona de susceptibilidades para un deslizamiento por lo que cuenta con las condiciones ideales para el desarrollo de este fenómeno como son:

1. Fuerte pendientes
2. Zona propensa a deslizamiento
3. Material flojo (canto rodado y arena fina)

Imagen 5-LXVI. Identificación de zona para peligros por flujos: (a) Mapa de pendiente ubica a zona de flujos propensos con alta pendiente. (b) Mapa de susceptibilidad en inestabilidad de ladera, muestra alta peligro para el deslizamiento y generarse flujo.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

La Imagen 5-LXVII, muestra la evidencia de flujos en la carretera a Tenamaxtlán, se encontró material de arrastre (canto rodado) con material fino (arenas), semi-redondeado, seña de que fueron transportados por fuertes corrientes fluviales. Esto nos lleva a pensar en la presencia de un flujo antiguo, que se ha presentado en la zona.

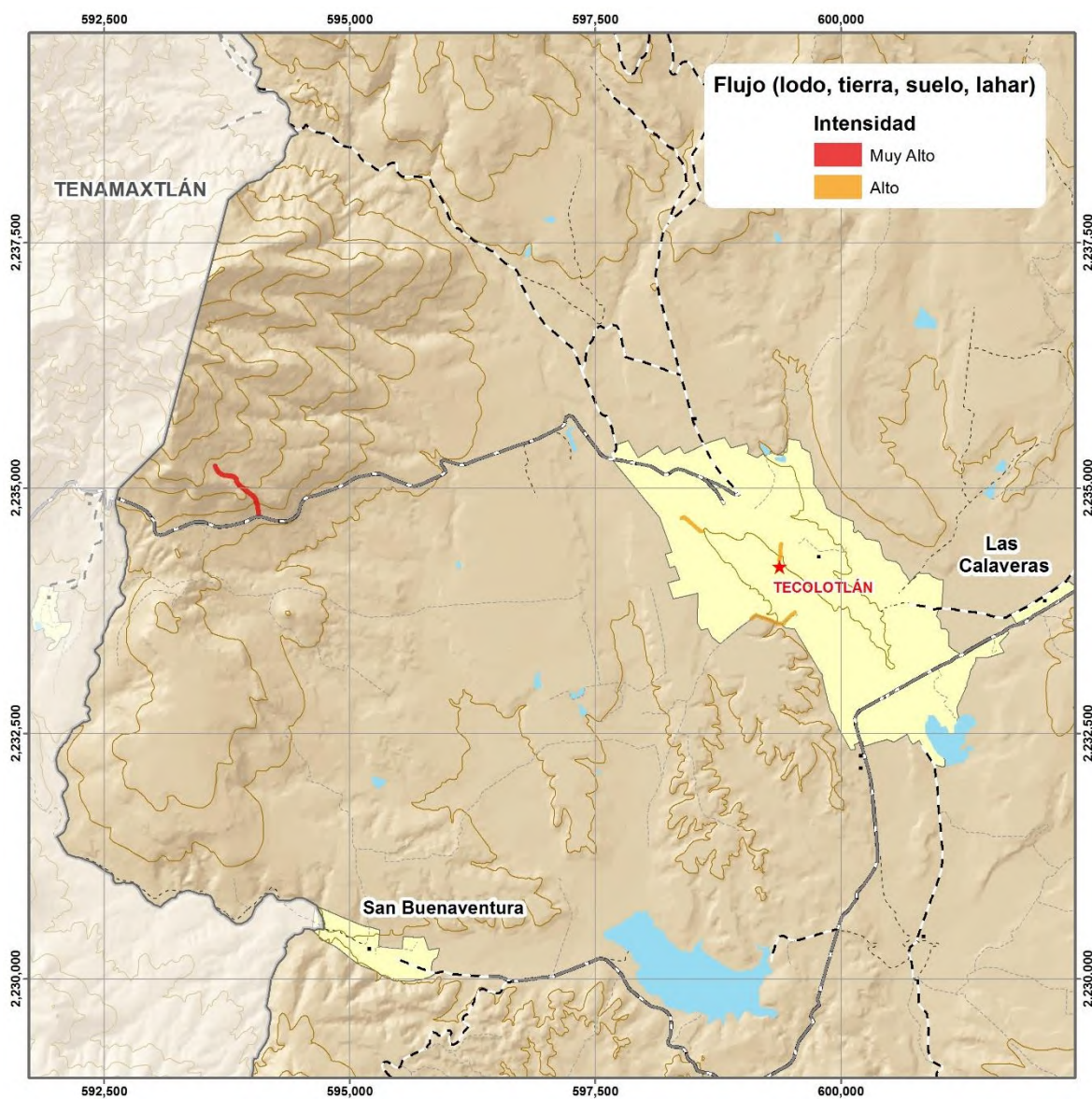
Imagen 5-LXVII. Evidencia de flujos en la carretera a Tenamaxtlán.



Fuente: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Para obtener el peligro por flujos será posible obtener una metodología similar al realizado a los deslizamientos, obteniendo la Imagen 5-LXVIII.

Imagen 5-LXVIII. Mapa de peligros por flujos a nivel de la cabecera Municipal



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.






El peligro por flujos Muy Alto se da sobre la carretera a Tenamaxtlán y con intensidad media en algunos sectores en la Cabecera Municipal.

5.1.5.5 Vulnerabilidad

Los flujos son uno de los procesos de remoción en masa más destructivos, dado que se generan en las zonas montañosas y se depositan en abanicos aluviales o llanuras aluviales ocupadas por asentamientos humanos, siendo estos los más vulnerables a los procesos de estos fenómenos.

Con los índices de resistencia y exposición, se obtiene el índice de vulnerabilidad física IVF para cada edificación. Los diferentes tipos de daños o efectos sobre las edificaciones que se esperarían como resultado de la ocurrencia del flujo, para los diferentes periodos de retorno, son los relacionados en la Tabla 5-XXXII.

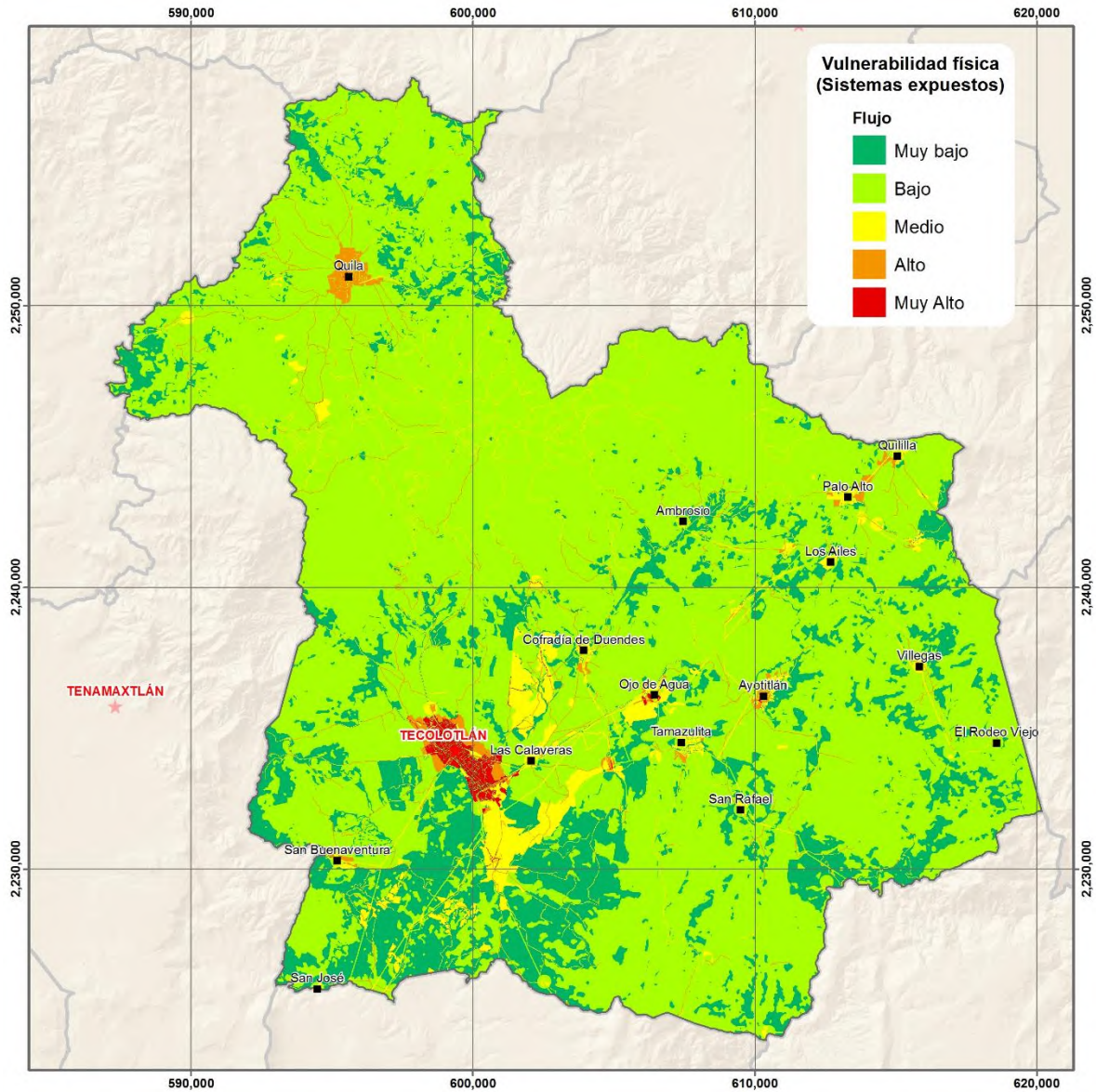
Tabla 5-XXXII. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por flujos.

Índice de Vulnerabilidad Física	Intensidad de Vulnerabilidad	Color	Rango de Daño	Tipo de Daño
0.2	Muy Baja		0-0.2	No hay daño, No afecta la estabilidad estructura
0.4	Baja		0.2-0.4	No hay daño, No afecta la estabilidad estructura
0.6	Media		0.4-0.6	Fisuras en muros, estabilidad no afectada, Reparaciones no urgentes
0.8	Alta		0.6-0.8	Fracturas estructurales, Destrucción parcial, es necesario evacuar
1.0	Muy Alta		0.8-1.0	Destrucción parcial o total, evacuación necesaria, reconstrucción total.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).

La vulnerabilidad física obtenida para flujos de tierra o lodo se muestra en el mapa de la Imagen 5-LXIX.

Imagen 5-LXIX. Mapa de vulnerabilidad física para el peligro por flujos



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017

5.1.5.6 Análisis del Riesgo

El análisis de riesgo generado por un fenómeno perturbador se da en función de la amenaza y la vulnerabilidad se define el daño esperado, cuando dicho producto presenta valores mayores entre 0.8 y 1.0, se estima que la edificación requiere demolerse y volverse a reconstruir. En la Tabla 5-XXXIII, se presenta el criterio la valoración del efecto indicativo del daño.

Tabla 5-XXXIII. Efecto indicativo del daño por flujos.

Amenaza X Vulnerabilidad		Descripción del daño por flujos	Efecto
0.8	1.0	Estructura completamente destruida y/o daños a gran escala que requieren reconstrucción.	Catastrófico
0.6	0.8	Grandes daños en la mayor parte de la estructura, y/o se extiende más allá de los límites de los sitios que requieren trabajos de reconstrucción significativos.	Grandes Daños
0.4	0.6	Daño moderado a algunas partes de la estructura, y/o una parte significativa.	Daños Moderados
0.2	0.4	Daño limitado a una parte de la estructura.	Daños Leves
0	0.2	Sin daño	Sin Efectos

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).

El análisis del riesgo de flujo se realiza principalmente para la infraestructura, la población o elementos lineales como son: brechas, terracerías, caminos etc. Las Tablas 5-XXXIV, 5-XXXV, 5-XXXVI y 5-XXXVII.

El riesgo para la infraestructura en el Municipio por flujos de tierra o lodo se da fundamentalmente para los postes de CFE o teléfono y son afectados en un nivel de intensidad de baja a media (Tabla 5-XXXIV).

Tabla 5-XXXIV. Riesgo por flujos para infraestructura.

Nivel de Intensidad	Infraestructura
Bajo	5
POSTE DE CFE	3
POSTE DE TELEFONO	2
Medio	1
POSTE DE TELEFONO	1
Muy bajo	5
POSTE DE CFE	2
POSTE DE TELEFONO	3
Total general	11

Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

El riesgo por flujos para la población ubicada en laderas, se encuentran en un nivel de intensidad de Bajo a Medio con un población de 2690 habitantes en riesgo propensos a este tipo de fenómenos (Tabla 5-XXXV).

Tabla 5-XXXV. Riesgo por flujos para la población.

Nivel de Intensidad	Población
Bajo	1153
Medio	1537
Muy bajo	1900
Total general	4590

Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017

En el caso de que tomemos en cuenta cuantos predios están en riesgo en el nivel Medio se tienen que 22 predios presentan condiciones para ser afectados por flujos de tierra o lodo, dependiendo de las condiciones que aceleren los procesos de desplazamiento de los flujos (Tabla 5-XXXVI).

Tabla 5-XXXVI. Riesgo por flujo por predio.

Nivel de Intensidad	Predio
Bajo	1
Medio	22
Muy bajo	1
Total general	24

Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

Para el caso del riesgo por flujos a caminos veredas, terracerías y carreteras pavimentadas, se determinó una intensidad media a 171.28 m de longitud se encuentra en riesgos de ser afectada, en el caso de riesgo bajo son 11.51 m a ser afectado levemente por este fenómeno (Tabla 5-XXXVII).




Tabla 5-XXXVII. Riesgo por flujos para líneas.

Nivel de Intensidad	Longitud (m)
Bajo	11.5180118
TERRACERÍA	11.5180118
Medio	171.2802049
CARRETERA PAVIMENTADA	51.19108344
TERRACERÍA	0.712475878
VEREDA	119.3766456
Muy bajo	403.0383292
TERRACERÍA	19.06613714
VEREDA	383.9721921
Total general	585.8365459

Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017

Una vez determinado el criterio de la cuantificación del daño, se realiza la categorización del riesgo con los niveles medio, bajo y muy bajo. En la Tabla 5-XXXVIII, se presenta la matriz de riesgo, donde se establecen las relaciones entre la categorización del nivel de riesgo y la infraestructura.

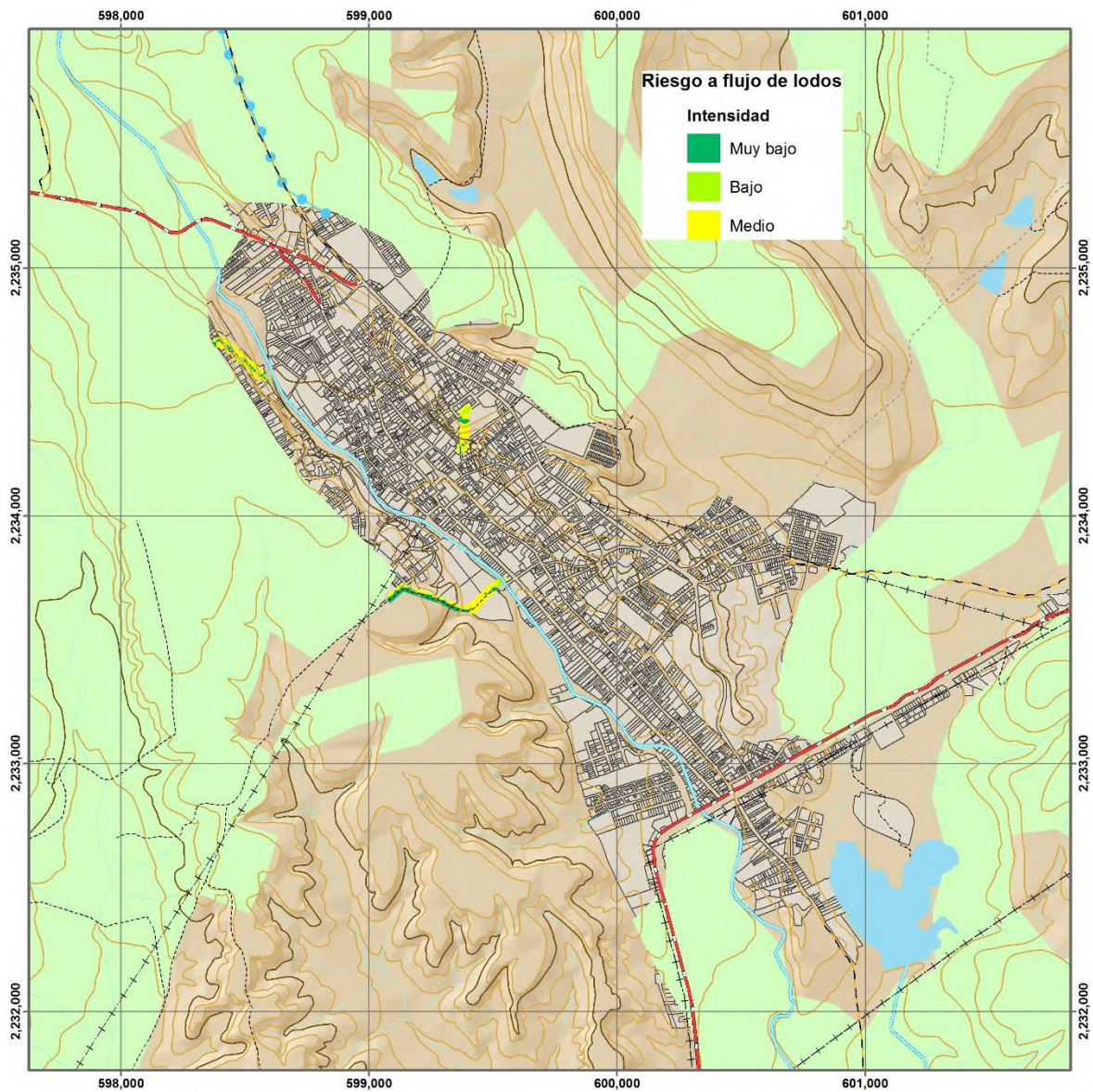
Tabla 5-XXXVIII. Matriz de Riesgo

Nivel del riesgo		Descripción
Medio		Puede ser tolerada en ciertas circunstancias implementación de las opciones de tratamiento para reducir el riesgo a bajo. Las opciones de tratamiento para reducir a un menor riesgo deben ser implementadas tan pronto como sea posible.
Bajo		Daño aceptable. El tratamiento ha sido necesario para reducir el riesgo a este nivel, se requiere el mantenimiento continuo.
Muy Bajo		Sin efecto, ni daño estructural

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996)

El mapa de riesgos por flujos elaborado para la cabecera municipal se muestra en la Imagen 5-LXX.

Imagen 5-LXX. Mapa de riesgos por flujos para la cabecera Municipal.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

El análisis del riesgo a la ocurrencia de flujo de detritos se realizó mediante la implementación del método que se fundamenta en el análisis superpuesto entre el mapa de inventario de flujo y los mapas de los factores condicionantes considerados.

El modelo de susceptibilidad así considerado se generó a partir de las variables: pendiente, litología y el inventario de flujos antiguos. Para todas las variables, se presentaron clases que tienen correlaciones importantes con la ocurrencia de flujos de detritos, aunque las clases donde se presentan mayores correlaciones a la variable de pendientes.

Del mapa de pendientes se observa que las pendientes en el área de estudio varían entre 0 y 30°, siendo las pendientes mayores a 15° las que muestran mayor asociación con el flujo de detritos, mientras que las pendientes leves (0 - 8°), en las planicies o valles aluviales, no guardan relación con dichos eventos. Esto se explica porque mientras el ángulo de la pendiente aumenta también incrementa la tensión en el suelo o del material no consolidado favoreciendo al desarrollo de flujos. Adicionalmente las altas pendientes favorecen el arranque y movilización de material a las corrientes tributarias generadas por altas precipitaciones y de allí a la corriente principal.

5.1.5.7 Medidas de Mitigación

La susceptibilidad a los flujos de detritos en los valles, son de riesgo inclusive en zonas con muy pocas lluvias, pero con suelos desnudos o con poca vegetación, aunque impactos asociados con flujos de detritos, la pérdida de vidas y viviendas por los segundos es comparativamente mayor que en suelos protegidos por vegetación.

Pero la mejor opción para protegerse del peligro es alejarse de la zona de riesgo. Esta sería una acción no estructural, como lo son también un sistema de alerta temprana o un plan

de evacuación y seguimiento por parte de la población en riesgos por flujos. La primera sería una medida preventiva, mientras que las otras dos serían medidas de mitigación.

También se pueden aplicar acciones estructurales, como colocar muros de retención de azolves, bordos, muros de contención, muros de encauzamiento, estanques de depósito, etc.

Controlar o disminuir la presión que ejerce el agua dentro del suelo o roca facilitando su circulación o evacuación rápida a través del talud evitando el exceso de presión y erosión interna.

Protección de la superficie del terreno con revestimiento. El revestimiento es utilizado para la prevención y protección de taludes protegiendo sus zonas críticas. Cumple las funciones de disminución de infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad.

5.1.6 DERRUMBES

Son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas, consiste en el desprendimiento y caída repentina de una masa de tierra y roca, que pueden rodar o caer directamente en forma vertical, normalmente ocasionado por sismos, gravedad, actividad humana, erosión y el efecto de la lluvia. Las zonas susceptibles a derrumbes locales son principalmente los márgenes de los ríos, esto es cuando las avenidas son grandes como las del cauce de un río o donde existe un banco de material que erosiona muy aceleradamente los bordes del cauce (Cuanalo y González, 2007)

Los bloques de roca que se sueltan de la fachada de un talud y caen por caída libre, a golpes o rodando son una amenaza muy importante, especialmente en vías de comunicación. Generalmente, los derrumbes se inician por un cambio en las fuerzas que actúan sobre un bloque o una masa de roca, estos cambios de fuerzas están asociados con fenómenos climáticos, eventos biológicos o actividades de construcción o movimientos del terreno por el hombre.

5.1.6.1 Causas de los derrumbes

Los tipos de eventos que producen caídos son los siguientes (CENAPRED, 2001).

1. Incremento de la presión de poros en las juntas debido a la lluvia
2. Cambios de temperatura
3. Descomposición química de la roca en los climas tropicales húmedos
4. Crecimiento de las raíces dentro de las juntas
5. Movimiento del viento
6. Vibraciones debidas a actividades de construcción o voladuras
7. Sismos

Las actividades de construcción aumentan en forma importante la posibilidad de caídos de roca de un macizo rocoso.

5.1.6.2 Factores que afectan la dinámica de un derrumbe

Los factores más importantes que controlan la trayectoria de caído de un bloque de roca son la geometría del talud y el tipo de superficie de este talud. Algunos taludes actúan como salto de esquí y generan velocidades horizontales muy significativas en el bloque de roca, aumentando en forma importante la amenaza sobre la vía (Cuanalo y Flores, 2005).

Las superficies de fachada de talud muy limpias son peligrosas, debido a que tienen un alto coeficiente de restitución y por lo tanto, no retardan el movimiento del bloque que cae.

Por el contrario, los taludes de materiales sueltos o gravas tienen un bajo coeficiente de restitución y absorben una cantidad considerable de energía y en algunos casos pueden incluso parar este movimiento.

Como la geometría y el coeficiente de restitución de la superficie del talud son los factores principales que controlan el movimiento de los bloques, se han podido desarrollar modelos que representan en forma relativamente precisa el movimiento de los bloques.

Otros factores tales como tamaño y forma del bloque, características, fricción de la superficie de la roca y posibilidad de que el bloque se rompa o no; tienen también importancia en la magnitud de la amenaza. Los factores más significativos son la geometría y el coeficiente de restitución.

Los eventos de caídos de roca originados de un mismo sitio pueden comportarse en forma diferente, de acuerdo a la interrelación entre estos factores.

Geometría del talud. De los factores geométricos la pendiente del talud se considera crítica porque define la aceleración y desaceleración de los bloques de roca.

La longitud del talud determina la distancia sobre la cual la roca acelera y desacelera. Otro factor importante es la interacción entre las irregularidades de la superficie del terreno con el bloque de roca. Estas irregularidades afectan la variabilidad de los eventos (CENAPRED, 2001).

El efecto de las irregularidades es el de alterar el ángulo con el cual la roca impacta la superficie del talud y es precisamente ese ángulo de impacto el que, a la larga, determina el carácter del salto.

Algunas características que se pueden mencionar que afectan en la caída de bloque son los siguientes aspectos.

1.- Coeficientes de restitución y de fricción. Mientras los mecanismos primarios son la resistencia al deslizamiento y a la fricción de giro, la elasticidad del talud determina el movimiento normal al talud. Para determinar los nuevos componentes de la velocidad después del impacto de la roca, se requieren nuevos coeficientes normales y tangenciales.

Cuando una roca impacta sobre el talud se pierde energía cinética, debida a los componentes inelásticos de la colisión y la fricción.

Las propiedades de la superficie del talud afectan el comportamiento del salto de un bloque de roca. Las representaciones numéricas de estas propiedades se han denominado coeficiente de Restitución (R_n) y coeficiente tangencial de resistencia a la fricción (R_t), donde la dirección normal es perpendicular a la superficie del talud y la dirección tangencial es paralela a esta superficie.

2.- Tamaño de los bloques. Como los bloques más grandes de roca tienen mayor momentum, es menos probable que se afecten por las irregularidades del terreno. Por la razón anterior, los bloques de mayor tamaño se desplazan en mayores longitudes que los bloques pequeños.

3.- Forma de los bloques. Otro factor importante es la forma de los bloques de roca. La forma de la roca afecta la distribución de los bloques en forma similar que la rugosidad de la superficie del talud. Igualmente la forma de la roca también influye sobre la parte de energía que es de traslación y la que es de rotación.

4.- Fragilidad de la roca. Una propiedad crítica de la roca es su fragilidad, la cual determina si el bloque se va a romper en el impacto. La fragmentación de la roca disipa una gran cantidad de energía y disminuye el tamaño individual de los bloques. El tamaño de la roca tiene una relación directa con la energía cinética.

5.1.6.3 Metodología de análisis

La metodología seguida en el estudio de caídos o derrumbes en el Municipio de Tecolotlán fue el siguiente proceso. A fin de estimar el peligro que puede representar el derrumbe, es necesario investigar las condiciones del sitio distinguiendo:

- a) Investigar los derrumbes que hayan ocurrido en la zona (derrumbes antiguos)
- b) Las peculiaridades topográficas y geomorfológicas del terreno
- c) Las características geotécnicas de los materiales
- d) Zonificar el peligro por derrumbes o caídos.

5.1.6.3.1 Investigación de la historia de derrumbes y reconocimiento de campo

La recopilación de documentos o informes sobre bloques caídos ocurridos en el pasado son de gran ayuda ya que proveen información sobre las causas y consecuencias de los derrumbes.

Con esta información es posible reconstruir la relación entre los factores internos y las posibles causas naturales, o factores externos, que dispararon el fenómeno natural. Ello permitirá tomar en cuenta dichos factores para la determinación de posibles áreas propensas a generarse derrumbes en el futuro.

La recopilación de información es valiosa, toda vez que permite la creación de un inventario que puede ser organizado por: localización del fenómeno, fecha de ocurrencia, tipo y extensión de deslizamiento que ocasiono derrumbes, intensidad de lluvia o magnitud del sismo, o vibraciones ambientales etc. La información en hemerotecas, y de manera destacada la que provean de primera mano los habitantes de una localidad, será muy valiosa para la estimación del peligro.

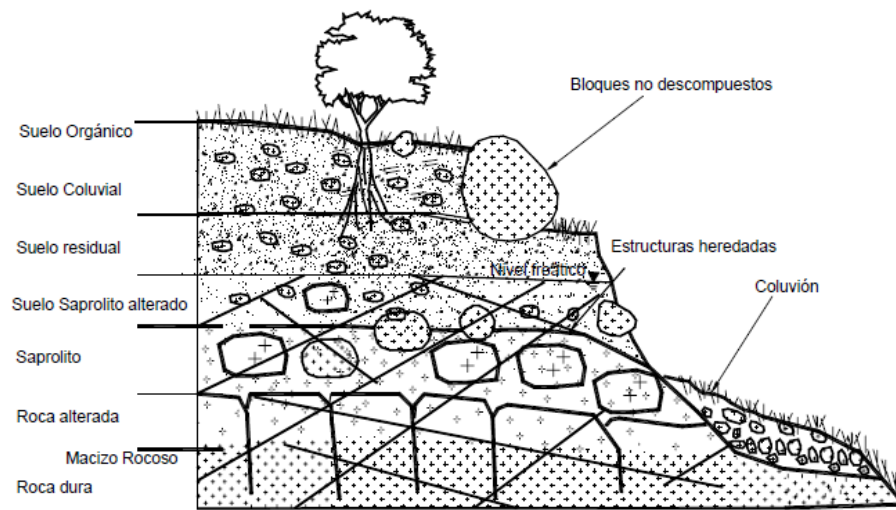
Debe sin embargo considerarse que la descripción geológica no es suficiente, por lo que más adelante se presentan algunas ideas de los atributos geotécnicos que deben investigarse.

El uso de planos topográficos recientes permite observar la forma de la superficie del terreno identificando los accidentes topográficos, o posibles movimientos de tierra ocasionados por acciones humanas o por causas naturales. De esta manera es posible identificar los aspectos geomorfológicos de la zona de estudio y sus condiciones de drenaje, lo cual da una idea del tipo de materiales que se pueden encontrar en el sitio; se recomienda que los mapas topográficos sean de una escala entre 1:2,000 y 1:10,000. Por otra parte, los modelos de elevación siempre serán valiosos para identificar casi puntualmente la existencia de antiguos deslizamientos y las zonas susceptibles a dicho problema. Por ello será deseable contar con mosaicos de fotografías aéreas, proporcionan una visión tridimensional con la que pueden juzgarse zonas propensas a generarse derrumbes. El desarrollo de nuevos asentamientos humanos y los cambios geomorfológicos son fáciles de identificar con estos medios (Montiel, et al., 2008).

5.1.6.3.2 Rasgos geológicos y geomorfológicos que propician inestabilidades para desprendimiento de rocas

Los derrumbes en nuestro país ocurren con gran frecuencia en suelos residuales y durante periodos de lluvias intensas. Los suelos residuales son aquellos materiales producto de la descomposición química de las rocas, resultado del intemperismo provocado por el clima; se trata de geomateriales no transportados, disgregables o de consistencia blanda que se mantienen en el mismo sitio en que fueron modificados a partir de la roca original (Imagen 5-LXXI). Con frecuencia exhiben incluso la misma apariencia que la roca original. Amplias zonas del territorio nacional están cubiertas con suelos residuales.

Imagen 5-LXXI. Perfil de alteración de un suelo residual y de la roca basal.



Fuente: www.erosion.com.co

El grado de alteración y la extensión a la que la estructura original de la masa de roca se destruye o meteoriza varía con la profundidad. Se da lugar así a perfiles de alteración que comprenden materiales con propiedades mecánicas muy diferentes desde aquellas propias de la roca franca que se encuentra a profundidad, hasta las de suelo completamente intemperizado o alterado, o simplemente residual, que se observa en la superficie del terreno. No es de extrañarse entonces, que con frecuencia las superficies de deslizamiento en materiales residuales se ubiquen relativamente cerca y paralelas a la superficie del terreno (CENAPRED, 2001).

5.1.6.1. Peligro por derrumbes

El peligro por derrumbes se encuentra presente en el Municipio de Tecolotlán, Imagen 5-LXXII y 5-LXXIII, se muestran la zona identificada por derrumbes o caídos de bloques.

Imagen 5-LXXII. Zonas con presencia de derrumbes.



Fuente: IIEG- Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LXXIII. Evidencia de la caída de bloques o derrumbes.



Fuente: IIEG-Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2016.

El proceso de análisis para identificar zonas de peligro por derrumbes, se considera tomar la metodología utilizada en deslizamientos, considerando geología, suelos, pendientes y la cartografía necesaria para obtener el peligro por derrumbes. De acuerdo a lo observado y los sitios identificados para que se presente este tipo de fenómeno son lugares montañosos con alta pendiente para que los bloques puedan rodar y caer. Siendo afectado principalmente las carreteras.

5.1.6.4 Memoria de Cálculo

Para el cálculo de los valores obtenidos en campo de las diferentes zonas y localidades que pudieran presentar características propias de caídos o derrumbes, se tomaron en cuenta características similares a los procesos de análisis para la inestabilidad de laderas.

5.1.6.4.1 Intensidad del fenómeno de Derrumbes

Parece conveniente buscar un tratamiento similar al enfoque que se da a otros peligros naturales como el sísmico. Así, se ha considerado pertinente el enfoque de Hungr (1997), en el que los deslizamientos son caracterizados por su intensidad. La intensidad puede definirse como un conjunto de parámetros cuantitativos o cualitativos distribuidos espacialmente, con los que se puede determinar el potencial que tiene un deslizamiento para causar daños. La intensidad sísmica reúne a un conjunto de parámetros distribuidos espacialmente para descubrir la potencia destructiva de movimientos del terreno. Estos parámetros pueden ser cuantitativos, tal como la aceleración máxima o la velocidad máxima, o cualitativos como la escala de Mercalli modificada (MM).

Tratándose de la intensidad de un deslizamiento estaríamos refiriéndonos a los parámetros que describen su destructividad. Debe reconocerse que todavía no existe una escala como la de la intensidad sísmica (MM); en ello debe establecerse la dificultad para definir tal escala, en virtud de que los efectos de los movimientos masivos térreos sobre las estructuras e infraestructura, son mucho más diversos que aquellos debidos a los temblores de tierra.

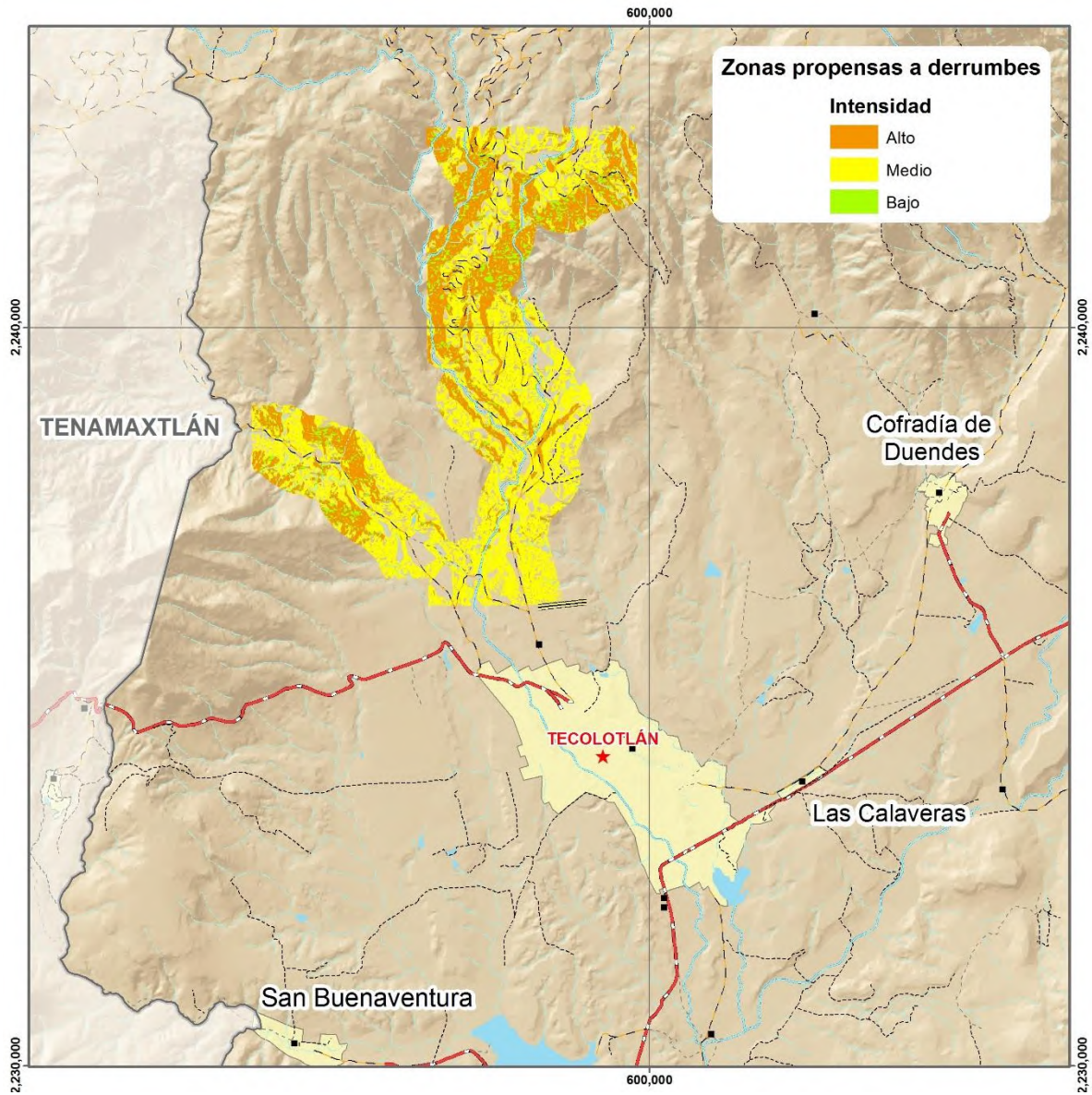
Uno de los parámetros más importantes para definir la intensidad de un deslizamiento, es la velocidad máxima de movimiento. Este dato junto con la estimación de la magnitud o volumen del deslizamiento, la profundidad de la masa en movimiento y el desplazamiento total ofrecen elementos para juzgar la posible destructividad de un deslizamiento.

El análisis de la inestabilidad por caídos o derrumbes consiste en la zonificación con áreas susceptibles de deslizamiento de masas descrito por CENAPRED.

5.1.6.4.2 Descripción de los sitios con potencial susceptible a presencia de caídas o derrumbes en el Municipio de Tecolotlán

En el municipio de Tecolotlán, por las características presentadas con los factores que contribuyen a la ocurrencia de caídos o derrumbes representados en los mapas anteriores se describe a continuación los sitios susceptibles a la ocurrencia de estos fenómenos a nivel municipal y en los poblados de Tamazulita y Ayotitlán (Imágenes 5-LXXIV y 5-LXXV).

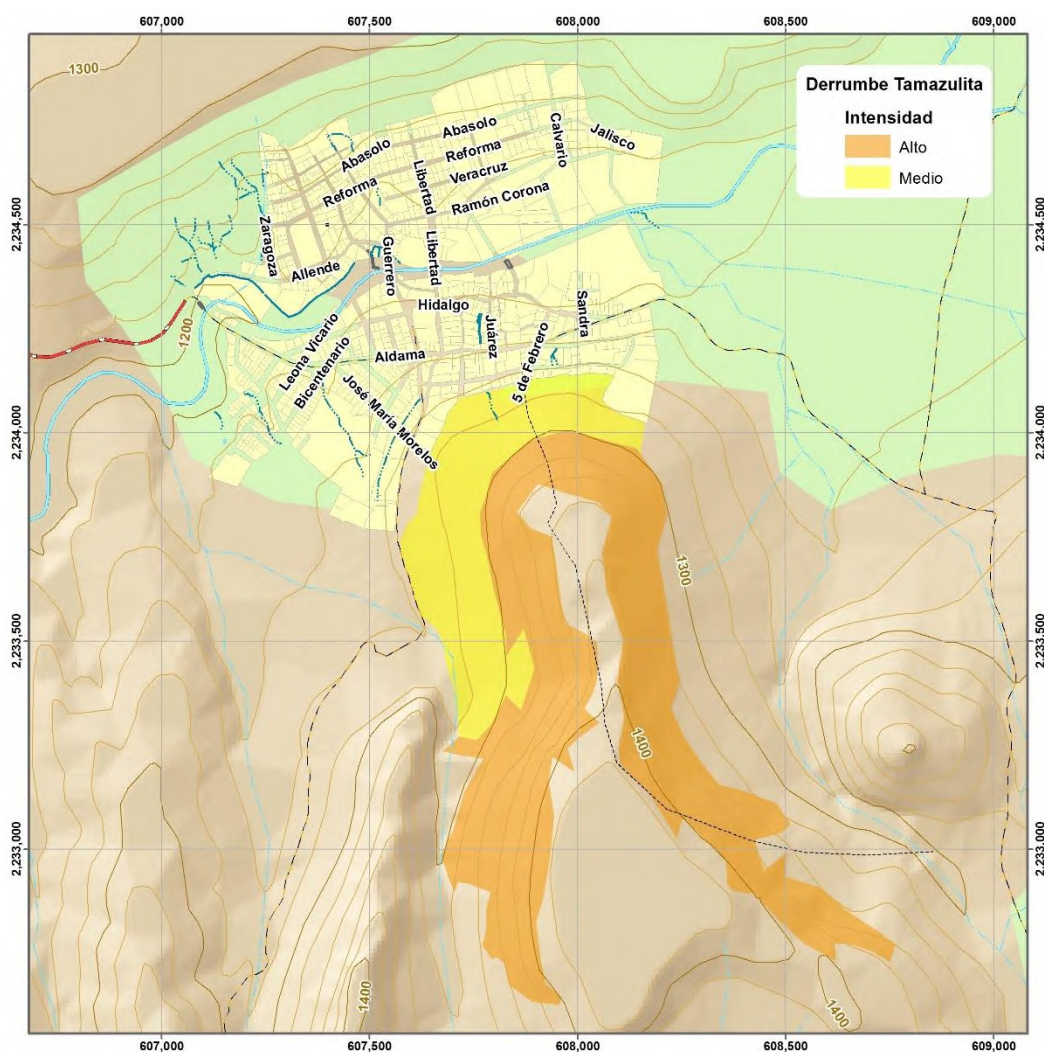
Imagen 5-LXXIV. Mapa de Zonas propensas a derrumbes en el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG-Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2016.

En las localidades de Tamazulita y Ayotitlán se localizaron zonas con caídos, como se muestra en la Imagen 5-LXXV, con diámetro hasta 2 m.

Imagen 5-LXXV. Identificación de zonas propensas a derrumbes en Tamazulita.



Fuente: Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2016.

En Tamazulita se encuentran caídos de capas superficiales de bloques de rocas volcánicas (basalto). Acelerar la debilidad de estos bloques rodados por actividad humana, y aunado a los fenómenos naturales (sismos o lluvias) se crea un peligro de derrumbes para las poblaciones aledañas (Imágenes 5-LXXVI Y 5-LXXVII).

Imagen 5-LXXVI. Bloque caído y volcado en Tamazulita.



Fuente: IIEG-Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2016.

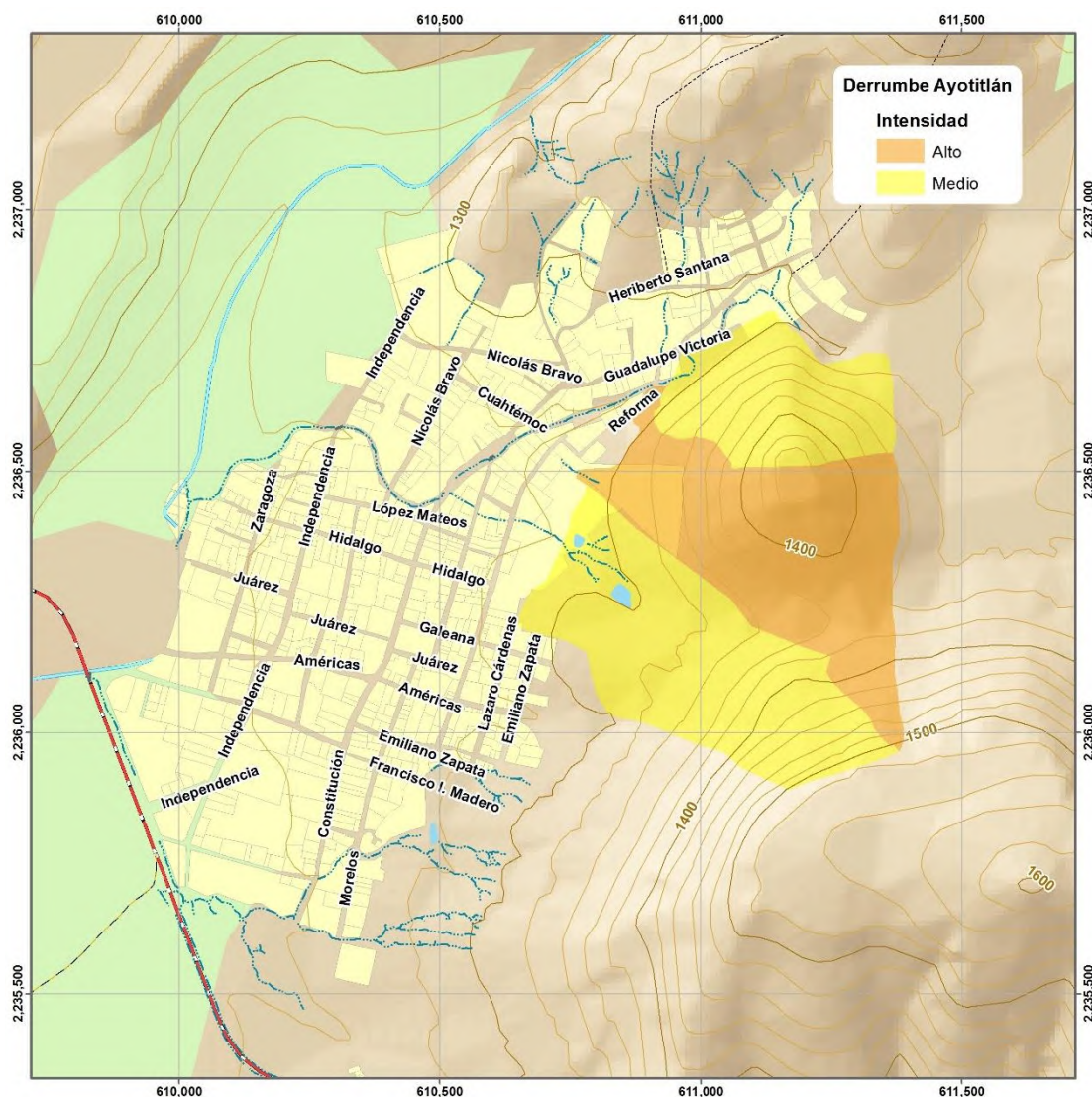
Imagen 5-LXXVII. Bloque caído y volcado propensos a rodar con fuertes lluvias y sismos en Tamazulita



Fuente: IIEG-Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2016.

En Ayotitlán los caídos localizados se encuentran en la pendiente de una montaña (Imagen 5-LXXVIII), que por las características de los diferentes tipos de rocas (basalto) (Imagen 5-LXXIX y 5-LXXX) y la configuración de la montaña da la impresión de ser una elevación volcánica, está teoría debe ser comprobada con un estudio petrográfico.

Imagen 5-LXXVIII. Identificación de zonas propensas a derrumbes en Ayotitlán.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LXXIX. Bloque caído y volcado en Ayotitlán.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016

Imagen 5-LXXX. Bloque caído y volcado en Ayotitlán.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016

5.1.6.5 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad física por derrumbes o caídos corresponde a la predisposición o susceptibilidad que tiene un elemento a ser afectado o a sufrir una pérdida por la ocurrencia de este tipo de fenómenos. En consecuencia, la diferencia de vulnerabilidad de los elementos determina el carácter selectivo de la severidad de los efectos de un evento externo sobre los mismos.

La vulnerabilidad, en términos generales, de carácter técnico, es más factible de cuantificar en términos físicos y funcionales, como por ejemplo, en pérdidas potenciales referidas a los daños o la interrupción de los servicios, a diferencia de la segunda que prácticamente sólo puede valorarse cualitativamente y en forma relativa, debido a que está relacionada con aspectos agrícolas, estructurales, poblacionales.

En consecuencia, un análisis de vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso.

Los elementos bajo riesgo en el contexto material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la ocurrencia de un evento, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza.

Este tipo de evaluaciones deben ser realizadas por entidades o profesionales de diversas disciplinas. Estudios acerca de la vulnerabilidad física y funcional, por ejemplo, deben ser realizados por ingenieros, arquitectos y planificadores, y evaluaciones de la vulnerabilidad

social deben ser desarrolladas en forma multidisciplinaria por parte de economistas, sociólogos, médicos, socorristas y planificadores, entre otros.

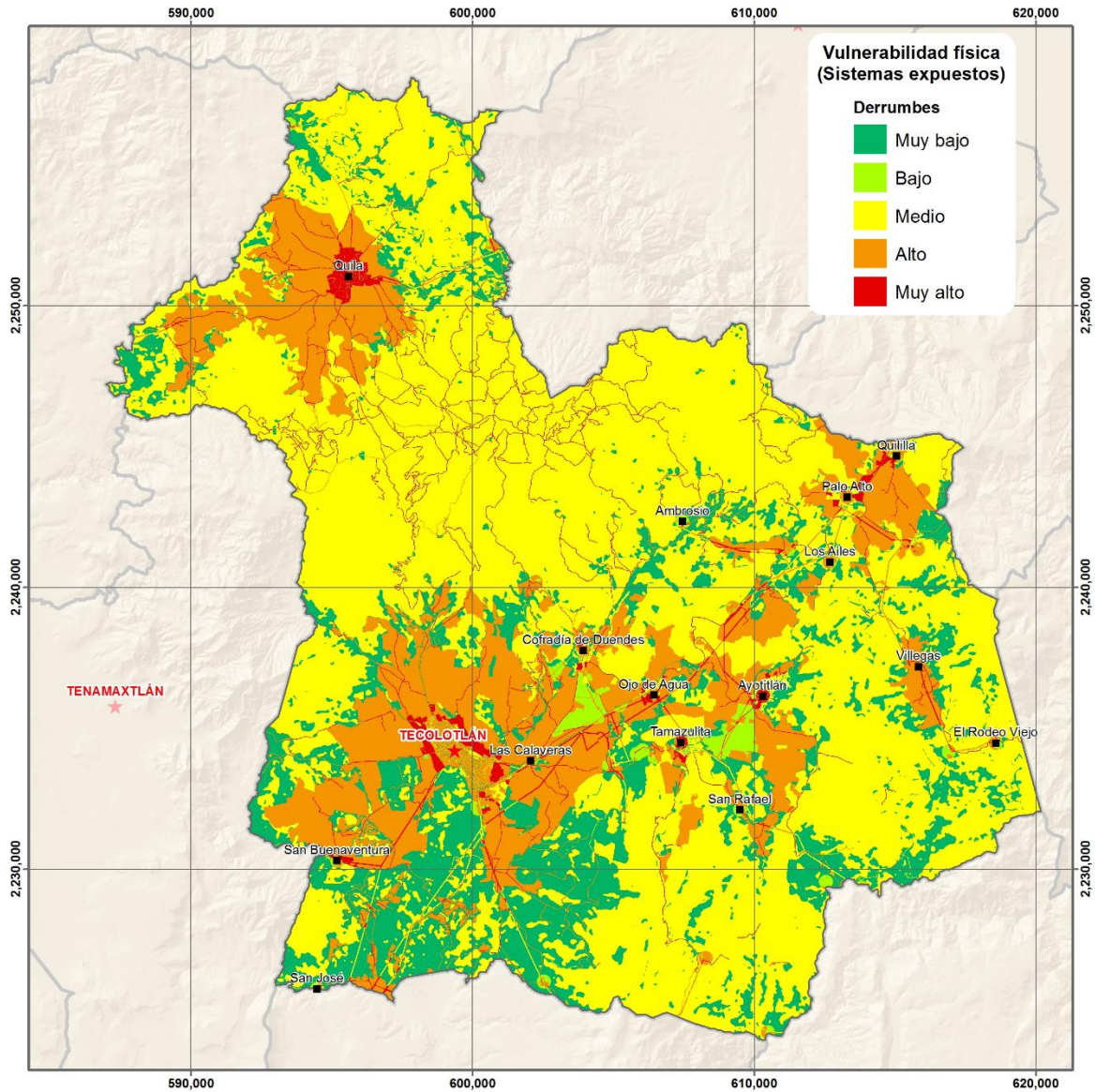
Por ejemplo, la evaluación de la capacidad de resistencia de edificaciones o de obras civiles existentes, es un caso de análisis de vulnerabilidad física desde el punto de vista de derrumbes o caídos; la determinación del nivel de exposición de viviendas y de infraestructura, y su capacidad para soportar estos fenómenos, es un ejemplo de un análisis de vulnerabilidad ante derrumbes.

Por otra parte, la evaluación del conocimiento y de la capacidad de una comunidad para actuar correctamente ante la ocurrencia del fenómeno, corresponde a un análisis de vulnerabilidad educativa para el caso de laderas perceptibles a la ocurrencia de derrumbes; igualmente, el análisis de la capacidad de reacción de personal de socorro, y de la capacidad hospitalaria ante una demanda masiva de servicios médicos, corresponde a un análisis de vulnerabilidad institucional y funcional para atender un desastre.

Las zonas vulnerables a derrumbes o caídos a considerarse de riesgo para una población son: laderas empinadas, sin vegetación, con predominancia de suelos sueltos, o rocas fracturadas. Para el caso del Municipio de Tecolotlán, es de tomar en cuenta las localidades de Tamazulita y Ayotitlán o la misma localidad de Cofradía de Duende, sin dejar de tomar en cuenta a Tecolotlán o Quila.






El mapa de vulnerabilidad física para el Municipio de Tecolotlán se muestra en la Imagen 5-LXXXI.

Imagen 5-LXXXI. Mapa de Vulnerabilidad Física para el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG-Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2017.

Tabla 5-XXXIX. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por derrumbes.

Índice de Vulnerabilidad Física	Intensidad de Vulnerabilidad	Color	Rango de Daño	Tipo de Daño
0.2	Muy Baja		0-0.2	No hay daño, No afecta la estabilidad estructural
0.4	Baja		0.2-0.4	No hay daño, No afecta la estabilidad estructura
0.6	Media		0.4-0.6	Fisuras en muros, estabilidad no afectada, Reparaciones no urgentes
0.8	Alta		0.6-0.8	Fracturas estructurales, Destrucción parcial, es necesario evacuar
1.0	Muy Alta		0.8-1.0	Destrucción parcial o total, evacuación necesaria, reconstrucción total.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).

5.1.6.6 Análisis del Riesgo

El riesgo de inestabilidad de laderas en la ocurrencia de derrumbes o caídos es uno de los fenómenos geológicos más recurrentes, en particular en épocas de lluvias y cuando ocurren sismos. Sin embargo, las estadísticas y estudios de este tipo de eventos y la difusión de medidas preventivas son, quizás, las menos desarrolladas entre los fenómenos geológicos perturbadores.

El riesgo por derrumbes o caídos, se ha dado debido a las lluvias intensas o continuas, en donde gran cantidad de agua se infiltra en el suelo llenando los poros o espacios que en el existen. Como consecuencia, el suelo se satura, y aumenta su peso, facilitando que los bloques que han rodado en una ladera, facilitando que se debilite y se caiga. De igual manera cuando ocurren sismos fuertes existe el peligro de que alguna ladera que se

encuentra debilitada se pueda caer, afectando a la población que vive sobre o en la parte baja de ésta.

Los riesgos que representa una ladera debilitada por factores naturales, también puede ser afectada por causas humanas, ya que al deforestar se debilita el terreno. Las excavaciones y cortes mal ejecutados pueden propiciar cierta inestabilidad.

Todos los factores antes mencionados es posible identificarlos en el Municipio de Tecolotlán, en donde encontramos que la zona se encuentra en un área de alto riesgo sísmico, es decir que se pueden presentar sismos fuertes, aunado con lluvias intensas, que pueden generar debilidad en las zonas identificadas y propensas para que se genere derrumbes o caídos, principalmente en Tamazulita y Ayotitlán, como ya se ha mencionado anteriormente.

El riesgo por derrumbe en el municipio se ha evaluado en la escala de riesgos de Bajo a Medio. Fundamentalmente por la escases de población en las áreas identificadas como zonas de derrumbes o caídos en donde se clasifica como riesgo Bajo.

Las zonas de riesgo medio se ha identificado la presencia del fenómeno, que hasta cierto punto se encuentran estables, si se desencadenan los efectos antes mencionados para originar un derrumbe se puede convertir en riesgo Alto o Muy Alto. Se ha analizado el riesgo por derrumbes en Infraestructura, Predios y lineal (Brechas, terracerías, caminos, etc.). En las tablas 5-XXXIII, 5-XXXIV y 5-XXXV, se muestran las estadísticas de dichos elementos.

La representación del riesgo por derrumbes es relativamente Bajo por los elementos como: Banco de Material, postes de teléfono y pozos de agua, que están en riesgo por este tipo de fenómenos (Tabla 5-XL).

Tabla 5-XXXIX. Riesgo por derrumbe en Infraestructura.

Intensidad del Riesgo	Infraestructura
Bajo	5
BANCO DE MATERIAL	1
FÁBRICA	1
POSTE DE TELEFONO	1
POZO DE AGUA	2
Total general	5

Fuente: IIEG-Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2017.

El riesgo por derrumbes prácticamente se localizó en Ayotitlán y Tamazulita. El riesgo por predio fue 9 y 24 respectivamente (Tabla 5-XLI).

Tabla 5-XL. Riesgo por derrumbe en Predios.

Intensidad del Riesgo	Predio
AYOTITLAN PREDIO	9
PREDIO	9
TAMAZULITA PREDIO	24
PREDIO	24
Total general	33

Fuente: IIEG-Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2017.

El riesgo por derrumbe para brecha, pista de aviación terracerías y veredas es Bajo con una longitud de 15,177.32 m. En riesgo medio se encuentran 7953.20 m (Tabla 5-XLII)

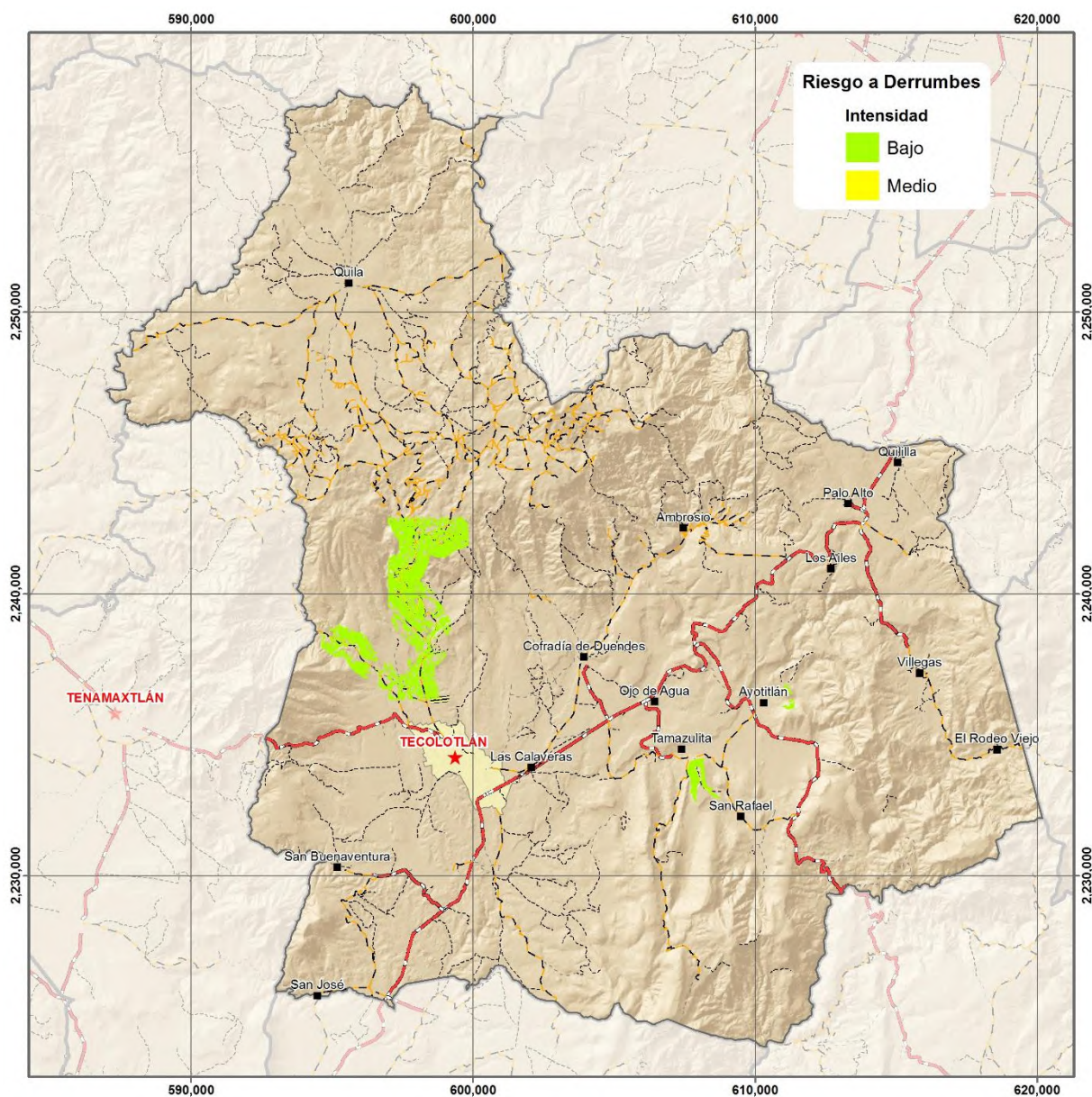
Tabla 5-XLI. Riesgo por derrumbe lineal.

Intensidad del Riesgo	Longitud (m)
Bajo	15177.32936
BRECHA	2230.563338
Pista de aviación	44.03451004
TERRACERÍA	8252.76114
VEREDA	4649.970371
Medio	7953.201414
BRECHA	128.4853705
TERRACERÍA	6736.615045
VEREDA	1088.100998
Total general	23130.53077

Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017



En la Imagen 5-LXXXII se muestra el mapa de riesgos por derrumbes o caídos en el Municipio de Tecolotlán.

Imagen 5-LXXXII. Mapa de riesgos por derrumbes o caídos en el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG-Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2017.

Tabla 5-XLII. Matriz de riesgo por derrumbes.

Nivel del riesgo		Descripción
Medio		Puede ser tolerada en ciertas circunstancias tratamiento para reducir el riesgo a bajo
Bajo		El tratamiento ha sido necesario para reducir el riesgo a este nivel, se requiere el mantenimiento continuo.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996)

5.1.6.7 Medidas de Mitigación

Las medidas de mitigación que deben tomarse en cuenta para evitar riesgos y desastres ocasionados por este tipo de fenómenos se mencionan los siguientes.

1. Evitar cortar árboles ni destruir la vegetación natural en zona de derrumbes.
2. No excavar las laderas de los cerros en forma de cortes y terrazas sin autorización.
3. No permitir que el agua de los drenajes domésticos se infiltre en el terreno.
4. Detectar fugas de agua con el propósito de que no se reblandezca el terreno.
5. Estar atento a las indicaciones de las autoridades locales, sobre todo en épocas de lluvia.
6. Las localidades ubicadas en laderas, se deberá revisar constantemente las paredes, pisos y techos de viviendas en busca de grietas o hundimientos.
7. Las laderas identificadas en una región que pueda ser afectada por sismos intensos o lluvias, considerar la posibilidad de que la ladera se vuelva inestable. Determinar

si las características de este sitio hacen suponer la existencia de terrenos inestables. (grietas, infiltración de agua, árboles inclinados, pisos agrietados, escalones y otros).

8. La única acción que permite reducir los efectos por derrumbes o caídos es la detección oportuna y la toma inmediata de decisiones por parte de las autoridades, especialistas y población en general, a fin de poner en práctica los planes de evacuación y salvamento previamente diseñados a nivel Municipal.

5.1.7 CREP O REPTACIÓN

Es un movimiento muy lento que se da en capas superiores de laderas arcillosas, de en torno a 50 centímetros de espesor o menos. Está relacionado con procesos de variación de humedad estacionales en el suelo, ya que el agua favorece este fenómeno actuando como lubricante además del aumento del peso consiguiente. A menudo la reptación no es el único proceso que ocasiona la inestabilidad de las pendientes, como puede verse en la imagen de la Serranía del Interior, en la que pueden verse algunas cicatrices pequeñas del suelo producidas por la acción de las lluvias. También son importantes las variaciones diarias en la temperatura del propio suelo y otros factores, como la acción de animales, silvestres o domésticos, tal como se puede ver en la imagen.

Se manifiestan en forma de pequeñas ondulaciones, una especie de pequeñas *terracillas*, y suelen ser signo de una posible futura inestabilidad generalizada. La velocidad de bajada es mayor en la superficie lo que origina la formación de ondulaciones perpendiculares a la línea de la pendiente, proceso similar a la formación de olas de traslación en la costa (también aquí la velocidad es mayor en la cresta).

La reptación está relacionada con procesos de variación de humedad estacionales ya que el agua favorece este fenómeno al formar con la arcilla un barro más o menos fluido. Se manifiestan en forma de pequeñas ondulaciones, y suelen ser signo de una posible futura inestabilidad generalizada. Un factor que contribuye a la reptación es la expansión y contracción alternantes del material de superficie causadas por la congelación y deshielo o por humectación y sequedad posterior. La congelación o la humectación elevan las partículas según un ángulo recto con respecto a la pendiente, y el deshielo o la sequía permiten que las partículas vuelvan a caer a un nivel ligeramente inferior. Cualquier cosa que altere el suelo, como el impacto de las gotas de lluvia y las perturbaciones provocadas por las raíces de las plantas (Imagen 5-LXXXIII) y los animales de madriguera, ayudan a la reptación.

Imagen 5-LXXXIII. Árboles mostrando la curvatura de troncos debida a la reptación del suelo por la inclinación de ladera.



Fuente: Strahler, 2005.

5.1.7.1 Metodología

1. Recopilación de información de estudios realizados en el territorio objeto de análisis.
2. Características naturales del territorio (Edafológico, Geológico, Geomorfológico, Uso
3. Actual de Suelo y Vegetación, Precipitación, media anual).
4. Recorrido de campo para:
 - a) Levantamiento de información geológico-geomorfológica (fallas, fracturas, grietas).
 - b) Obtener evidencias de daño en la infraestructura y asentamientos humanos.
5. Identificar zonas desarrollo de Crep o Reptación en el Municipio.
6. Elaborar Mapa de peligro por crep o Reptación.

5.1.7.2 Identificación de Crep o Reptación en el Municipio de Tecolotlán

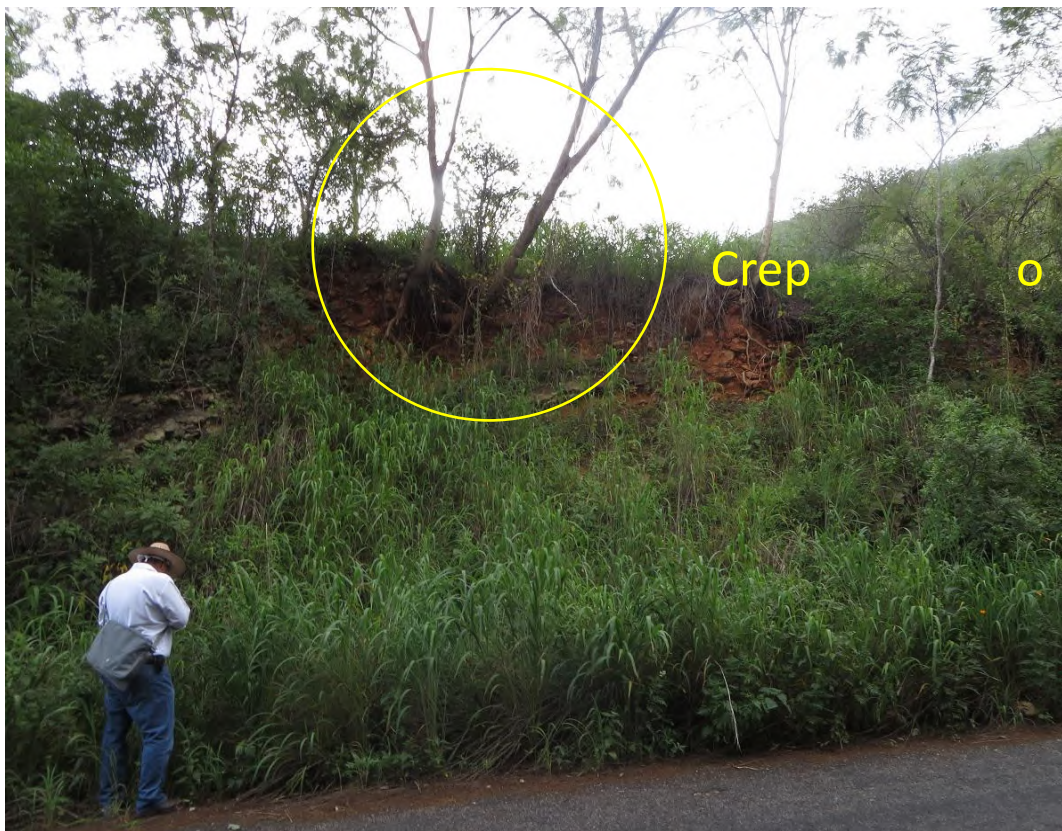
Después de haber realizado el trabajo de campo en el Municipio de Tecolotlán, se han identificado esporádicamente algunos sitios con presencia de crep o reptación, es importante mencionar que este tipo de fenómeno ha estado relacionado con inestabilidad de laderas, en donde posterior al desarrollo de un deslizamiento, aparece el crep o reptación como se muestra en las imágenes 5-LXXXIV y 5-LXXXV.

Imagen 5-LXXXIV. Identificación de Crep o Reptación.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Imagen 5-LXXXV. Crep o Reptación producto de deslizamiento.



Fuente: IIEG- Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

Casos como los anteriormente presentados, se han encontrado en otros sitios que se presentarán en el anexo fotográfico, en su mayoría están relacionados con deslizamientos o inestabilidad de laderas.

A reserva de seguir recorriendo el Municipio para identificar otros sitios en condiciones similares, para poderlos evaluar, analizar y establecer un mapa de peligros por Crep o Reptación, podemos afirmar que el fenómeno no representa riesgo por Creep o Reptación y por lo tanto no genera peligro o riesgos para el Municipio.

5.1.8 HUNDIMIENTOS Y SUBSIDENCIA

Los hundimientos son un fenómeno que se debe a la extracción de sólidos o fluidos del subsuelo que manifiesta en la compactación paulatina o súbita de la masa del suelo de la cual se extraen estos. Se observa frecuentemente en cuencas sedimentarias debido a la extracción de grandes volúmenes de agua del subsuelo. De manera general los hundimientos generan agrietamientos y fallas o fracturas que dañan a la infraestructura urbana, líneas de comunicación y conducción o a los campos de cultivo y ocasionalmente representan peligros o riesgos para la población (Pacheco, 2006).

Los hundimientos son movimientos generalmente verticales de masas de suelo, en los cuales ocurre una disminución del volumen general del terreno. Los procesos de hundimiento de gran magnitud se clasifican como parte de los movimientos en masa o deslizamientos, aunque para su ocurrencia, la presencia de un talud no es necesariamente un pre-requisito. Pueden ser de gran magnitud o relativamente pequeños. Los hundimientos obedecen a diferentes causas naturales.

En regiones donde se efectúa extracción de agua subterránea mediante bombeo profundo, es común observar hundimientos de la superficie natural del terreno.

Con el fin de garantizar la integridad de los habitantes, en sus personas y en sus bienes, es importante tomar en cuenta los problemas de subsidencia regional que ocasiona la extracción de agua subterránea, por efectos del abatimiento del nivel de agua freática. En lugares donde se encuentra abatido el nivel del agua subterránea, y las formaciones geológicas superficiales las constituyen sedimentos no consolidados y compresibles, es común que se desarrollen grietas en la superficie del terreno natural, las que se propagan a cierta profundidad en el subsuelo, con el consecuente daño que sufren las construcciones de cualquier tipo y el peligro que esto implica para sus ocupantes.

En tales casos, antes de construir cualquier estructura de cimentación, resulta necesario efectuar un tratamiento de estas grietas para restablecer la continuidad del terreno en la superficie, pero no sin antes buscar la solución del problema en su origen, mediante la racionalización de la extracción del agua subterránea.

Las estructuras de cimentación de las construcciones en general y las obras para servicio y abastecimiento, comúnmente, se ven afectadas cuando se abate la superficie del agua subterránea y se induce en consecuencia un encogimiento de los sedimentos no consolidados compresibles (mientras más compresibles sean los sedimentos, mayor será el efecto de hundimiento regional y el agrietamiento de la superficie del terreno natural).

Concretamente, la magnitud del encogimiento o reducción volumétrica de los sedimentos no consolidados depende directamente de dos factores:

1. Las características de compresibilidad de los suelos. Como se mencionó, mientras más compresible sea el suelo, los efectos de subsidencia regional serán de mayor magnitud, y el problema de agrietamiento de la superficie del suelo más crítico.
2. Intensidad de la extracción del agua subterránea. Mientras mayor sea el volumen de agua que se extrae del subsuelo, los estragos de la compresión volumétrica serán de mayor proporción, llegando a manifestarse no solamente por el hundimiento del terreno, sino por desplazamientos relativos en el sentido horizontal, que originan la formación de grietas de tensión de manera alarmante y peligrosa para los habitantes.

En la periferia de las zonas donde se presenta el problema de hundimientos diferenciales, normalmente, al sumarse los efectos de los desplazamientos verticales y horizontales, la superficie del terreno natural tiende a agrietarse. A estas aberturas de la superficie del suelo

se les conoce como grietas de tensión. Bajo estas circunstancias, es frecuente que las grietas de tensión aparezcan donde además existe un contacto o frontera entre dos o más formaciones geológicas distintas.

5.1.8.1 Subsistencia

La subsidencia describe el progresivo hundimiento de una superficie, generalmente de la litosfera, bien sea por el movimiento relativo de las placas tectónicas que incluyen tanto la convergencia de las mismas como su divergencia o, en una escala menor, por el asentamiento del terreno en las cuencas sedimentarias (a menudo acelerado por la acción humana, como es el caso de las cuencas petroleras) o por el cese de la actividad volcánica en áreas reducidas en torno a los volcanes propiamente dichos, como sucede en el caso de los atolones. En el caso de la subsidencia, el nivel del mar, como es lógico, sube. El opuesto de la subsidencia es el levantamiento, el cual resulta en un incremento de la altitud de la superficie sólida de nuestro planeta y, en consecuencia, en un descenso del nivel del mar.

5.1.8.1.1 Argumentos que justifican la presencia de Hundimientos o Subsistencia.

Los costos económicos ocasionados por la subsidencia son muy difíciles de evaluar y cuantificar, debido principalmente a la dificultad de mapear la totalidad de las zonas que son afectadas, además de lo difícil de identificar los daños directos e indirectos que causan los hundimientos que son muy poco perceptibles. Se suma también a esto la dificultad de evaluar los daños al medio ambiente y lo subjetivo que es determinar la pérdida del valor de los predios afectados por el fenómeno entre otros muchos parámetros no muy fáciles de cuantificar.

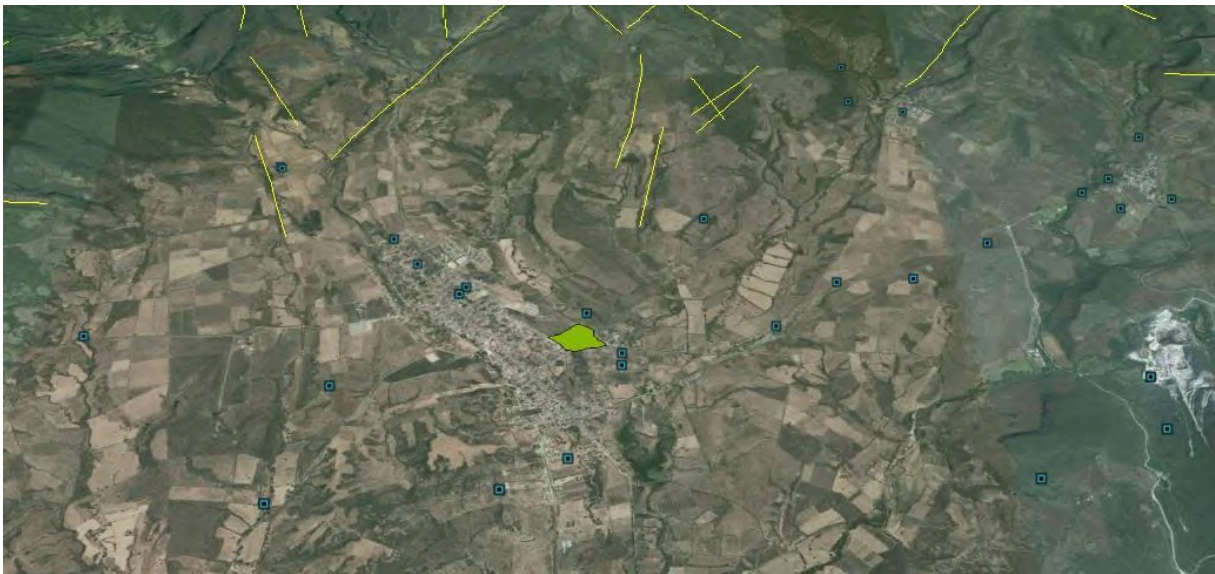
En el municipio de Tecolotlán se manifiesta un tipo de rocas y suelos en el que predominan los depósitos volcánicos y en donde se pueden identificar los principales centros urbanos, como son la ciudad de Tecolotlán, Tamazulita, Ayotitlán, Quila. Aunque estas comunidades tenemos materiales aluviales, no se han encontrado manifestaciones de grandes

dimensiones por la presencia de hundimientos en gran parte de los poblados como ha ocurrido en otras ciudades como Ameca o Ciudad Guzmán.

Sobre los principales centros urbanos no se ha reportado la presencia de este tipo de fenómenos, sin que se descarte del todo la posibilidad de ocurrencia de ellos, debido a la tectónica que prevalece en esta zona centro-occidente del país, en donde se manifiestan tectónicamente la presencia de fallas dentro de la estructura del Graben de Tecolotlán.

En el poblado de Tecolotlán, se ha reportado la incidencia de este tipo de fenómenos, que se tienen que verificar con trabajo de campo, como se muestra en la Imagen 5-LXXXVI.

Imagen 5-LXXXVI. Ubicación del sitio donde se presentan hundimientos.



Fuente: IIEG- Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2016.

5.1.8.2 Metodología

1. Aplicación de encuestas a la población para el registro de evidencias histórica de hundimientos (Fichas de registro de la información levantada en campo).
2. Identificar zonas en general con rasgos de hundimientos antiguos.
3. Realizar un levantamiento en campo de formaciones derivadas de hundimientos o subsidencia.
4. Identificar infraestructura o viviendas dañadas por este proceso, registrar dichas evidencias en un mapa con escala a detalle.
5. Obtener información de antecedentes de estudios realizados.
6. Identificar zonas propensas a hundimientos. Realizar un mapa donde se plasme esta información.
7. Identificar zonas de falla y de extracción de minerales o agua
8. Realizar estudios geofísicos en zonas de hundimientos antiguos y propensos.
9. Generar un mapa con la identificación del peligro propenso a generar hundimientos, subsidencia, agrietamientos, deformación de la superficie del terreno.

5.1.8.3 Hundimiento por extracción de agua subterránea

Los primeros reportes que relacionan los hundimientos del terreno con la extracción de agua en tratar de explicar científicamente el fenómeno fue Terzaghi (1925) quien propone una ecuación de consolidación unidimensional.

Dicho trabajo fue retomado por otros autores quienes reconocieron que la extracción de agua del almacenamiento de un acuífero se debe a la compresión del mismo y que la disminución del almacenamiento puede ser permanente (inelástica) o recuperable

(elástica). En México, Nabor Carrillo desde la década de 1950 reconoció que la subsidencia está asociada a la extracción de agua subterránea.

En ciudades afectadas por subsidencia es difícil discernir en qué grado la componente de la extracción de agua subterránea está induciendo los hundimientos. En el Altiplano Mexicano el número de pozos agrícolas supera hasta en dos órdenes de magnitud a los urbanos, lo que se refleja en los volúmenes extraídos. Esta extracción de agua subterránea para uso agrícola podría contribuir en la subsidencia urbana.

5.1.8.4 Subsidencia como fenómeno inducido

Como la subsidencia no está considerada como un desastre natural ni inducido, ni en la Ley de Aguas Nacionales ni en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), no se incluye en los programas urgentes de ayuda social. Una razón de tal exclusión es que los efectos por lo general se observan a largo plazo. De esta forma, los afectados por fenómenos de subsidencia no cuentan con elementos legales para ampararse o reclamar.

La subsidencia no sólo se afecta la infraestructura visible sino también a tuberías, drenajes y poliductos. La ruptura de tuberías de agua potable incorpora rápidamente a aguas a través del agrietamiento del terreno a formaciones acuíferas someras. Desde los drenajes rotos migran fácilmente microorganismos y materia orgánica.

5.1.8.5 Hundimientos y agrietamiento del suelo identificados en el Municipio de Tecolotlán.

La subsidencia es el fenómeno que tiene lugar debido a la extracción de sólidos o fluidos del subsuelo, que se manifiesta en la compactación paulatina o súbita de la masa de suelo. Frecuentemente los hundimientos generan aberturas del suelo o agrietamientos que dañan la infraestructura urbana. El fenómeno de la subsidencia se observa principalmente en cuencas sedimentarias asociado a la extracción intensiva de agua subterránea. En la actualidad es posible predecir espacialmente la aparición de agrietamientos midiendo el gradiente horizontal gravimétrico en un área específica.

La ubicación de los valores máximos del gradiente proporciona información acerca de las irregularidades del lecho rocoso sobre el cual descansa el sistema acuífero y en consecuencia nos proporciona información acerca de los lugares en donde puede ocurrir compactación diferencial y por lo tanto las zonas con potencial de agrietamientos del suelo.

El fenómeno de subsidencia ha sido abordado usando teorías de consolidación y deformación de suelos formuladas principalmente para suelos saturados. Tales teorías (Terzaghi, 1956; Burbey, 2002; Sagasetta, 1987), son aplicables solo para condiciones en donde la masa de suelo permanece todo el tiempo saturada durante el proceso de drenado del acuífero. Sin embargo, esto no representa la realidad, puesto que una vez drenado el sistema acuífero suele perder un gran porcentaje de humedad.

A pesar de ello, los modelos de subsidencia que se derivan de estas teorías proporcionan estimaciones aceptables de los hundimientos que se generan cuando el nivel del agua subterránea disminuye parcialmente (Tomas et. al., 2009). Alternativamente, a diferencia de éstos modelos de subsidencia, el modelo utilizado para éste estudio (Pacheco, 2006), se basa en los conceptos de peso volumétrico aparente y densidad anómala, los cuales toman en cuenta tanto la influencia de la zona parcialmente saturada como la de la zona completamente saturada. Para éste propósito se proponen expresiones para calcular los

esfuerzos efectivos en la masa de suelo de las dos zonas (saturada y parcialmente saturada) que se generan durante el proceso de hundimientos diferenciales.

5.1.8.6 Peligro por hundimientos y agrietamiento en el Municipio de Tecolotlán

El suelo del poblado de Tecolotlán se encuentra sometido a un proceso de hundimiento paulatino en el sector del Baulito, que es imperceptible en periodos de tiempo cortos. Los hundimientos provocan agrietamientos que se concentran particularmente en este sector de la zona urbana. Estos son el resultado del agrietamiento del suelo ocasionado por los esfuerzos que se ejercen en la masa de suelo por efecto de hundimientos.

Los hundimientos han sido inducidos y continúan siendo una consecuencia de un proceso de compactación producido por las características físicas del subsuelo. Por testimonio de los pobladores el terreno es compuesto de material fino que en conjunto con flujos subterráneos se generó un terreno tipo barro, que causa irregularidades preexistentes en el subsuelo, tales como fracturamientos. Sus efectos se pueden observar como daños a la infraestructura urbana en los sectores en donde aparecen. La causa principal de los agrietamientos en el Baulito en Tecolotlán es el proceso de hundimiento, es decir, a la compactación del suelo por la mala calidad de este, motivo por el cual se decidió realizar estudios geofísicos en este sector.

De la investigación realizada y de información disponible se identificó un sitio con rasgos característicos de los hundimientos al SW del poblado de Tecolotlán (Imagen 5-LXXXVII)

Imagen 5-LXXXVII. Ubicación de rasgos de hundimientos antiguos en el poblado de Tecolotlán. (Baulito).



Fuente: IIEG-Instituto de Información, Estadística y Geográfica, 2016.

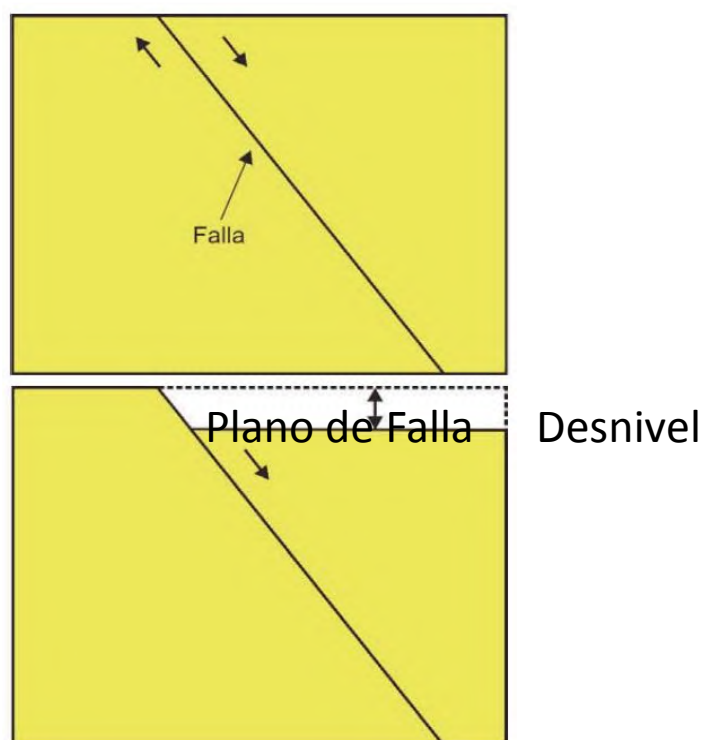
A partir del trabajo de campo y de lo observado en el área señalada como zona de hundimientos, se estableció una hipótesis del problema que ocurre en el área.

Se piensa primero que está actuando una falla de tipo normal en donde intervienen dos bloques, la cima y la base, el desnivel generado presenta una pendiente de más de 30 grados, que puede ser el plano de falla, posteriormente este plano de falla se urbanizó. El esfuerzo de la construcción sobre el plano de falla generó dos fenómenos: hundimiento y

deslizamiento, lo que ha provocado daño a las viviendas y banquetas en esta zona. A pesar de que se han abandonado algunas viviendas, el problema continuará.

A partir del recorrido del área por especialistas en geofísica, se determinó realizar estudios geofísicos (Métodos Geoeléctricos), para confirmar las evidencias y rasgos que implican un hundimiento o deslizamiento del terreno a partir del cual se generó un modelo que ejemplifica la evidencia del desnivel del terreno (Imagen 5-LXXXVIII).

Imagen 5-LXXXVIII. Modelo de hundimiento propuesto en el sitio identificado en el poblado de Tecolotlán



Fuente: Tomas, et. al., 2009.

5.1.8.7 Estudio geofísico para evaluar fracturamiento y hundimientos en la Cabecera Municipal

El estudio Geofísico por métodos eléctricos tiene como finalidad determinar la secuencia estratigráfica presente en el subsuelo hasta una profundidad de 20 m aproximadamente y prospectar la trayectoria de las variaciones de resistividad observada en el subsuelo.

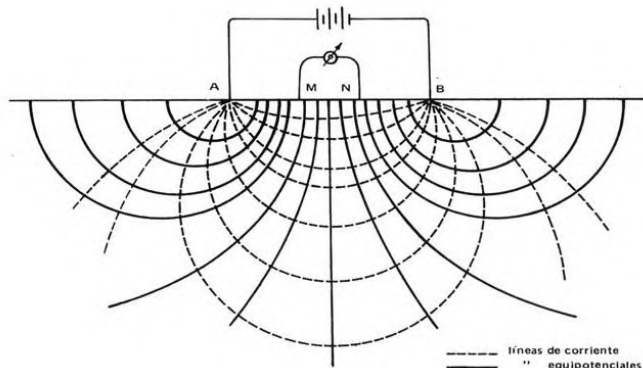
Para el desarrollo de este estudio se realizará una investigación que consiste en un reconocimiento geológico de área y alrededores a la zona de estudio. Estos recorridos para la recopilación de información establecerán el marco geológico de referencia para correlacionar los datos del levantamiento geofísico, el cual determinará la estratigrafía presente en el sitio y las propiedades eléctricas de las diferentes capas que conforman el subsuelo. La idea de efectuar este tipo de trabajos es para localizar zonas con agrietamiento, hundimientos y las causas que los originan.

5.1.8.7.1 Fundamentos del Método de Resistividad

En la actualidad, la exploración de las zonas con discontinuidades y de alta permeabilidad, se auxilia de técnicas geofísicas como el método geoelectrico de resistividad, que constituye el método indirecto más confiable, el cual permite determinar la estratigrafía presente en el subsuelo y algunas de sus propiedades físicas como pueden ser el fracturamiento a través de la interpretación de los valores detectados. Este tipo de estudios se basa en las propiedades eléctricas de los materiales que constituyen el subsuelo, el cual tiene un comportamiento determinado al paso de la corriente eléctrica.

Dicho comportamiento se manifiesta en líneas de campo o flujo eléctrico constante para materiales homogéneos (Imagen 5-LXXXIX), por ello cuando los valores y características de estos campos varían, indican un cambio de materiales o una discontinuidad dentro de un mismo depósito. En términos generales el método consiste en asociar los altos resistivos aislados y sin relación al contexto geológico, a discontinuidades del terreno.

Imagen 5-LXXXIX. Esquema básico del método de resistividad.



Fuente: Arias, 2011.

5.1.8.7.2 Trabajo de Campo

La base principal del estudio se basa en identificar la zona de fracturamiento y de mayores posibilidades para presentar futuros agrietamientos con desplazamientos y hundimientos y sus implicaciones en el área de estudio.

5.1.8.7.2.1 Reconocimiento Geológico

El estudio geológico del sitio se realizó en 2 etapas, la primera consiste en una recopilación de información, la cual incluye la revisión de información geológica del área a partir de los trabajos de diversos autores. La segunda consiste en un reconocimiento geológico del campo y sus alrededores con objeto de establecer la estratigrafía y la geología a detalle.

5.1.8.7.2.2 Identificación de Hundimientos y Fracturamientos en Infraestructura

Se realizó un recorrido, para identificación de sitios con problemas de hundimientos y fracturas, en el poblado de Tecolotlán en el área del Baulito, cuyos daños se observaron en

pisos, losas, muros en casa habitación, negocios y fracturamientos en calles, cuyo sector visitado se muestra en la Imagen 5-XC.

Imagen 5-XC. Daños estructurales identificados



Fuente: Malagón, 2016.

Se localizaron algunas evidencias de hundimientos en el sector el Baulito en zona baja en la calle de 2a de Santa Cruz, no visibles a nivel de la calle exterior (Imagen 5-XCI).

Imagen 5-XCI. Evidencias de hundimientos localizadas en el sector el Baulito en la Calle 2ª de Cruz verde, poblado de Tecolotlán.



Fuente: Malagón, 2016

Imagen 5-XCII. Hundimiento en casa habitación, calle 2ª Cruz Verde.



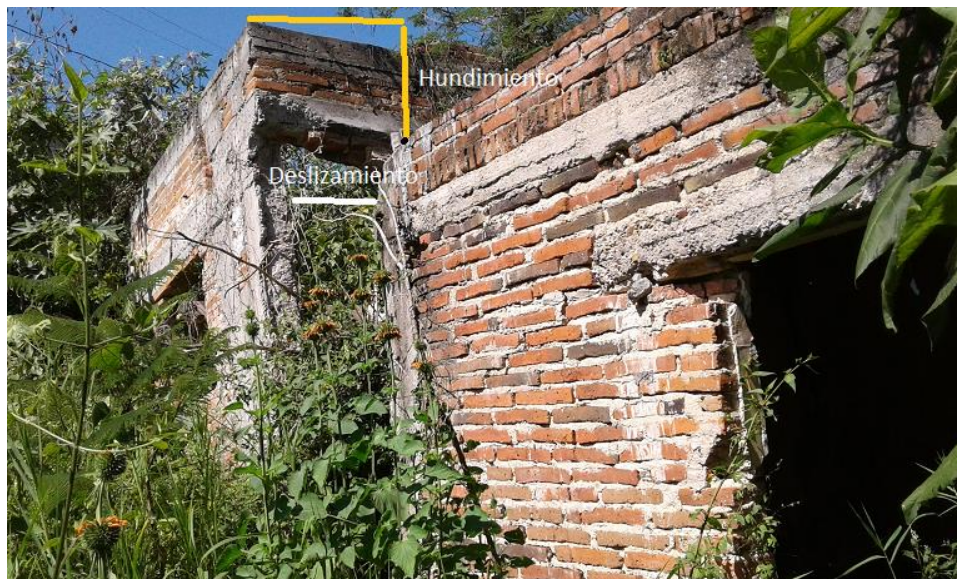
Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-XCIII. Fracturamiento y Hundimiento en la calle 2ª de Cruz Verde.



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-XCIV. Hundimiento en la calle Santa Cruz en el Sector el Baulito.



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-XCV. Fracturamiento de Muros.



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-XCVI. Material de Mala Calidad y fuga de agua por rotura de tubería en el Baulito



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-XCVII. Capa vegetal con cantos rodados pequeños con matriz de material fino de mala calidad.



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-XCVIII. Canto rodado con material fino.



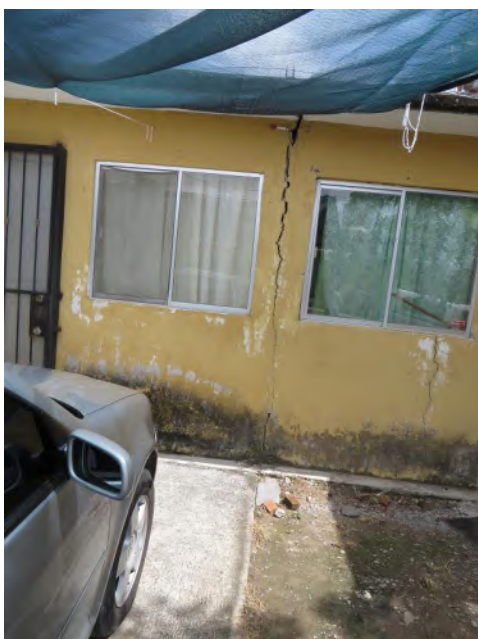
Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-XCIX. Zona propensa a fracturamiento y hundimiento en la zona baja del Baulito.



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-C. Fracturamiento de muros por relleno de material de mala calidad en el Huehuentón.



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-CI. Fracturamiento en banquetta en el Huehuentón.



Fuente: Malagón, 2016.

Por ello se decidió realizar estudio Geofísico utilizando Métodos Geoeléctrico (Tomografía Resistiva) en la zona con mayor efecto del fenómeno en las calles de Santa Cruz (zona alta), 1ra de Cruz verde, 2da de Cruz verde (zona alta y baja) y Unidad habitacional el Huehuentón.

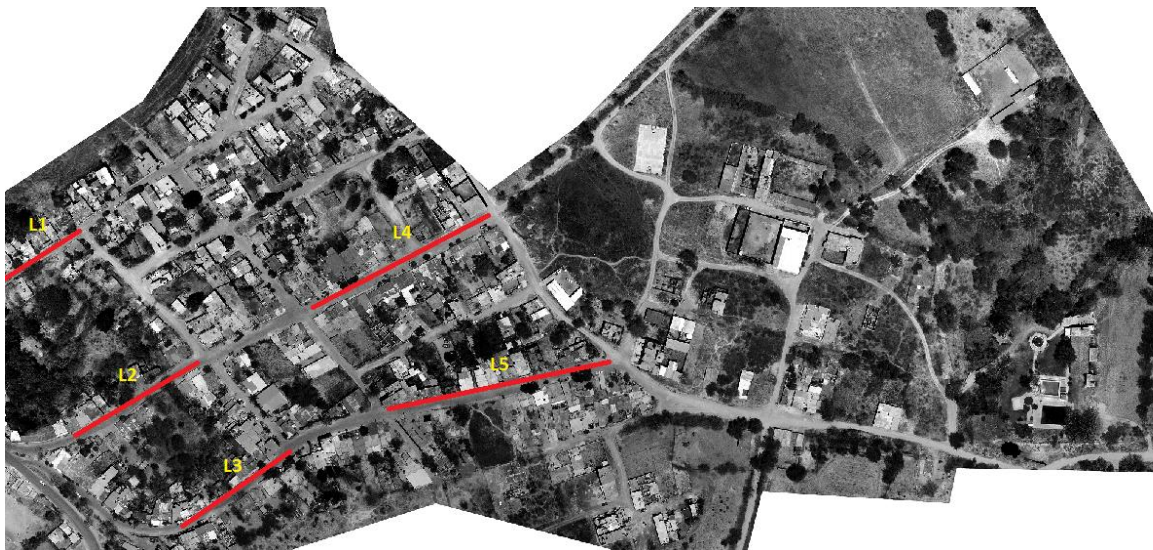
5.1.8.7.2.3 Estudio y Levantamiento Geofísico

Las actividades para realizar el estudio Geofísico (Métodos Geoeléctricos) consisten en realizar el levantamiento 7 líneas de exploración geoeléctrica con arreglo Wenner y separación electródica de 5 m en una línea de 120 m, con un alcance a profundidad de 20 m.

Estas líneas se distribuyen espacialmente en la zona de estudio, procurando situarlos en las esquinas que delimitan el área o en su caso distribuidos a lo largo de la zona de afectación, con el fin de lograr una buena cobertura que permitirá obtener un modelo tomográfico resistivo, es decir, se determinará una imagen informada de la caracterización del subsuelo en el área de cobertura indicando la posible existencia de estratos permeables, su espesor y distribución a profundidad.

La ubicación de las líneas se determinó de acuerdo con la disponibilidad de los espacios del área a cubrir. La Imagen 5-CII se muestran las líneas de tomografía geoeléctrica trazadas en el Baulito.

Imagen 5-CII. Zona de hundimientos en donde se trazaron líneas geoeléctrica para el estudio Geofísico.



Fuente: Malagón, 2016.

En la zona baja del Baulito Se trazaron dos líneas de aproximadamente 120 m, ubicadas en la zona de afectación.

Imagen 5-CIII. Zona de hundimientos en zona baja del Baulito, donde se trazaron dos líneas geoelectrica para el estudio Geofísico.



Fuente: Malagón, 2016

Para el caso del Huehuentón se trazaron dos líneas para caracterizar el sitio con estudios geofísico por el método de Tomografía Geoeléctrica, zona reportada como área de rellenos, en donde se observó fracturamiento de muros, las líneas de estudio se muestran en la Imagen 5-CIII.

Imagen 5-CIV. Líneas de Tomografía Geoeléctrica en el Huehuentón.



Fuente: Malagón, 2016.

5.1.8.7.2.4 Medición y Toma de Datos

Para este estudio se utilizó un equipo SARIS (Scintrex Automated Resistivity Imaging System). El SARIS es un sistema “inteligente”, preciso y confiable para desarrollar Imágenes de Resistividad (pseudo-secciones 2D) con máxima flexibilidad. Este instrumento es 100 % digital, controlado mediante microprocesadores. El equipo almacena los datos de los levantamientos en memoria flash, se puede conectar a una PC a través de un puerto RS232 o USB y viene provisto de un software que posibilita la interpretación y toma de decisiones in situ. El SARIS está diseñado pensando en el usuario de la tecnología con la máxima flexibilidad de operación. Los levantamientos se realizaron de la forma tradicional con carretes de cable y electrodos moviéndose sobre la línea de mediciones. Los cables SCS soportan SEV's con arreglos electródicos Wenner o Schlumberger. Los cables ICS soportan imágenes de resistividad con arreglos Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, Polo-Polo, Schlumberger, Wenner, etc. En las Imágenes 5- CI a 5-CVII se muestra todo el trabajo de campo desarrollado en el estudio geofísico,

Imagen 5-CV. Instrumento utilizado: Saris Scintrex



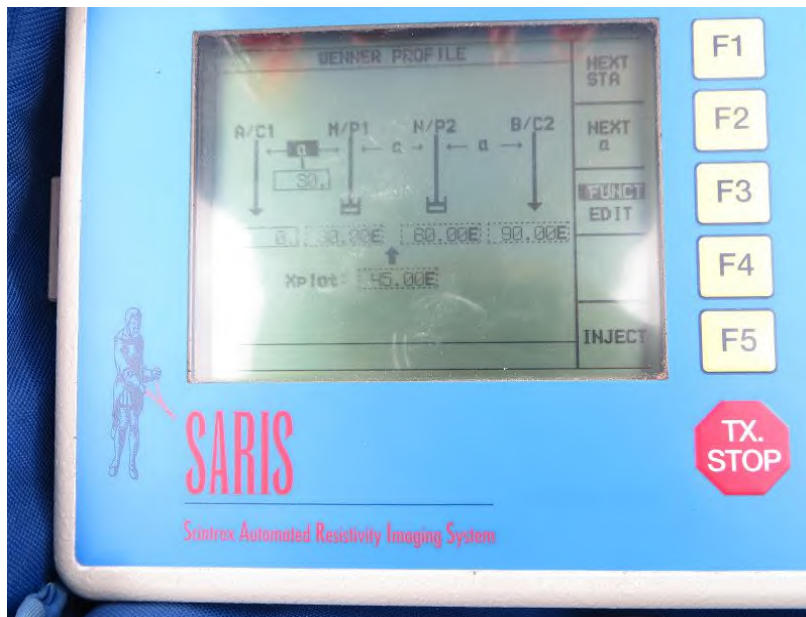
Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-CVI. Instalación-Posición del Instrumento



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-CVII. Instrumento listo para inyectar corriente al terreno



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-CVIII. Medición de Resistividad.



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-CIX.Posición de Electrodo



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-CX. Cambio de Posición de Cable.



Fuente: Malagón, 2016.

5.1.8.7.2.5 Procesado de datos e Interpretación de Tomogramas Geoeléctricos de Resistividad

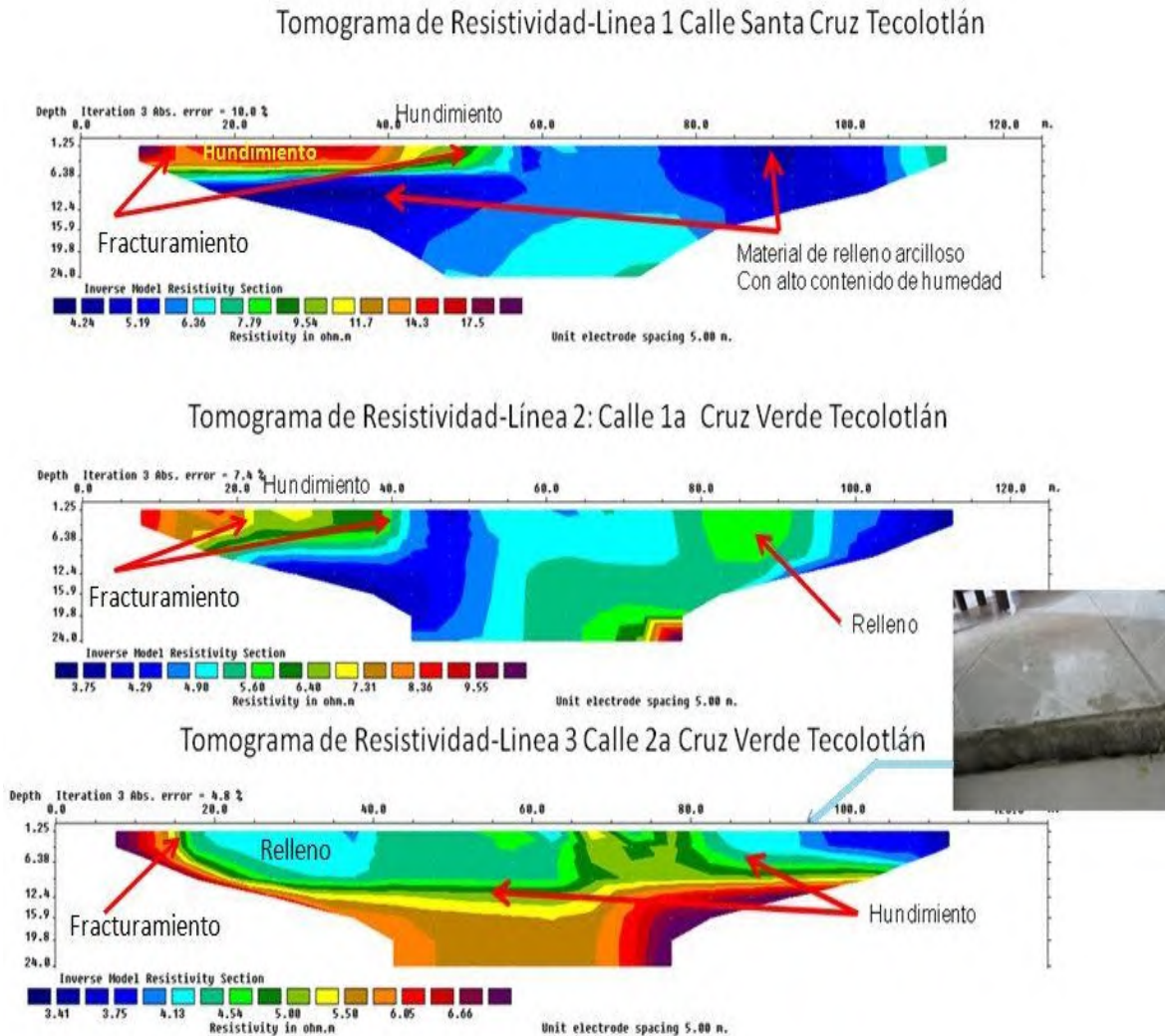
El objetivo es obtener un modelo 2-D de resistividades reales a partir de la pseudosección de resistividades aparentes obtenida del terreno. Para ello se utilizó un programa de inversión.

Estas técnicas de inversión se basan en realizar todo un proceso iterativo para obtener un modelo de resistividades reales, tal que el modelo de resistividades aparentes que generaría, sea lo más similar posible a la pseudosección de resistividades aparentes medida en el campo. Para procesar los datos de resistividad medidos del subsuelo y obtener tomogramas de resistividad se utilizó el programa Res2DINV.

El programa RES2DINV utiliza la técnica de inversión de mínimos cuadrados suavizada para producir modelos 2-D del subsuelo de los datos de resistividad aparente. Es completamente automático y no requiere de un modelo inicial propuesto para arrancar la inversión. RES2DINV soporta Arreglos Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, Polo-Polo, Wenner, Schlumberger y otros. Algoritmo optimizado de inversión por mínimos cuadrados exacto y aproximado. Maneja eficientemente contrastes grandes de resistividad, así como contrastes suaves.

Los primeros 3 pseudosecciones de resistividad se realizaron en la parte alta de afectación del sector del Baulito, cuya interpretación indican una estratigrafía difusa, con resistividades muy bajas menores 10 ohm-m, y presencia de alto contenido de humedad, indicadores de material fino cuyos valores de resistividad establecen que hay presencia de arcilla con alto contenido de humedad. Los tomogramas también indican que es una zona de rellenos, con lo que se ha dado la presencia de hundimientos y fracturamientos del terreno a nivel superficial, realizado un filtrado de datos y ajuste de los mismos a la elaboración de los primeros tomogramas obtenidos, se determinaron los tomogramas finales mostrados en la imagen 5-CXI.

Imagen 5-CXI. Tomogramas Geoelectricos en la parte alta del sector el Baulito en Tecolotlán



Fuente: Malagón, 2016.

Continuando con el estudio para verificar sitios con presencia de fracturamiento y hundimientos, se realizaron dos líneas más en la parte baja del Baulito (Imagen 5-XCIX), para definir el grado de peligro por hundimiento en la zona. Los tomogramas obtenidos se muestran en las Imágenes 5-CXII y 5-CXIII.

Imagen 5-CXII. Línea 4 de tomografía geoeléctrica en el sector el Baulito Calle 1ra. Cruz Verde

Línea 4 – Calle 1ª Cruz Verde, El Baulito, Tecolotlán

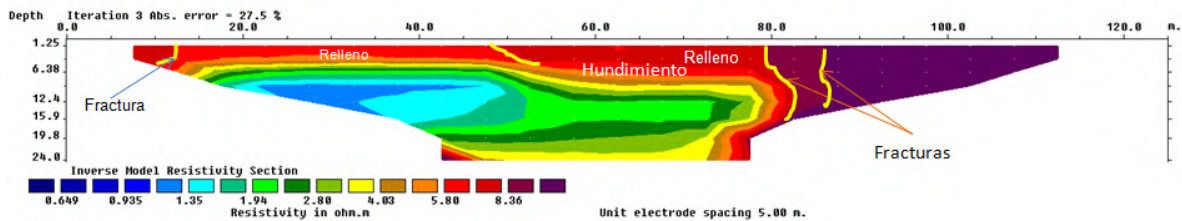
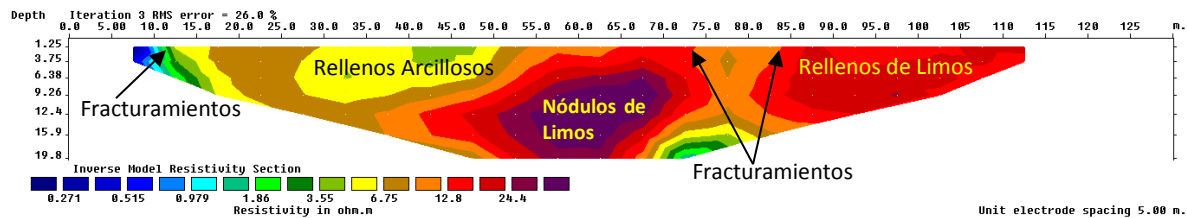


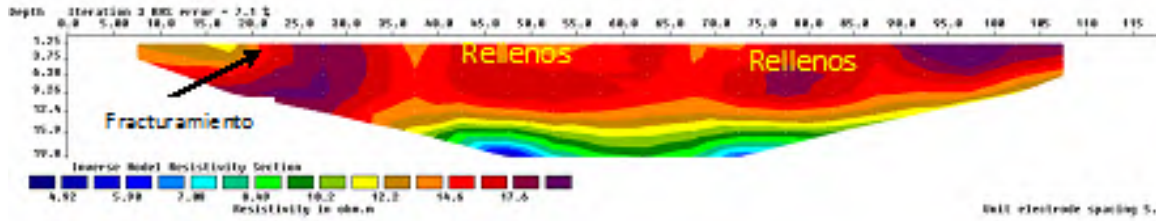
Imagen 5-CXIII. Línea 5 de Tomografía geoeléctrica en el sector el Baulito- Calle 2da. Cruz Verde.



En los dos tomogramas anteriores se muestra una estratigrafía difusa a una profundidad de 19.8 m. De acuerdo a los valores de resistividad obtenidos los materiales encontrados son limos y arcillas con alto contenido de humedad. Existen zonas de relleno originando agrietamiento y hundimiento, fenómenos presentes dada la mala calidad de los materiales del subsuelo, por las características la zona se convierte en área de alto peligro y riesgo para la infraestructura, población del Baulito.

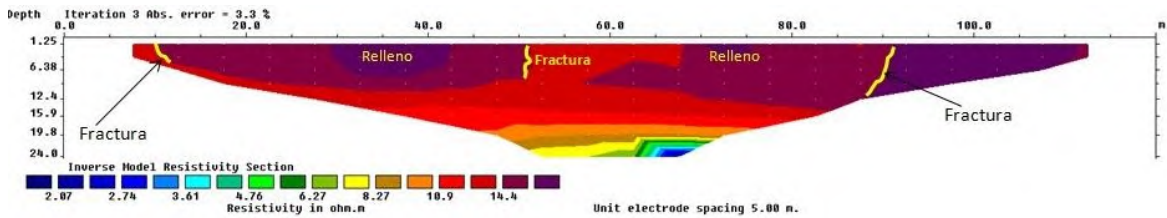
En el otro caso de agrietamiento en muros y pisos se presenta en la unidad habitacional el Huehuentón. Los tomogramas obtenidos se muestran en las Imágenes 5-CXIV y 5-CXV.

Imagen 5-CXIV. Tomograma en calle San Genaro Sánchez, Huehuentón, Tecolotlán.



Fuente: Malagón, 2016.

Imagen 5-CXV. Tomograma en la calle San José María Roble, Huehuentón, Tecolotlán.



Fuente: Malagón, 2016.

El tomograma muestra zonas de rellenos, con subestratos mejor definidos a profundidades de aproximadamente 20 m y zonas de fracturamientos y rellenos a nivel superficial. Materiales de mala calidad producto rellenos, en donde a futuro aparecerán fracturamientos en muros, pisos y posteriormente hundimientos. La zona también se convierte en un área de peligro y riesgo para la población.

Una vez identificadas zonas en donde se han presentado hundimientos y fracturamiento, se tomó la tarea de poder identificar zonas propensas a presentar dicho fenómeno, por lo que se tomó la decisión, de revisar las características en la parte baja del Baulito, identificando una loma propensa a hundimiento y fracturamiento por las condiciones del subsuelo (Imagen 5-CXII).

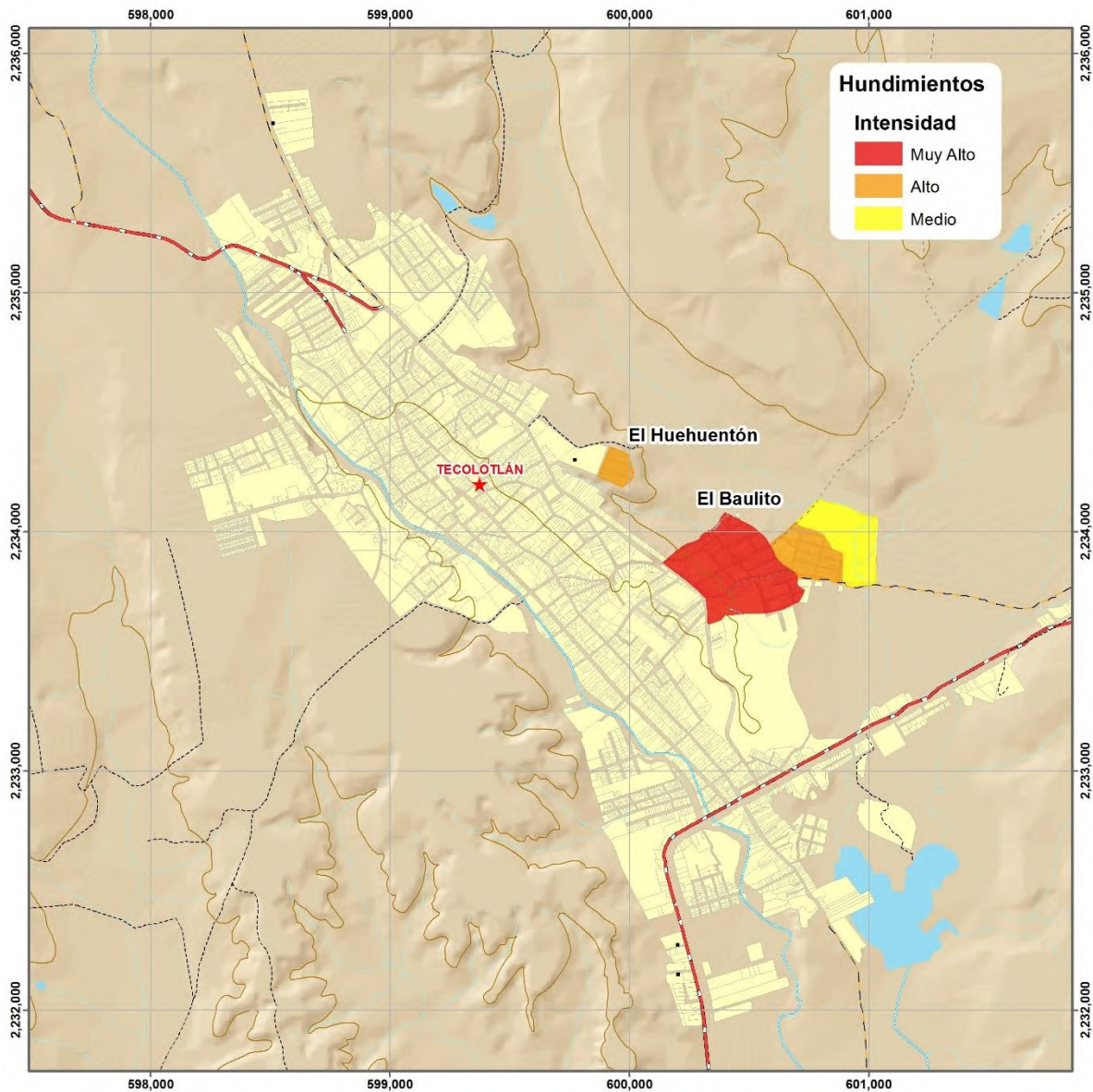
Imagen 5-CXVI. Zona propensa a fracturamientos y hundimientos, zona baja del Baulito.



Fuente: Malagón, 2016

A partir de la información obtenida con trabajo de campo, encuestas y entrevistas con pobladores de la zona, asimismo con el estudio geofísico se pudo determinar los sitios tanto de hundimientos como de la zona propensa a presentarse el mismo fenómeno, que se muestran en la Imagen 5-CXVII. En el mapa de peligros por hundimientos se consideraron tres niveles de intensidad (Medio, Alto y Muy Alto) (Imagen 5-CXVII).

Imagen 5-CXVII. Mapa de peligros por hundimientos en la Cabecera Municipal.



Fuente: IIEG: Instituto de Información Estadísticas y Geográfica, 2016.

5.1.8.8 Análisis de la Vulnerabilidad

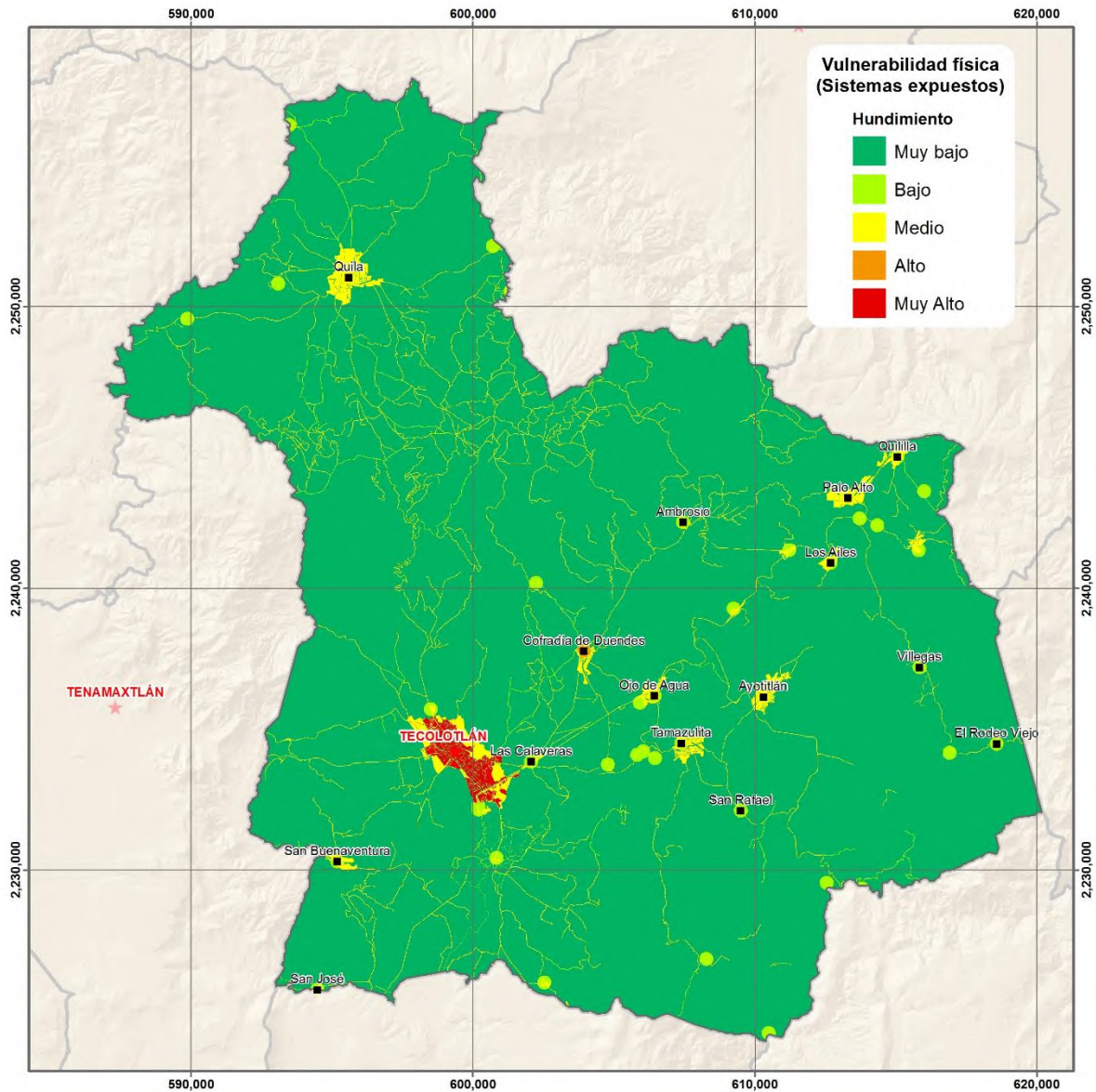
Los elementos vulnerables por la presencia de hundimientos corresponden a la predisposición o susceptibilidad que tiene un elemento a ser afectado o a sufrir una pérdida. En consecuencia, la diferencia de vulnerabilidad de los elementos determina el carácter selectivo de la severidad de los efectos de un evento externo sobre los mismos.

La vulnerabilidad, en términos generales, puede clasificarse como de carácter técnico y de carácter social, siendo la primera más factible de cuantificar en términos físicos y funcionales, como por ejemplo, en pérdidas potenciales referidas a los daños o la interrupción de los servicios, a diferencia de la segunda que prácticamente sólo puede valorarse cualitativamente y en forma relativa, debido a que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, ideológicos, etc.

En consecuencia, un análisis de vulnerabilidad por hundimientos es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante la amenaza, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso.

Los elementos vulnerables ante la presencia de este tipo de fenómenos son en el contexto material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la ocurrencia de un evento, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza, factores que se utilizarán en el análisis de los elementos vulnerables ante la presencia de hundimientos. Por tal razón se obtuvo el mapa de vulnerabilidad física a nivel Municipal (Imagen 5-CXVIII).





Imagen 5-CXVIII. Mapa de Vulnerabilidad Física ante la presencia de Hundimientos.



Fuente: IIEG: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

La evaluación de la Vulnerabilidad llevada a cabo en la escala de 0-1, la intensidad y color con rango de daño y efectos ocasionados se muestra en la Tabla 5-XLIII.

Tabla 5-XLIII. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por Hundimientos

Índice de Vulnerabilidad Física	Intensidad de Vulnerabilidad	Color	Rango de Daño	Tipo de Daño
0.2	Muy Baja		0-0.2	No hay daño, No afecta la estabilidad estructural
0.4	Baja		0.2-0.4	Daño ligero. Fractura pequeñas en muros y pisos. No afecta la estabilidad estructura
0.6	Media		0.4-0.6	Agrietamientos en muros y losas moderados. Estabilidad estructural no afectada.
0.8	Alta		0.6-0.8	Fracturas, desnivel de pisos, desnivel > a 10 cm. Destrucción parcial, es necesario evacuar. Inestabilidad estructural
1.0	Muy Alta		0.8-1.0	Destrucción parcial o total, evacuación necesaria, reconstrucción total.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).

5.1.8.9 *Análisis del Riesgo*

Los riesgos por hundimientos presentes en la localidad de Tecolotlán se deben principalmente a la mala calidad del suelo, que de acuerdo al estudio Geofísico arrojó datos de presencia de arcilla, limos con alto contenido de humedad lo que hace al terreno de mala calidad y los desplazamientos varían desde 1 cm a 10 cm aproximadamente. Este fenómeno normalmente está asociado a la formación de grietas.

Los riesgos más notorios están en función del uso de suelo. Muchas casas habitación están construidas en zonas donde el uso de suelo no cuentan con una razón social o medidas de seguridad, lo que genera riesgos a la población.

Los riesgos que se reconocen están valorados a través de la infraestructura civil. La mayoría de las casas fueron construidas sin una planeación comenzaron por ser asentamientos irregulares, no están diseñadas para soportar por una parte los hundimientos y por otra la formación de grietas. Por lo tanto es importante contar con obras de ingeniería capaces de soportar los efectos de estos fenómenos.

Las casas que se encuentran en los puntos de hundimiento y agrietamiento solo han tomado medidas inmediatas como colocar polines en las losas, resanar las fisuras en los muros, rellenar las grietas o calles para evitar grandes desniveles.

Los riesgos se dan principalmente por situaciones socioeconómicas y se agudizan por las condiciones subsuelo del lugar; el tipo de infraestructura determina la vulnerabilidad de cada construcción ubicada en zona de riesgo.

Para realizar el análisis de elementos en riesgo por hundimientos se consideró la infraestructura, población y aspectos lineales a ser afectados como son caminos, brechas terracerías etc. En las Tablas 5-XLIV, 5-XLV y 5-XLVI, se muestran los elementos en riesgo.

Para el caso de hundimientos y el riesgo que representa la infraestructura es Alto generalmente para postes de CFE (23 elementos) y teléfono en sus diferentes niveles de intensidad de riesgo (Tabla 5-XLIV).

Tabla 5-XLIV. Intensidad de riesgo por hundimientos en Infraestructura.

Intensidad de Riesgo	No. Elementos Afectables
Alto	25
POSTE DE CFE	23
POSTE DE TELEFONO	1
RESTAURANTE	1
Bajo	27
POSTE DE CFE	24
POSTE DE TELEFONO	1
RESTAURANTE	1
UNIDAD DEPORTIVA	1
Medio	37
POSTE DE CFE	27
POSTE DE TELEFONO	9
RESTAURANTE	1
Muy bajo	27
POSTE DE CFE	12
POSTE DE TELEFONO	15
Total general	116

Fuente: IIEG: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

De acuerdo a estadística realizada por el Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG), la población en riesgo Alto por hundimientos son 657 habitantes distribuidas en 188 viviendas en el Baulito. Se encuentran en riesgo de intensidad media 449 habitantes de 116 viviendas que están representadas en la Tabla 5-XLV.

Tabla 5-XLV. Población en riesgo por hundimientos.

Intensidad de Riesgo	Población	Vivienda
Alto	657	188
Bajo	10	3
Medio	449	116
Total general	1116	307

Fuente: IIEG: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

La intensidad de riesgo para los elementos lineales que pudieran ser afectados por hundimientos podemos decir que de acuerdo a las estadísticas solamente 84.2 m que son brechas se encuentran en riesgo alto. En riesgo medio hay 347.72 m. y riesgo bajo hay 204.44 m de terrenos afectables por este fenómeno. Aunque hay 214.4 m de longitud para riesgo muy bajo en realidad no influye el fenómeno considerando ningún daño o afectación. (Tabla 5-XLVI).

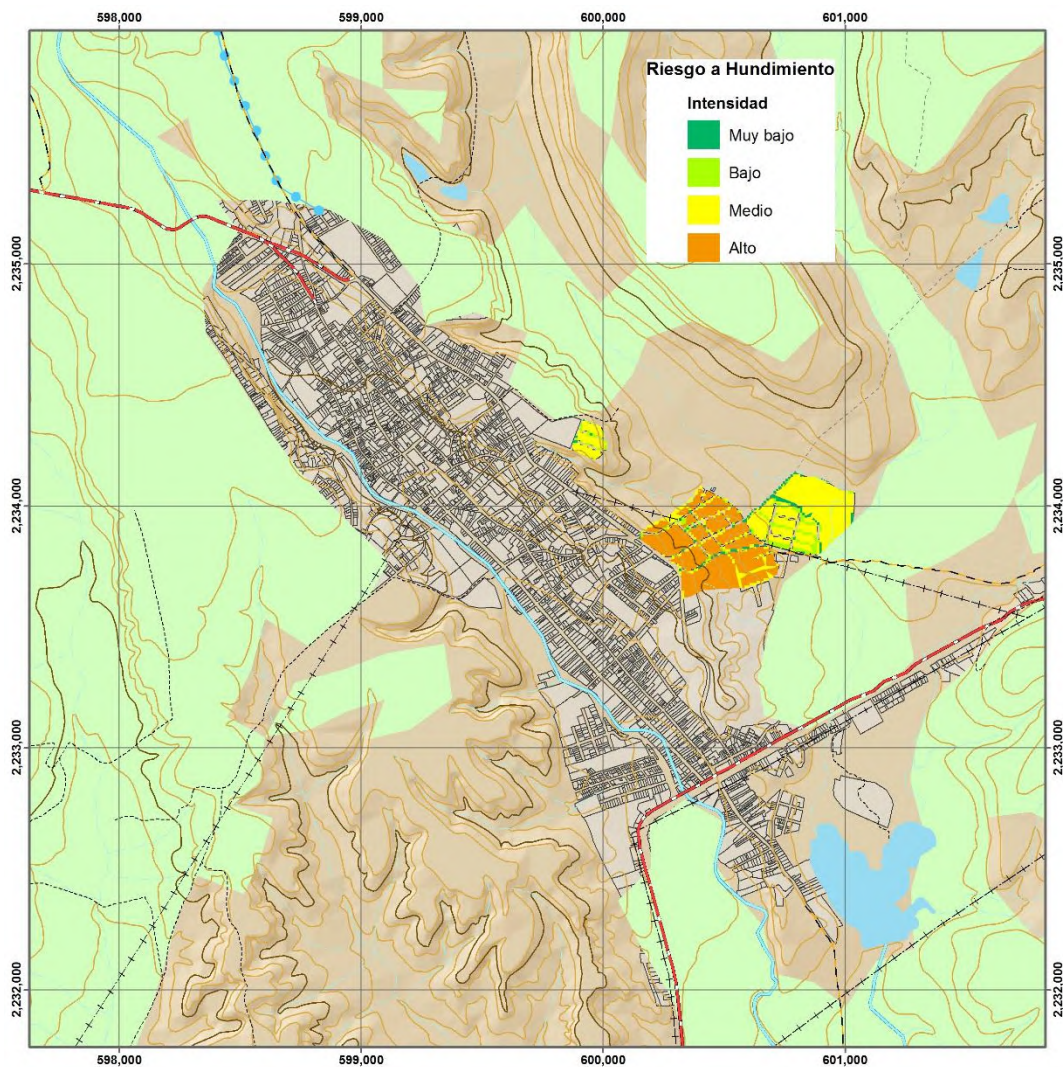
Tabla 5-XLVI. Longitud de brechas, terracerías y caminos afectables en riesgo por Hundimientos.

Intensidad del Riesgo	Longitud (m)
Alto	84.26270497
BRECHA	84.26270497
Bajo	204.44136
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA	109.2947914
BRECHA	42.75148919
DESCONOCIDA	3.824051826
TERRACERÍA	48.57102758
Medio	347.7237044
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA	10.3851968
BRECHA	261.0678759
DESCONOCIDA	58.18292946
TERRACERÍA	18.08770222
Muy bajo	214.4789916
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA	0.610936367
BRECHA	167.9554477
DESCONOCIDA	5.500377191
TERRACERÍA	40.41223038
Total general	850.906761

Fuente: IIEG: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

En la Imagen 5-CXIX, se muestra el mapa de riesgo por hundimientos para la cabecera municipal, zona identificada con fracturamiento y hundimientos en el Baulito principalmente con intensidad de riesgo de Muy Bajo a Alto.





Imagen 5-CXIX. Mapa de riesgo por Hundimiento en la Cabecera Municipal.



Fuente: IIEG: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

En la Tabla 5-XLVII se muestra la matriz de riesgos que se representan en el mapa de susceptibilidad a hundimientos en la Cabecera Municipal (Imagen 5-CXIX).

Tabla 5-XLVII. Matriz de riesgo

Nivel del riesgo	Color	Descripción
Alto		Hundimientos en casa habitación, desnivel mayor a 15 cm, cuarteaduras de losas muros y pisos. Inclinação postes. Tipo de suelo frágil. Desalojo de habitantes
Medio		Agrietamiento (paredes, pisos). Hundimientos con desnivel de 5 a 10 cm
Bajo		Fracturamiento de paredes, muros y losas. Hundimientos menor a 5 cm.
Muy Bajo		Sin efecto, ni daño estructural.

Fuente: IIEG: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).

5.1.8.9.1 Medidas de Mitigación

Se ubicaron zonas de riesgo alto, mediano y bajo por lo que las acciones a mitigar consiste básicamente en el monitoreo y evaluación técnica de las construcciones ubicadas en estas zonas para su clasificación.

Con el objeto de tomar acciones por las autoridades correspondientes dotar de la información derivada de las medidas de mitigación para su evaluación y las acciones en

corto, mediano y largo plazo para la reubicación, consolidación y protección de los asentamientos. Otros aspectos que hay que tomar en cuenta se mencionan a continuación:

1. Identificación y estudio de los procesos que comúnmente son causa de hundimientos como: grietas (paredes, pisos, losas, muros, etc.), disolución de materiales, variación del nivel freático, colapso de tuberías, etc.
2. Dar seguimiento al fracturamiento y hundimiento colocando testigos.
3. Evitar infiltraciones de agua al subsuelo producto de fugas en tuberías.
4. Identificar desniveles en pisos para casas-habitación.
5. Realizar campaña informativa a la población sobre el fenómeno presente.

5.1.9 FALLAS Y FRACTURAS

Una falla es un plano de discontinuidad de una masa rocosa o material poco consolidado en donde se observa, a diferencia de las fracturas, un movimiento relativo entre los bloques resultantes, es decir, la o las fallas rompen una masa de roca y se desplazan diferencialmente.

Dependiendo de su movimiento, las fallas son pasivas o activas; las primeras prácticamente no constituyen un riesgo debido a que no presentan desplazamiento, aunque el plano de falla puede tener material poco consolidado. Las fallas activas pueden tener desde un movimiento imperceptible en términos históricos, es decir, de varios siglos, hasta otros que suceden súbitamente y que pueden romper aceras, tuberías, viviendas, surcos de cultivo, etc., o bien desencadenar sismos, deslaves o derrumbes en las áreas inmediatas a la falla (Guzmán, 2013).

Las fallas se clasifican en función del tipo de desplazamiento, en fallas normales, inversas y de transcurrancia o de tipo lateral. En las dos primeras hay un movimiento vertical entre los bloques y en la tercera el desplazamiento es horizontal.

5.1.9.1 Metodología

1. Determinación de la Presencia del fenómeno perturbador fallas y fracturas.
2. Reconocimiento del sitio en cuestión, en busca de evidencia de la presencia de fracturas-fallas, mediante caminamientos en sus tres dimensiones (largo, ancho y profundidad).
3. Mapeo de la amenaza.
4. Determinación del origen del sistema perturbador (fracturas-fallas).
5. Estudios de evaluación de subsuelo por métodos indirectos.

6. Determinación de la afectación y el Peligro en obras e infraestructura.
7. Elaborar un mapa de peligro por fallas y fracturas.

5.1.9.2 Peligro por fallas y fracturas

Una fractura es un plano de discontinuidad de una masa rocosa o de material poco consolidado que se observa en la superficie como una línea con una abertura con un ancho de milímetros o varios decímetros. El conjunto de fracturas o fracturamiento implica una debilidad de la roca o material no consolidado que favorece los deslizamientos, los derrumbes o caída de bloques y en ocasiones los flujos, que pueden afectar una zona urbana (Lazcano, 2013).

Pueden ser más abundantes en lugares donde existan heterogeneidades en la roca como: presencia de fósiles, nódulos minerales, en clastos, huecos cársticos, burbujas por gas, ondulaciones en la base de la capa (marcas de ondulaciones y estructuras de carga) entre otros puntos heterogéneos. Las fracturas se distinguen por los movimientos relativos que ocurren a lo largo de la superficie durante su formación (Lazcano, 2013).

Las evidencias suelen presentarse en calles, banquetas, bardas, casas habitación, líneas de conducción y otras obras civiles.; en paredes de cortes de terreno en barrancas, caminos, zanjas, etcétera, donde pueden apreciarse diferentes capas geológicas, con la traza de estas estructuras.

5.1.9.3 Fallas a nivel regional

El Bloque de Jalisco (Imagen 5-CXX), es la estructura bajo la que subduce la placa de Rivera, está delimitado por la Trinchera Mesoamericana hacia occidente, la zona del graben de

Colima en la parte meridional y la zona del graben de Tepic-Zacoalco en la parte oriental, mientras que el borde septentrional no ha sido delimitado con precisión.

Los centros volcánicos Cuaternarios en el oeste del eje Neovolcánico están confinados en tres estructuras extensionales, que se intersectan a 50 km al suroeste de la ciudad de Guadalajara en un “punto triple”. Este punto triple ha evolucionado desde el Plioceno y, siguiendo la tendencia general del eje Neovolcánico, presenta una migración hacia el sur. Estas estructuras extensionales delimitan el Bloque de Jalisco (Nuñez-Cornú, 2011) y son:

1. El graben de Colima al Este,
2. El graben de Chapala, que forma un brazo con orientación Este
3. El graben de Tepic-Zacoalco, que representa el límite noreste del bloque de Jalisco, siendo los ángulos de separación entre los tres graben de 100°.

Imagen 5-CXX. Rasgos tectónicos del bloque Jalisco.



Fuente: Nuñez-Cornú, 2011.

En el área de los tres graben son dominantes las andesitas, calcoalcalinas y rocas relacionadas, típicas de los arcos volcánicos de subducción. En el graben de Colima y graben de Tepic-Zacoalco magmas alcalinos han erupcionado contemporáneamente con magmas calcoalcalinos desde el Plioceno. Los magmas alcalinos son raros en zonas de subducción, pero frecuentes en zonas de fracturación (rifting) continental.

Las principales estructuras tectónicas continentales o sistemas de fallas que se observan en el Bloque de Jalisco, y que pueden ser de peligro por la alta sismicidad que presentan y pueden afectar al Municipio de Tecolotlán y son:

1. Graben de Colima
2. Graben de Tepic-Zacoalco
3. Graben de Chápala
4. Río Verde – San Cristóbal de la Cañada

5.1.9.4 A nivel local

De la fallas a nivel local del Municipio de Tecolotlán podemos hablar de la presencia del graben de Tecolotlán, dado que un graben presenta un sistema de fallas normales escalonadas y pueden generar un sismo que afectaría al Municipio y una serie de fallas al norte del Municipio entorno a la localidad de Quila.

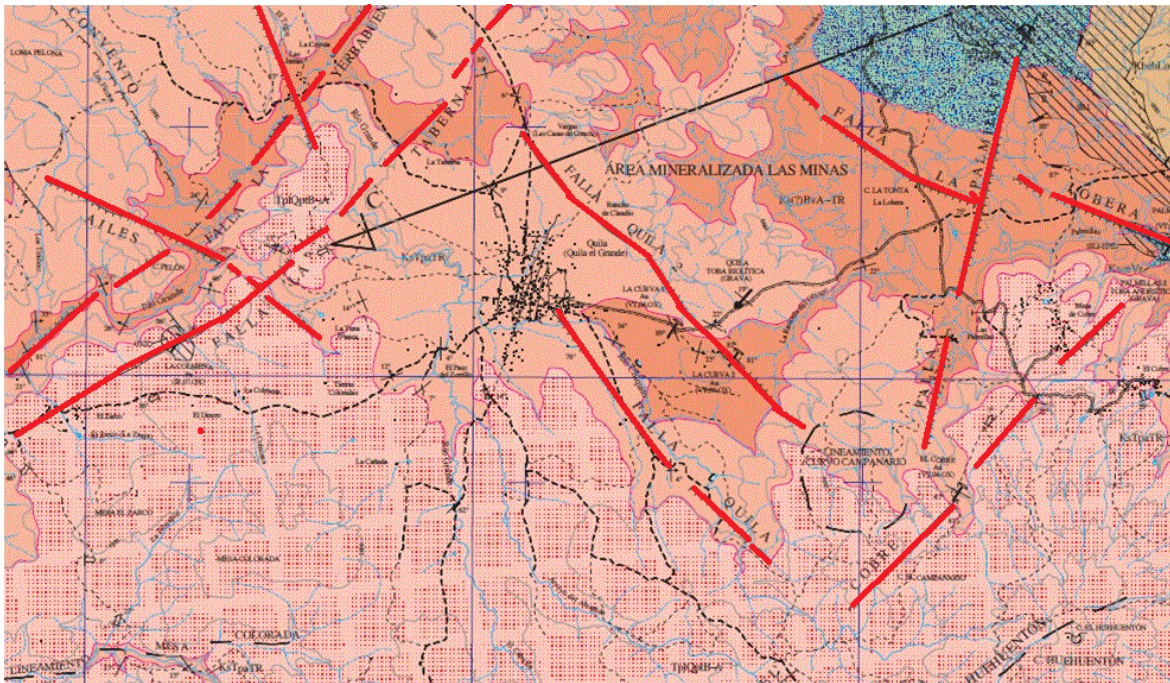
5.1.9.5 Graben de Tecolotlán

El graben de Tecolotlán, presenta una extensión de 20 km de largo por 10 km de ancho, ubicándose a 110 Km al Sureste de Guadalajara, en la región noroeste del Bloque Jalisco. Pertenece a una serie de pequeños grabens que se localizan paralelamente al graben de Tepic-Zacoalco, en el margen del graben de Colima y graben de Chápala (Kowallis *et al.*, 2010).

5.1.9.6 Peligro por falla y fracturas en el Municipio de Tecolotlán

De la interpretación de los modelos de elevación digitales y de la información del Instituto de Información Geográfica, se aprecia en la región del Municipio de Tecolotlán, tres fallas, pero que salen del límite del Municipio, una al sur en dirección N-S y otras dos fallas que se cruzan perpendicularmente al norte del mismo. Localmente se observan lineamientos dentro del estado en dirección NW-SE y NE-SW los cuales corresponden en su totalidad a fracturamientos (

Imagen 5-CXXIII. Fallas localizadas en torno a la Localidad de Quila

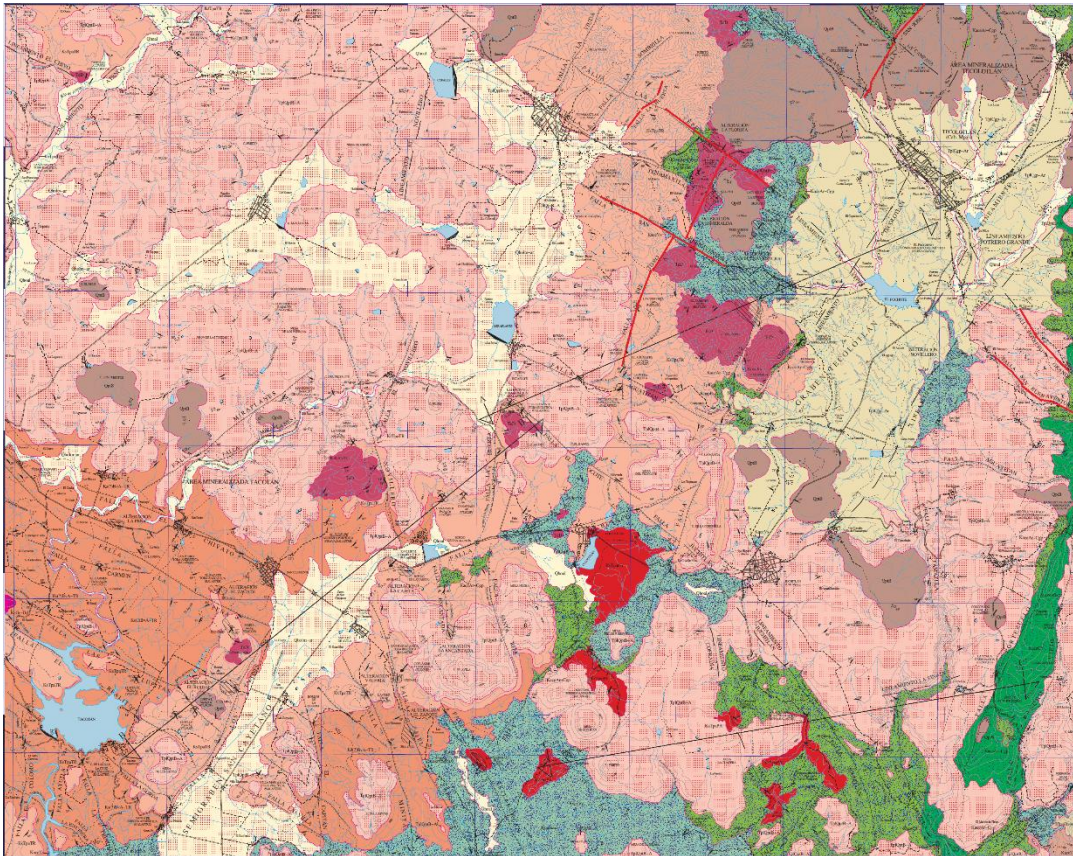


Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Carta Geológica – Minera Atengo, 2008.

Por otra parte el graben de Tecolotlán, cuya edad de formación data de alrededor de 5 millones de años ya que es durante el Plioceno temprano que comienza el fallamiento por extensión y la acumulación de los sedimentos que formaron la base del estrato San José (Kowallis *et al.*, 2010) (Imagen 5-CXXIV). Las fallas más cercanas a la Cabecera Municipal son: al Norte la falla San José, al SW Buenaventura y Potrero Grande, al este la falla Yepes. Como ya se ha mencionado, para conocer el comportamiento de estas estructuras geológicas es necesario un monitoreo sísmico y la caracterización de las mismas para

determinar el peligro y riesgo real que representan para la infraestructura y población del Municipio.

Imagen 5-CXXIV. Fallas localizadas en torno a la Cabecera Municipal.



Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Carta Geológica – Minera Tecolotlán, 2008.

Es importante mencionar que la ubicación de lineamientos (Fracturas), son de gran importancia debido a la tendencia a convertirse en una falla ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud en la región (mayor a 6 grados) (Imagen 5-CXXV).

I).

Imagen 5-CXXI. Fracturamiento de roca volcánica en el Municipio Tecolotlán.



Fuente: IIEG: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

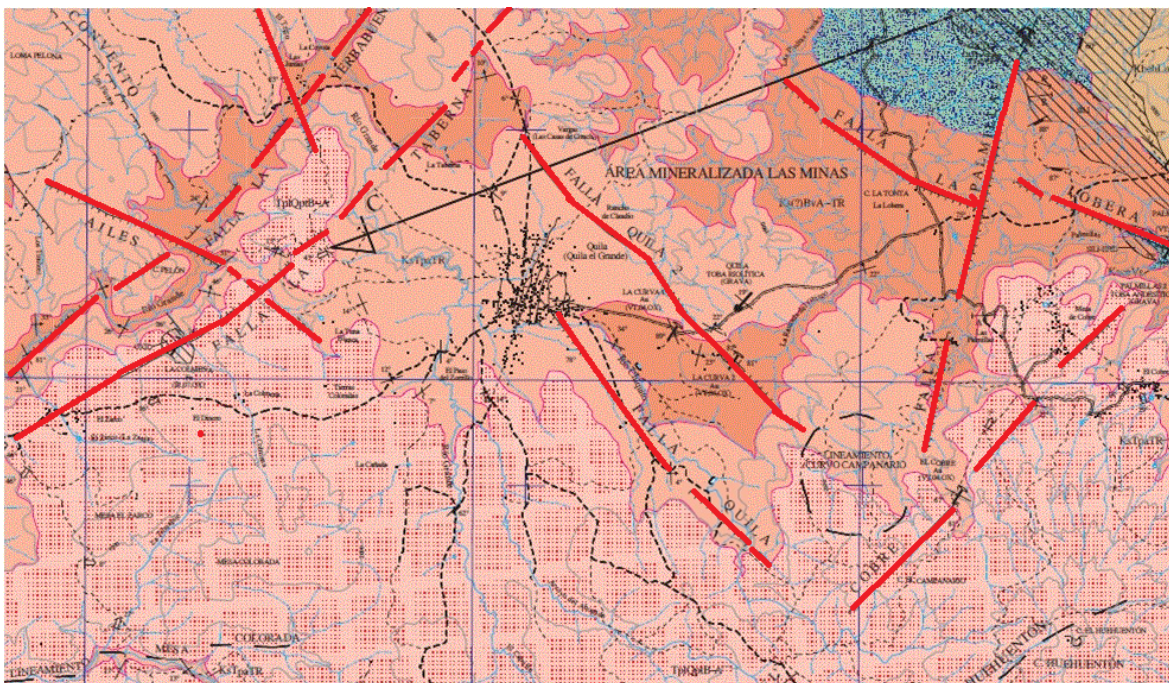
El INEGI no reportó fallamiento dentro del Municipio, pero la investigación de la recopilación de información arrojó datos elaborados por el Servicio Geológico Mexicano (SGM), esta información consta de mapas en dos escalas, primeramente se encontró información de plano a escala 1:1'000,000, en donde se ubican dos fallas entorno a la Localidad de Quila (Imagen 5-CXXII).

[illegible]

El segundo plano a escala 1: 50,000 se observan dos estructuras geológicas más claramente definidas que en la Imagen 5-CXXII, que son las Fallas Quila y Quila2, en dirección NW-SE, que pueden representar Peligro para la Localidad Quila. La falta de instrumentación sísmica como ya se ha mencionado y el desconocimiento de información de eventos sísmicos registrados y localizados en el Municipio, indican escasez de información para definir, si son activas y están generando sismicidad o si son propensas a activarse por la ocurrencia de un sismo de magnitud considerable. Se requiere de un monitoreo sísmico para conocer el grado de peligro y determinar la intensidad del riesgo que representan para el Municipio.

Otras fallas cerca de esta localidad son: Falla la Taberna, la Lobera, la Yerbabuena y la falla Ailes (Imagen 5-CXXIII).

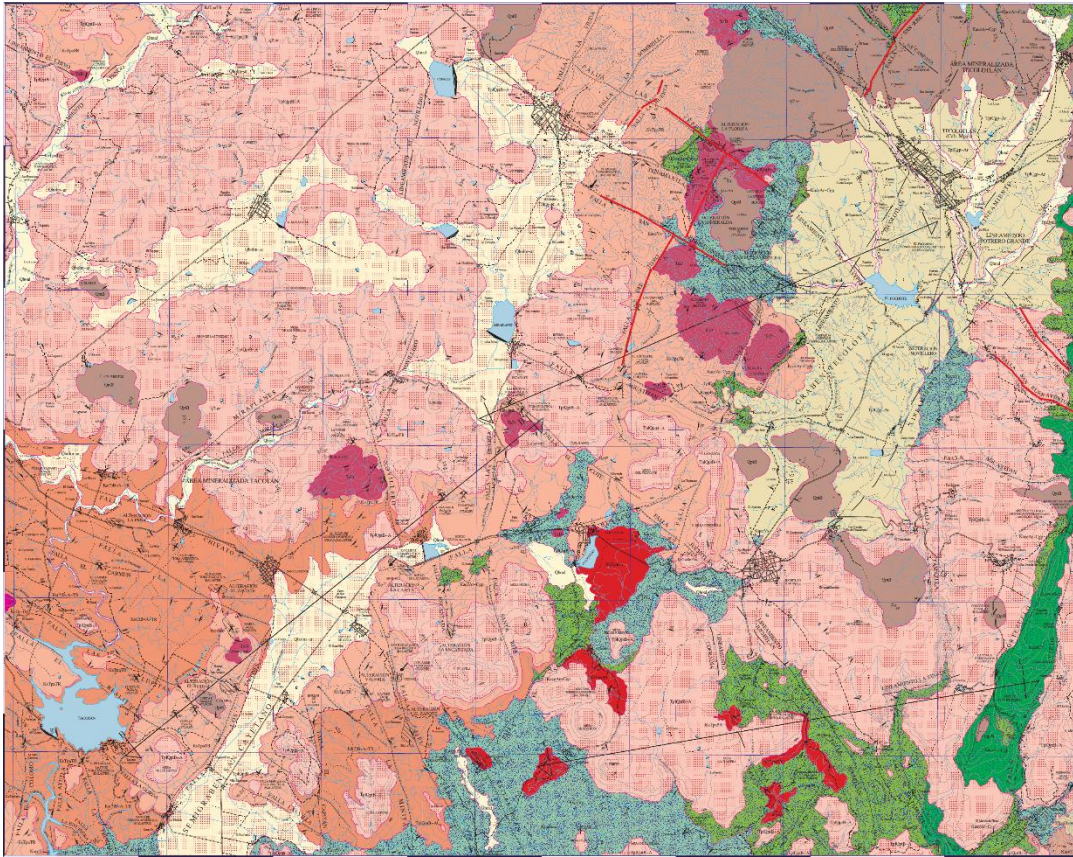
Imagen 5-CXXIII. Fallas localizadas en torno a la Localidad de Quila



Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Carta Geológica – Minera Atengo, 2008.

Por otra parte el graben de Tecolotlán, cuya edad de formación data de alrededor de 5 millones de años ya que es durante el Plioceno temprano que comienza el fallamiento por extensión y la acumulación de los sedimentos que formaron la base del estrato San José (Kowallis *et al.*, 2010) (Imagen 5-CXXIV). Las fallas más cercanas a la Cabecera Municipal son: al Norte la falla San José, al SW Buenaventura y Potrero Grande, al este la falla Yepes. Como ya se ha mencionado, para conocer el comportamiento de estas estructuras geológicas es necesario un monitoreo sísmico y la caracterización de las mismas para determinar el peligro y riesgo real que representan para la infraestructura y población del Municipio.

Imagen 5-CXXIV. Fallas localizadas en torno a la Cabecera Municipal.



Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Carta Geológica – Minera Tecolotlán, 2008.

Es importante mencionar que la ubicación de lineamientos (Fracturas), son de gran importancia debido a la tendencia a convertirse en una falla ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud en la región (mayor a 6 grados) (Imagen 5-CXXV).

256

más técnico, ya que considera que todo cuerpo sólido responde a las cargas externas experimentando grandes deformaciones o fracturamiento.

La fractura representa una pérdida de la continuidad entre dos partes del cuerpo rocoso. Además implica la generación de una grieta y su propagación hasta que se presente la falla general o que se alcance un nuevo estado de equilibrio (Guzmán, 2013).

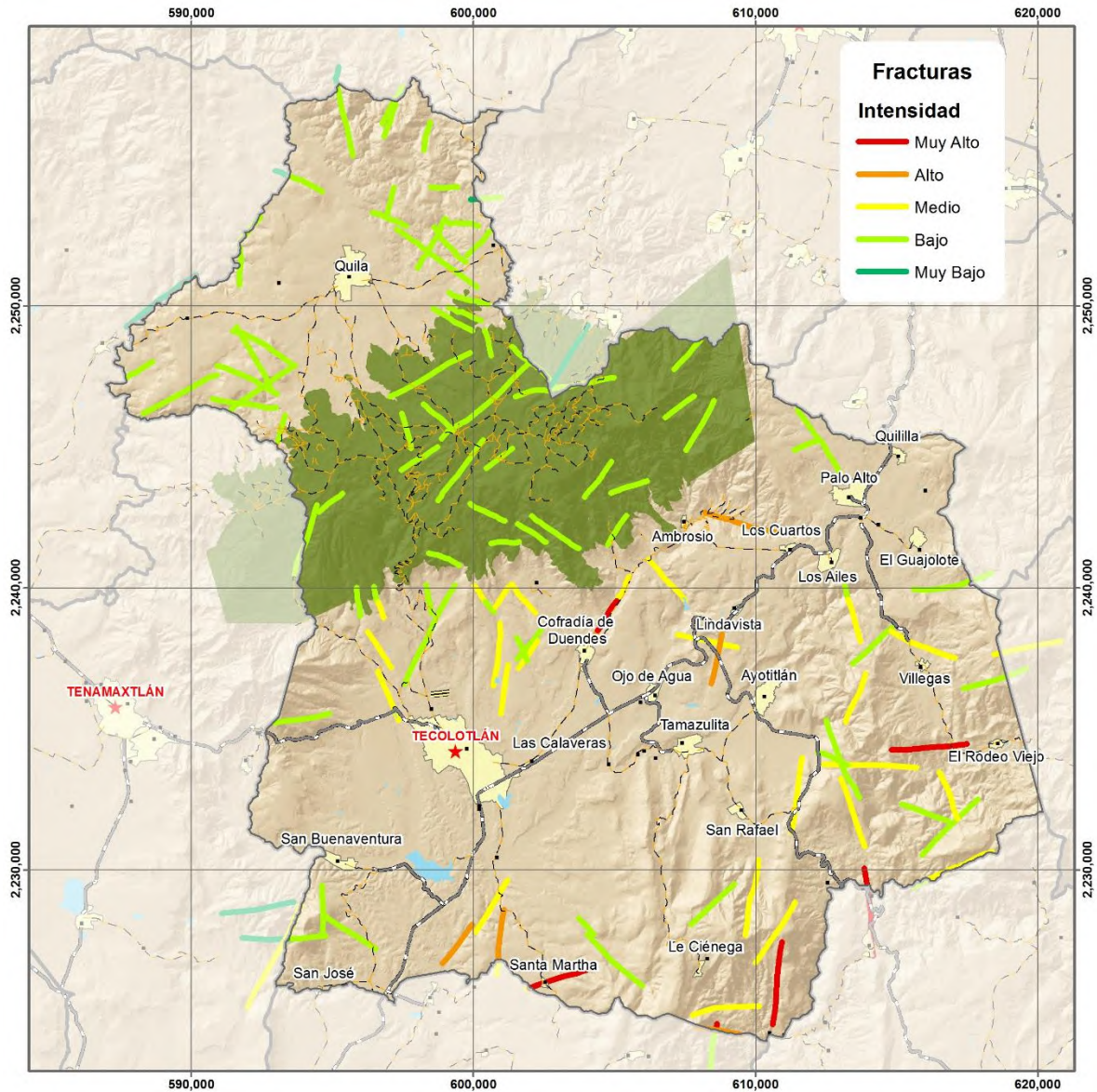
Este tipo de estructuras pueden ser generadas por la concentración de esfuerzos en zonas de contraste composicional (contactos de capas, cambio de facies), por pérdida de volumen (compactación), por enfriamiento, durante deformación contraccional o extensional.

Estas definiciones y conceptos en cuanto a la fractura permite enfocarnos en una idea de para generar un mapa de peligros por fracturas propensas a convertirse en falla y que representaría un peligro para la población en el Municipio.

El peligro por fractura se representaría si ocurre un sismo fuerte en la región, cualquiera de las fracturas se pueden convertir en fallas y eso representaría un peligro Alto para el Municipio y más si esta fractura se encuentra próxima a una localidad, como es el caso de Cofradía de Duende, Ambrosio o Santa Martha que tienen intensidad alta por la presencia de una falla o fractura (Imagen 5-CXXV y 5-CXXVI).

El peligro por fractura se muestra en la Imagen 5-CXXVI, el mapa de peligro por Fractura indica intensidades desde Muy Bajo a Muy Alto.

Imagen 5-CXXVI. Mapa de Peligro por Fractura a nivel Municipal.



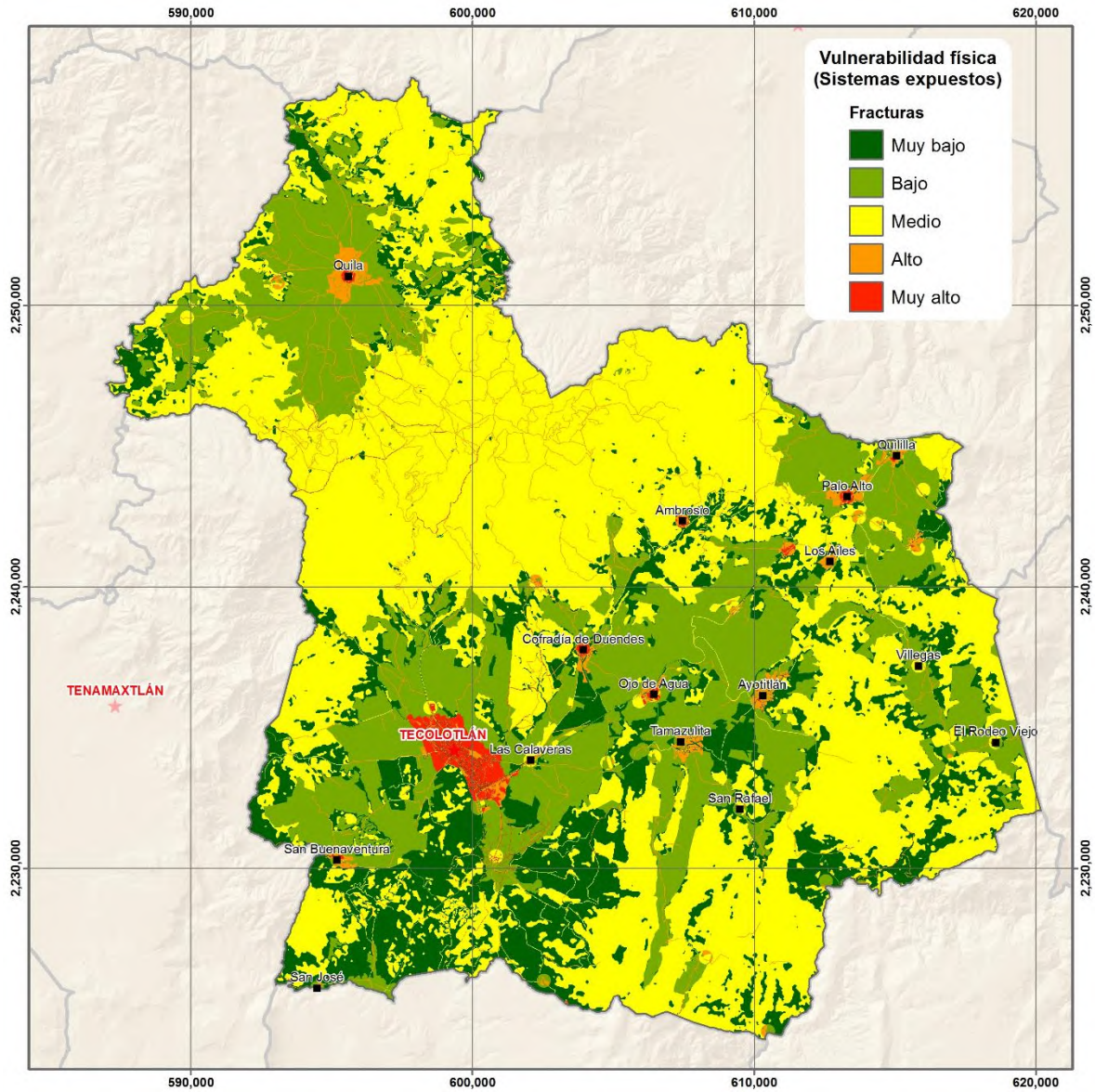
Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

5.1.9.7 Análisis de la Vulnerabilidad

Las viviendas que se ha visto que sufren mayor daño ante la acción de agrietamientos o fracturas son las que no cuentan con elementos estructurales adecuados para resistir las fuerzas laterales, como las que produce un sismo. Dos ejemplos de este tipo de construcciones lo conforman las viviendas de adobe y las de mampostería simple, las cuales se suelen construir sin elementos que confinen a los muros (como castillos y dadas).


Sin embargo, construcciones con mampostería confinada o reforzada también pueden ser vulnerables si no se cuenta con la cantidad necesaria de muros distribuidos uniformemente en dos direcciones perpendiculares (es decir, a lo largo y ancho de la casa). Mientras más niveles tengan la construcción más vulnerable será. Por supuesto el peligro de daños por sismos es mayor si la construcción se ubica en una zona de mayor intensidad sísmica como es el caso del Municipio de Tecolotlán. El mapa de vulnerabilidad física para el Municipio se muestra en la Imagen 5-CXXVII, en donde se observa que las zonas más vulnerables son los sitios de mayor densidad de población como son las localidades de Tecolotlán, Tamazulita, Ayotitlán, Cofradía de Duende etc., con intensidades de vulnerabilidad física (sistemas expuestos) de Alto a Muy Alto.

Imagen 5-CXXVII. Mapa de Vulnerabilidad Física para el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG: Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

Tabla 5-XLVIII. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por Hundimientos.

Índice de Vulnerabilidad Física	Intensidad de Vulnerabilidad	Color	Rango de Daño	Tipo de Daño
0.2	Muy Baja		0-0.2	No hay daño, No hay afectaciones.
0.4	Baja		0.2-0.4	No hay daño, No afecta la estabilidad de Infraestructura
0.6	Media		0.4-0.6	Agrietamientos en muros y losas.
0.8	Alta		0.6-0.8	Fracturas .Destrucción parcial, fracturas es necesario evacuar. Inestabilidad estructural
1.0	Muy Alta		0.8-1.0	Destrucción parcial o total, evacuación necesaria, reconstrucción total.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996).

5.1.9.8 Análisis del Riesgo

Los riesgos geológicos por fracturas se pueden definir como los procesos, situaciones o sucesos que pueden generar un daño económico o social a una comunidad y para cuya prevención, predicción o corrección han de emplearse criterios geológicos y estructurales. Los procesos son el conjunto de fases sucesivas del fenómeno perturbador. Los sucesos son las manifestaciones de un proceso en momentos o lugares determinados.

En algunos estudios sobre riesgos se establecen diferencias entre los conceptos de peligro y riesgo: el peligro sería la interacción de los fenómenos o circunstancias naturales y la sociedad humana. El riesgo tendría además en cuenta el coste económico de los daños que se derivan de los peligros. Los factores de riesgo son los condicionantes que pueden facilitar o provocar un suceso catastrófico en el desarrollo de un proceso. Un aspecto importante en el estudio sobre los riesgos es el tiempo de retorno estimado de cada tipo de suceso.

Para el caso del riesgo por fractura en el Municipio de Tecolotlán se representa de Muy Bajo a Bajo por el efecto que el fenómeno perturbador pudiera influir sobre los elementos estructurales, población o elementos lineales como brechas, terracerías, caminos, etc. Las Tablas 5-XLIX, 5-L, 5-LI y 5-LII, muestran los elementos comentados.

La intensidad del riesgo por fracturas en la infraestructura se da principalmente en postes y rellenos sanitarios, con un riesgo Muy Bajo a Bajo en 24 elementos afectables (Tabla 5-XLIX), que en realidad no representa riesgo en este aspecto.

Tabla 5-XLIX. Intensidad de riesgo por fracturas en Infraestructura.

Intensidad de Riesgo	No. Elementos Afectables
Bajo	4
POSTE DE CFE	4
Muy bajo	20
POSTE DE CFE	15
POZO DE AGUA	4
RELLENO SANITARIO	1
Total general	24

Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

La población del Municipio se encuentra en riesgo (Bajo Daños menores por efecto del fenómeno perturbador) especialmente en el Poblado de Cofradía de Duendes con 504 habitantes, Santa Martha y el Rodeo (Tabla L).

Tabla 5-L. Población en riesgo por Fracturas.

Intensidad de Riesgo	Población
Bajo	578
COFRADÍA DE DUENDES	504
EL RODEO	12
LAS TROJES	31
PASO REAL	5
SANTA MARTHA	26

Muy bajo	578
COFRADÍA DE DUENDES	504
EL RODEO	12
LA LOBERA	13
LAS TROJES	31
PASO REAL	5
SANTA MARTHA	26
Total general	578

Fuente: IIEG- Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

El riesgo por fracturas para los elementos lineales es bajo con 11863.34 m de brechas, terracerías y vereda son afectables levemente por el fenómeno perturbador por fracturas o agrietamiento (Tabla 5-LI).

Tabla 5-LI. Longitud de brechas, terracerías y caminos en riesgo por Fracturas.

Intensidad de Riesgo	Longitud (m)
Bajo	11863.84997
BRECHA	3063.267716
MÁS DE DOS LÍNEAS EN TORRES	11.27027714
Sistema de riego	3806.128314
TERRACERÍA	1601.257361
VEREDA	3381.926299
Muy bajo	105025.4446
1 LÍNEA EN PORTERÍA DOBLE (H)	1377.117544
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA	1692.095865
2 LÍNEAS EN PORTERÍA SENCILLA	1246.580133
BRECHA	6370.492692
CARRETERA PAVIMENTADA	6508.688561
MÁS DE 2 LÍNEAS EN POSTERÍA	184.5781644
MÁS DE DOS LÍNEAS EN TORRES	1874.816648
SISTEMA DE RIEGO	510.6631112
TERRACERÍA	25970.36475
VEREDA	59290.04712
Total general	116889.2946

Fuente: IIEG- Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

En el caso de la agricultura el riesgo afectable por fractura tiene una intensidad baja con longitud de 18.40 m, cuya longitud también es muy corta, con daño afectable leve. Pero la longitud de terreno afectable con intensidad muy baja con longitud de 8859.38 m y el daño originado por el fenómeno es nulo (Tabla 5-LII).

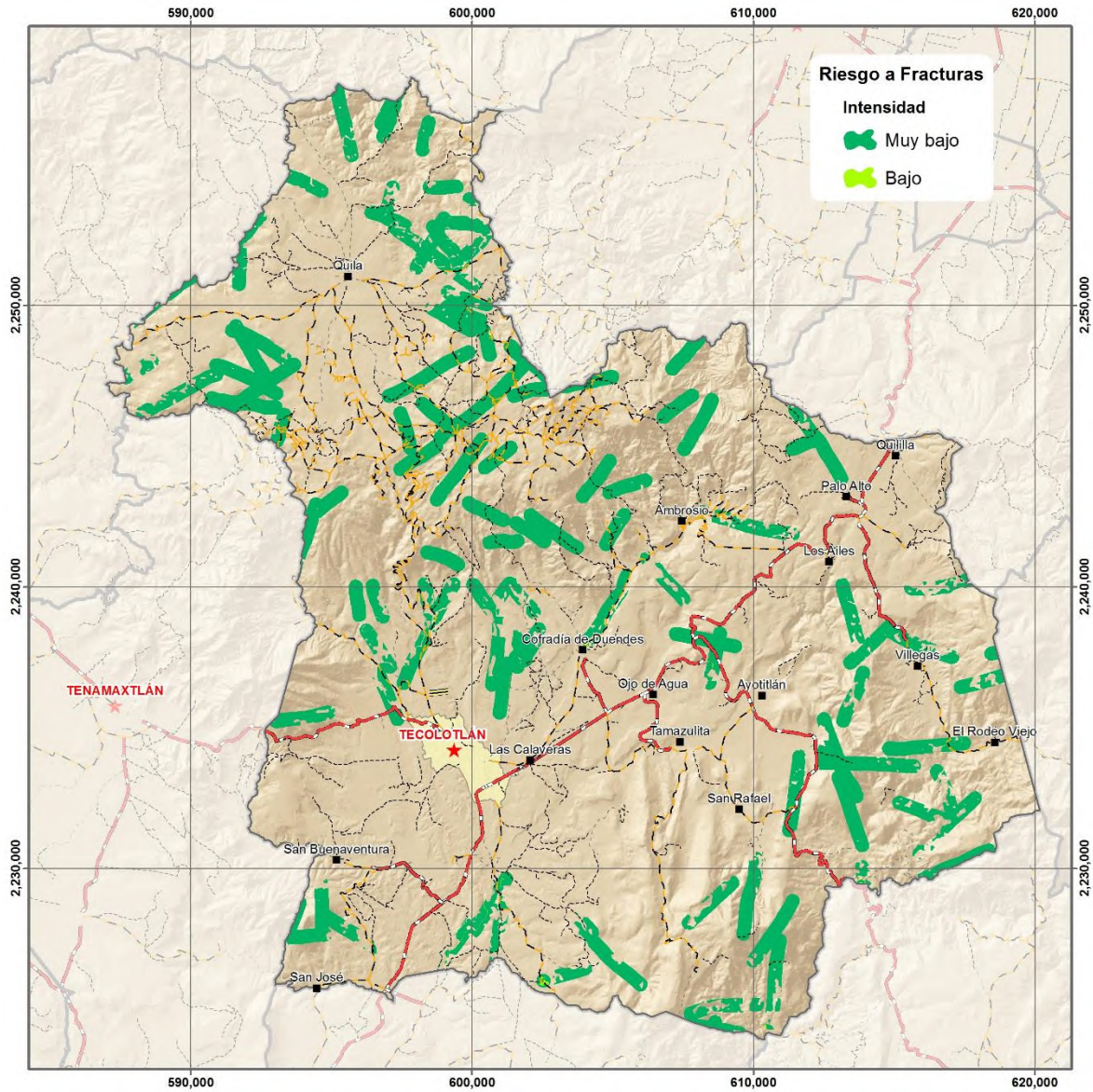
Tabla 5-LII. Agricultura en riesgo por Fracturas.

Intensidad de Riesgo	Longitud (m)
Bajo	18.40096688
Agave	2.022983089
Agricultura de riego	0.779573675
Bosque de encino	0.813523073
Bosque tropical caducifolio	12.08833287
Maíz Temporal	2.316493468
Praderas	0.3800607
Muy bajo	8859.38319
Agave	53.57257039
Agricultura de riego	19.69965867
Aguacate	10.45883613
Bosque de encino	1738.327059
Bosque de encino-pino	1083.618272
Bosque de pino-encino	1120.521395
Bosque tropical caducifolio	3223.288241
Maíz Temporal	745.1945222
Praderas	864.7026365
Total general	8877.784157

Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.



El riesgo por fracturas en el Municipio está representado por intensidad de riesgo Muy Bajo a Bajo como se muestra en la Imagen 5-CXXVIII.

Imagen 5-CXXVIII. Mapa de Riesgo por Fractura para el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2017.

Tabla 5-LIII. Matriz de riesgo.

Nivel del riesgo			Descripción
Bajo			Ligero fracturamiento de paredes, muros y losas.
Muy Bajo			Sin efecto, ni daño.

Fuente: Adaptado de Chaparro (2005) y Leone (1996)

5.1.9.9 Medidas de Mitigación

Las medidas que se propone seguir requieren una serie de pasos, para mitigar los efectos que estructuras geológicas como son las fallas y fracturas pueden generar.

1. Divulgar los reportes de desastres históricos en zonas de fracturas y fallas geológicas.
2. Dar a conocer y capacitar acerca de los rasgos superficiales del terreno que son síntomas de fallas.
3. Proponer reforzamiento de estructuras de obras civiles y viviendas dañadas-
4. Medir agrietamientos y deformaciones del terreno mediante inclinómetros, extensómetros, piezómetros e instalar testigos para determinar desplazamientos.
5. Dar información acerca de la ubicación de albergues temporales
6. Capacitar acerca de las medidas de autoprotección y primeros auxilios
7. Destruir viviendas dañadas por fracturamiento y abandonadas
8. Proponer cambios de uso de suelo en zonas con daños.
9. Monitoreo de fracturas y agrietamientos, debido a que van a seguir presentando.
10. Observar avances de la fractura y reportarla, para evitar mayor abertura de la misma.

5.1.10 EROSIÓN

El peligro por erosión o erosión potencial se define como el efecto combinado de los factores causales de la erosión (lluvia, escurrimiento, suelo y topografía). La combinación de estos factores se denotan en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo: EUPS (Ventura, 1988).

La erosión consiste en un conjunto de procesos, de tipo hídrico, eólico, kárstico (disolución de caliza), marino o glacial, que causa deformaciones en el relieve terrestre en una forma de desgaste de materiales y que provoca remoción paulatina de suelo o roca.

La ocupación humana, es la primera causa de erosión, iniciada por la deforestación y seguida por el cultivo de la tierra, creación y ampliación de los pueblos; el principal factor de erosión es la tala de árboles, la construcción de las viviendas y el utilizar espacios para la siembra de cultivos de temporal.

Gran parte del territorio mexicano está expuesto a la erosión de suelos, y particularmente a la originada por lluvia. Esto produce la pérdida de un valioso recurso natural como lo es el suelo; que para fines prácticos, se considera no renovable (Becerra, 1994).

La erosión consiste el desgaste de las rocas por acción de los agentes geológicos externos. Los factores que se pueden considerar para generar una erosión del suelo son los siguientes:

1. Pendiente: Si la pendiente es muy pronunciada, la erosión producida será mayor, si el terreno es más plano, es decir que no hay pendiente, la erosión se producirá con mayor dificultad.

2. **Peso:** Cuanto más peso y más masa mayor será la erosión.
3. **Cohesión:** Esto se refiere a la unión de las moléculas que forman una roca, cuanto más unión más desgaste y viceversa. En la falta de cohesión de las partículas influyen: la dureza de los materiales, las fracturas, la meteorización y el hecho de que la superficie de contacto sea lisa o tenga agua.
4. **Ausencia de vegetación:** la vegetación (y en especial los árboles) fija el terreno y evita su erosión.
5. **Factores climáticos:** como pueden ser el agua y el viento.

5.1.10.1 La erosión en México

La erosión de suelos en México es un problema ambiental muy serio que afecta a gran parte del territorio nacional en diferentes grados de severidad. La conservación de suelos en México se ha practicado desde tiempos prehispánicos por culturas como la Azteca (Aliphath-Fernandez y Werner, 1994). Sin embargo, la implementación de metodologías para predecir la pérdida de suelo por erosión en México no ha sido muy extensa. Varias investigaciones han sido conducidas para cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos del suelo al nivel de cuencas hidrológicas (Figuerola, 1975) y para evaluar la efectividad de diferentes coberturas vegetales en el control de la erosión en terrenos agrícolas utilizando parcelas de erosión o lotes de escurrimiento (Ventura, 1998), pero pocos estudios se han enfocado a la predicción de la erosión con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos.

5.1.10.2 Problemas que provoca la erosión.

El suelo es un recurso natural que corresponde a la capa superior de la corteza terrestre. Contiene agua y elementos nutritivos que los seres vivos utilizan. El suelo es vital, ya que el ser humano depende de él para la producción de alimentos, la crianza de animales, la plantación de árboles, la obtención de agua y de algunos recursos minerales, entre otras

cosas. En él se apoyan y nutren las plantas en su crecimiento y condiciona, por lo tanto, todo el desarrollo del ecosistema.

La erosión del suelo se está acelerando en todos los continentes y está degradando unos 2.000 millones de hectáreas de tierra de cultivo y de pastoreo, lo que representa una seria amenaza para el abastecimiento global de víveres. Cada año la erosión de los suelos y otras formas de degradación de las tierras provocan una pérdida de entre 5 y 7 millones de hectáreas de tierras cultivables. En los países subdesarrollados, la creciente necesidad de alimentos y leña han tenido como resultado la deforestación y cultivo de laderas con mucha pendiente, lo que ha producido una severa erosión de las mismas. Para complicar aún más el problema, hay que tener en cuenta la pérdida de tierras de cultivo de primera calidad debido a la industria, los pantanos, la expansión de las ciudades y las carreteras. La erosión del suelo y la pérdida de las tierras de cultivo y los bosques reduce además la capacidad de conservación de la humedad de los suelos y añade sedimentos a las corrientes de agua, los lagos y los embalses (Becerra, 1994).

Los problemas más comunes con relación al suelo tienen que ver con las actividades humanas. Al respecto, los problemas directamente derivados del uso antrópico de los suelos son actualmente muy severos. La erosión, la desertificación, la contaminación, la compactación, el avance de las ciudades y urbanización, y la pérdida de fertilidad, se encuentran entre los problemas más graves que afectan hoy a los suelos.

5.1.10.3 Periodos de Retorno

Los procesos de erosión ocurren en varios años (10 años), y por lo mismo sus manifestaciones no son claras a corto plazo, sino hasta que se encuentran en la fase final, cuando ya se ha perdido la mayor parte del suelo útil y se han formado cárcavas.

5.1.10.4 Metodología.

La metodología seguida para el estudio de la erosión en el Municipio de Tecolotlán contempla los siguientes aspectos.

1. Describir el modelo Cualitativo de Erosión-Deposición.
2. Investigación de antecedentes históricos de la erosión en el Municipio de Tecolotlán.
3. Elaboración cartográfica: pendientes, sistemas de drenaje, profundidad de la disección, densidad de la disección: pérdida de la cobertura vegetal.
4. Verificación del aumento de flujos de agua en las corrientes fluviales
5. Verificación de la disminución de filtración de agua (abatimiento de mantos freáticos).
6. Generar un mapa de peligros por erosión.

5.1.10.5 Erosión hídrica

Es la remoción de suelo por lo que el efecto del agua, sea causada por las gotas de lluvia o por el escurrimiento superficial. Al impactar las gotas de lluvia al suelo, se rompe la estructura superficial de este. Salpicando el material sólido en todas direcciones. El material ya suelto es transportado por el flujo superficial, el cual también produce una fuerza de arrastre sobre el suelo, llegando incluso a formar pequeños canalillos, que colaboran en gran medida a la pérdida de suelo. A la erosión causada por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial generalmente se le denomina “erosión laminar”. Este tipo de erosión remueve principalmente material fino, el cual viaja en suspensión en las corrientes y en la mayor parte de los casos es el más importante en los problemas de sedimentación (CENAPRED, 1995).

Una vez que el material sólido llega a cauces bien definidos (ríos), el esfuerzo que ejerce el agua sobre dichos cauces se acentúa, y se produce la erosión denominada “en canales”, la cual remueve principalmente material grueso, que es transportado sobre el fondo del cauce y la magnitud de dicha erosión, dependerá de las características hidráulicas del escurrimiento (avenidas), geometría y profundidad del cauce y propiedades físicas del material.

La degradación de suelos presente en el Municipio de Tecolotlán, representa un factor de peligro principalmente para la biodiversidad ecológica y la productividad del terreno para el desarrollo de actividades agrícolas, que se garantiza la seguridad alimentaria en la región.

El escurrimiento superficial representa como factor determinante en el proceso de la pérdida del suelo del territorio. La remoción del suelo acarrea problemas ambientales, como el asolvamiento a la cuenca, en el que puede incrementar la corriente fluvial de arroyos y ríos, de forma gradual transformado su condición que provoca sequía en época de estiaje.

Mediante el análisis de peligros para el Municipio, se identificaron las áreas que presentan alto grado de peligro ante fenómenos erosivos, se localizaron las áreas consideradas como no aptas para el establecimiento de infraestructura urbana, de acuerdo con las condiciones generales de cada zona esto con la finalidad de evitar riesgos a sistemas afectables.

Para el estudio del peligro por erosión es importante considerar ciertos parámetros para el análisis como son: Geomorfología, Suelos, Hidrografía y Pendientes.

5.1.10.5.1 Geomorfología

La superficie municipal está conformada por zonas semiplanas (42%) hacia el norte, noroeste y suroeste con alturas que van de los 1,300 a los 2,200 msnm sus zonas accidentadas ocupan el (30%) y se ubican al norte, noroeste, este y suroeste, formadas por alturas que van de los 1,200 a los 2,400 metros; sus zonas planas que ocupan el (19%) están situadas en la periferia de la cabecera municipal.

5.1.10.5.2 Suelos

El territorio está constituido por terrenos del periodo terciario, formados por rocas ígneas, extrusivas, ácidas y grandes manchones de basalto; la composición de los suelos es predominantemente de tipo Regosol combinado con Feozem, en el norte del Municipio.

La superficie territorial comprende 79,587 hectáreas, de las cuales 10,500 se utilizan con fines agrícolas; 33,743 en actividades pecuarias; 30,900 son de uso forestal, 49 son de suelo urbano, 4,363 tiene otro uso y 32 no tiene uso especificado. En cuanto a la propiedad una extensión de 45,964 hectáreas son privadas y 33,591 son de ejidatarios, no existe la propiedad comunal, así mismo no se especifica el tipo de propiedad de 32 hectáreas.

5.1.10.5.3 Hidrografía

La hidrografía toma un papel muy importante en la erosión. Los recursos hidrológicos en el Municipio son proporcionados por el río Ferrería, por los arroyos: El Jabalí, Gallinero, Tamazula, Tecolotlán, Las Canoas, Colorado, Cofradía, Sauz y Amarillo; por los manantiales de La Cienega, Agua Caliente, Los Arieles, El Guayabito, y hacia el sur del municipio se ubica la Presa de San Pedro (El Pochote) en San Buenaventura. Se encuentran también gran cantidad de bordos.

5.1.10.5.4 Pendientes

La pendiente es un factor que influye durante proceso de pérdida de suelo, en el cual se consideró la longitud, magnitud y forma: el grado o porcentaje resulta ser el que origina problemas más agudos en comparación con la longitud la cual solo determina el espesor de la lámina o carga hidráulica. Es a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) municipal, que se realizó la clasificación de pendientes presentes, en el cual se consideran los criterios para la evaluación del fenómeno de acuerdo al análisis de peligro (Tabla 5-LIV).

Tabla 5-LIV. Clasificación de pendientes

Pendiente (P)	0-5%	5-15%	15-30%	30-45%	Más de 45%
Grados	3°	3° - 9°	9° - 18°	18° - 27°	> 30°
Valor	1	2	3	4	5

Fuente: Becerra, 1994.

5.1.10.6 Erosión eólica

La erosión es un proceso natural, producto de la acción de los agentes atmosféricos, durante el cual, una parte del suelo es disgregada y degradada, proceso conocido como meteorización y transportada a otras zonas. Es decir, se produce un desgaste físico y químico de rocas y suelo debido a los mismos agentes que producen el transporte del material, como son básicamente el agua y el viento.

La erosión eólica es la causada por el viento, ocurre generalmente en regiones planas y de poca lluvia, en donde la vegetación natural crece escasamente y ofrece una reducida protección al suelo y en donde además los vientos adquieren una velocidad considerable. Al igual que la erosión hídrica remueve grandes cantidades de elementos nutritivos.

La velocidad mínima necesaria para iniciar el movimiento de las partículas del suelo erosionables (0,1 mm de diámetro), es cerca de 15 km/h a una altura de 0,3 metros de la superficie. El transporte de las partículas que es influenciado por el tamaño, velocidad del viento y distancia a recorrer. Después que el movimiento es iniciado, las partículas son conducidas en saltos, dependiendo de su tamaño y de la turbulencia del viento, cuya fuerza es levantada casi verticalmente.

La erosión eólica es el desgaste de las rocas o la remoción del suelo debido a la acción del viento. La erosión eólica se produce, pues, en zonas áridas, como los desiertos y la alta montaña. Estos tienen además otra característica imprescindible: las grandes diferencias de temperaturas. Esto hace que la roca se rompa y la erosión eólica pueda actuar con mayor eficacia.

El viento es un eficaz agente de erosión capaz de arrancar, levantar y transportar partículas, sin embargo, su capacidad para erosionar rocas compactas y duras es limitada. Si la superficie está constituida por roca dura, el viento es incapaz de provocar cambios apreciables debido a que la fuerza cohesiva del material excede a la fuerza ejercida por el viento. Únicamente en aquellos lugares en donde la superficie expuesta contiene partículas minerales sueltas o poco cohesivas, el viento puede manifestar todo su potencial de erosión y transporte. La velocidad determina la capacidad del viento para erosionar y arrastrar partículas, pero también influye el carácter de los materiales, la topografía del terreno, la eficacia protectora de la vegetación, etc.,

En el fenómeno de erosión eólica, es determinante la superficie sobre la que actúa el viento. Su alteración no se limita a puntos o áreas limitadas como ocurre con la erosión hídrica; la acción del viento se ejerce sobre la totalidad de la superficie. En espacios amplios, la erosión produce a menudo excavaciones de depresiones poco profundas llamadas hoyas, cuencas o depresiones de deflación. Se originan en áreas más o menos llanas y desprovistas de vegetación en donde el suelo está expuesto a la acción del viento. Las partículas finas

(arcillas y limos) son levantadas por corrientes verticales que sobrepasan las velocidades de decantación; el polvo se difunde en la atmósfera hasta alturas que van desde pocos metros a varios miles. La altura depende de la intensidad de la turbulencia del viento, de su duración y del tamaño de las partículas. Como resultado, puede producirse una densa nube, llamada tormenta de polvo.

La erosión eólica consiste en tres fases distintas:

1. Inicio del movimiento de las partículas.
2. Transporte de las partículas.
3. Depósito de las partículas.

Uno de los tipos de degradación de los suelos es la erosión eólica.

Causas:

1. Falta de prácticas de conservación
2. Deforestación
3. Factor climático (presencia de viento de gran magnitud)
4. Presencia de topografías planas

Consecuencias:

1. Pérdida de suelo. Pérdida de la fertilidad del suelo.
2. Cambio de la textura del suelo (Lugares de desprendimiento poseen texturas gruesas y en los de deposición finas).
3. Cambio en la estructura del suelo
4. Disminución del rendimiento y aumento de pobreza
5. Desertificación

5.1.10.7 Erosión Marina

No aplica para el Municipio de Tecolotlán.

5.1.10.8 Erosión Kárstica

La erosión kárstica es la erosión producida por las corrientes de agua que escurren bajo la superficie terrestre debido a la infiltración de las aguas superficiales.

Este tipo de erosión da lugar a la formación de grutas. La erosión kárstica se produce fundamentalmente por la disolución del carbonato cálcico por el agua (corrosión), una reacción que depende de la temperatura. Esta disolución de la roca calcárea crea la cavidad o gruta y al precipitar en distintas condiciones de temperatura, el carbonato cálcico forma estalactitas y estalagmitas, que pueden llegar a unirse formando columnas.

Estas formas pueden apreciarse en gran parte de las cuevas, como por ejemplo en las grutas de Cacahuamilpa, en el estado de Guerrero en México. El colapso de sistemas kársticos puede dar lugar a paisajes kársticos muy característicos, abundantes en la región de Pinar del Río de Cuba (llamados mogotes) o en la región kárstica del sur de China. Estos mogotes son pequeñas montañas muy escarpadas que restan de la topografía anterior a la erosión kárstica.

Cuando el agua superficial erosiona las rocas situadas por encima de las aguas subterráneas, puede provocar el hundimiento del techo de la gruta y dejarla al descubierto. Estas formaciones son características de la península de Yucatán y reciben el nombre de cenotes.

En el recorrido de campo por el Municipio, no se han identificado este tipo de erosión.

5.1.10.9 Identificación de Peligro por Erosión en el Municipio de Tecolotlán.

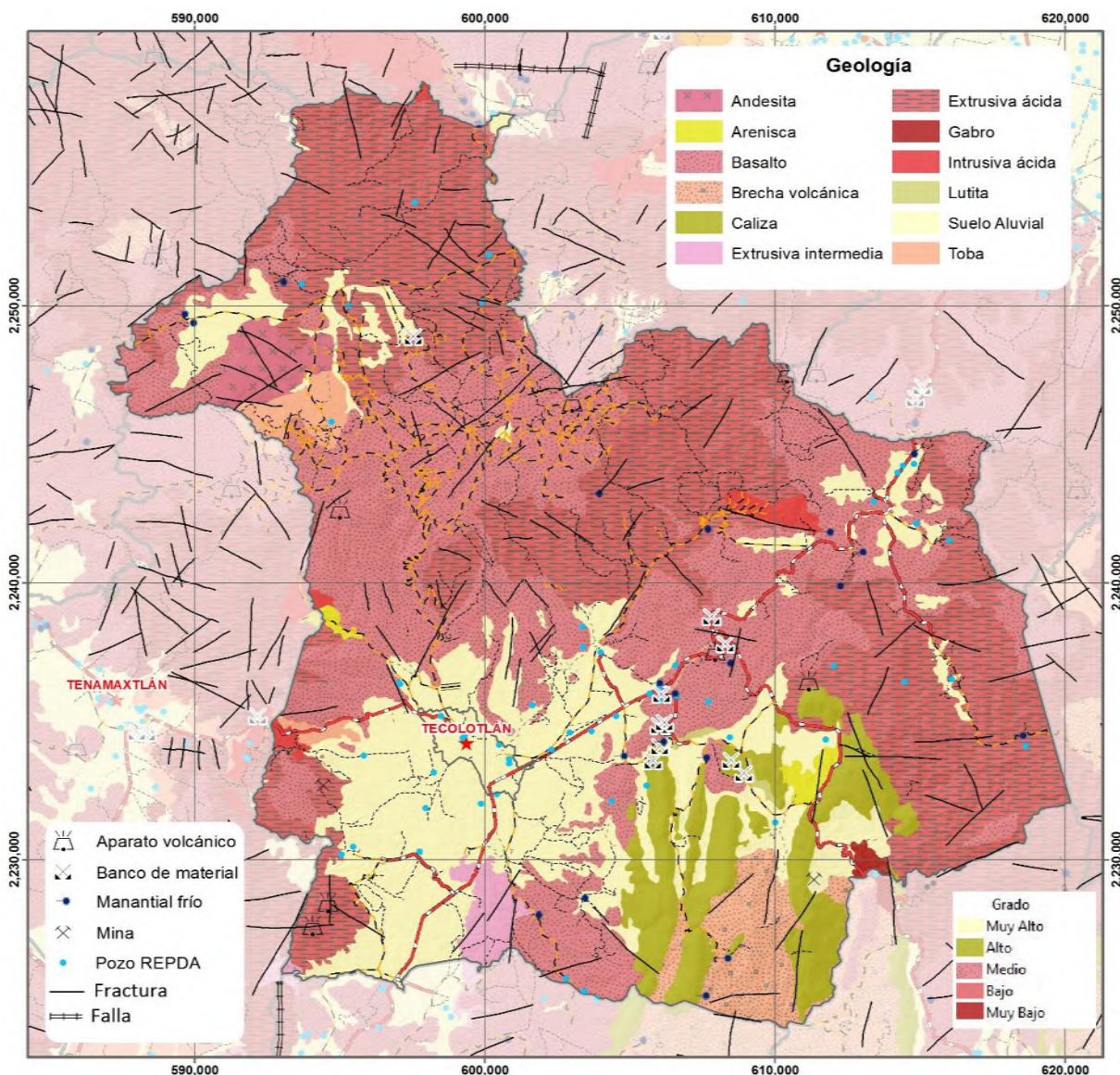
La presencia de erosión en el municipio, representa pérdida gradual del material constituyente del suelo, al ir siendo arrastradas las partículas (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que quedan en superficie. Los procesos erosivos constituyen un impacto negativo, con resultado de una degradación progresivo del recurso suelo. Algunas de las causas de la erosión eólica serían la falta de prácticas de conservación la deforestación, el factor climático (presencia de viento de gran magnitud) y presencia de topografías planas, entre otros.

A causa de estos problemas se producen varias consecuencias como la pérdida de suelo y de la fertilidad, cambio de la textura del suelo (Lugares de desprendimiento poseen texturas gruesas y en los de deposición finas), cambio en la estructura del suelo, disminución del rendimiento y aumento de pobreza.

De acuerdo al análisis de los diferentes tipos de erosión que pueden ser afectables para el municipio y que representaría un peligro, influyen las características topográficas. Las áreas planas en donde mayormente se presentaría la erosión, es hacia el norte de la sierra de Quila y la parte sur, zona en donde se encuentra las poblaciones principales del municipio, en donde afectaría severamente la erosión. Haciendo una estimación del peligro por erosión para el municipio, se consideró una relación con geología (tipo de roca o material) y topografía. Para zonas con topografía plan y de material aluvial, la erosión afectación y el peligro sería mayor considerando un peligro Alto. Para las zonas con topografía con pendientes fuertes y considerando la geología (roca volcánica), el peligro por erosión tomaría un peligro Medio (Imagen 5-CXXIX). En este aspecto se consideraría otra información como: la hidrología, vegetación etc.

Es importante mencionar que este resultado se complementara con los demás factores que intervienen en el proceso de erosión para determinar el peligro efectivo por erosión para el Municipio.

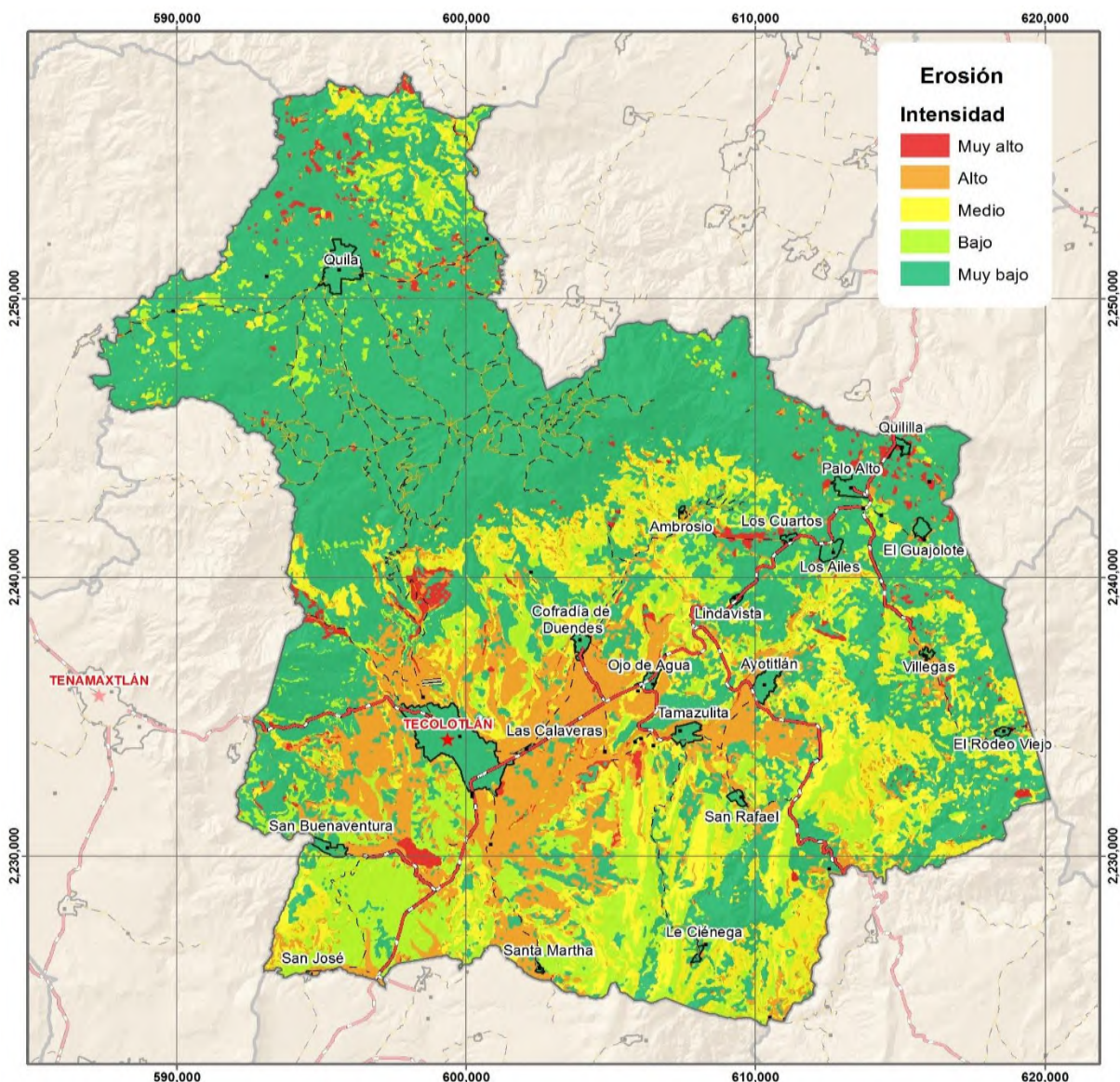
Imagen 5-CXXIX. Identificación del peligro desde el punto de vista geológico



Fuente: IIEG, Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016

Es importante mencionar que este resultado se complementara con los demás factores que intervienen en el proceso de erosión para determinar el peligro efectivo por erosión para el Municipio, como se muestra en la Imagen 5-CXXX.

Imagen 5-CXXX. Mapa del peligro por erosión en el Municipio de Tecolotlán.



Fuente: IIEG-Instituto de Información Estadística y Geográfica, 2016.

De acuerdo al mapa anterior el peligro por erosión se nota al norte de Quila en algunos sectores con intensidad Muy Alto y al sur del Municipio una extensa área de intensidad Alta. Lo que es la planicie del Valle el peligro por erosión es de Medio a Alto y el resto del Municipio que representa más del 50 % del territorio la erosión se determinó de Muy Bajo a Bajo.

5.1.10.10 Análisis de la Vulnerabilidad

La erosión es un problema de gran relevancia. Las zonas topográficas irregulares son las más propensas a que se produzca este tipo de degradación, pero los riesgos cambian de magnitud con las diferentes unidades de tierra.

Las zonas vulnerables por la erosión, a través de la remoción y sedimentación del suelo superficial, altera las propiedades físicas y químicas de los suelos, afectándose los procesos que regulan la productividad del ecosistema. Podría decirse que es la forma más completa e integral de degradación de suelo; ya que reduce la reserva de nutrientes, disminuye el volumen efectivo de raíces y con ello reduce las reservas de agua utilizables por la planta. Por otra parte, provoca daños ambientales en zonas fuera del lugar donde ocurre la remoción del suelo.

De acuerdo al mapa de peligros por erosión obtenido para el Municipio de Tecolotlán, se observa que las zonas más vulnerables a este tipo de fenómeno son para la agricultura.

5.1.10.11 Análisis del Riesgo

El riesgo por erosión es un proceso que afecta principalmente a la agricultura. El suelo es el principal soporte de las plantas y el almacenamiento natural del agua y los nutrientes que éstas aprovechan para su crecimiento y desarrollo, así que al ser removido, se pierde un recurso natural que para fines prácticos es no renovable pues su formación requiere de mucho tiempo. Esto influye, en el mediano plazo principalmente de las reducciones de la producción de los cultivos y en la pérdida de áreas silvícolas, y en el largo plazo en cambio de ecosistema.

El principal riesgo que produce la erosión es la sedimentación de material sólido en zonas o sitios donde esto es indeseable, como son los embalses de las presas y lagos, disminuyendo su capacidad y requiriendo grandes erogaciones para el desazolve cuando ello es posible.

5.1.10.12 Medidas de Mitigación

Las alternativas y propuestas para el control de la erosión de suelos implican las siguientes actividades:

1. Realizar reforestación de los bosques.
2. Construcción de terrazas.
3. Cultivo en franjas.
4. Cubiertas naturales o artificiales de suelos.
5. Rotación de cultivos.
6. Diseño de parcelas.
7. Uso de técnicas de labranza mínima.
8. Control de pastoreo.
9. Protección de Taludes.

5.2 Medidas de Mitigación y Acciones ante el Riesgo.

5.2.1 VULCANISMO (CAÍDA DE CENIZAS).

En el caso de caída de cenizas en el Municipio, las medidas de mitigación y acciones propuestas para el riesgo por vulcanismo se basan en el saneamiento periódico de los cauces de los ríos que cruzan el municipio. Esto simplemente es una acción preventiva previa a la temporada de lluvias, pues la caída de cenizas puede ocasionar lahares.

Ante una erupción volcánica grande, como las que han ocurrido en el pasado, el volcán de Fuego de Colima, pueden esperarse pérdidas casi totales de bienes; por lo que la única forma de proteger la vida humana es por medio de evacuaciones preventivas. Dentro de las acciones que se proponen están las de establecer campañas de información a la población sobre los peligros volcánicos y sus consecuencias.

Ante un escenario de lluvia de ceniza se deberá poner en práctica las siguientes medidas y acciones:

1. Sepa anticipadamente qué es lo que se puede esperar y cómo enfrentarlo; eso hará manejable la situación.
2. En las áreas con ceniza, use máscaras para el polvo y lentes con protecciones para los ojos. Si usted no tiene una máscara para polvo, use un pañuelo o tela húmeda. de preferencia no use lentes de contacto.
3. Tanto como sea posible, mantenga la ceniza fuera de casas-edificios, maquinaria, suministros de agua, aire acondicionado, drenajes, cañerías, alcantarillas, etc.
4. Permanezca dentro de su casa o habitación para minimizar la exposición especialmente si usted padece de enfermedades respiratorias.

5. Minimizar los viajes. Manejar durante una lluvia de ceniza es arriesgado para usted y su automóvil.
6. No sature las líneas telefónicas con llamadas que no sean de emergencia.
7. Use su radio para recibir información sobre la caída de ceniza y lo que debe hacer.

5.2.2 SISMOS

Si bien se sabe que los sismos no se pueden predecir, ni saber de qué magnitud ocurrirá, si es posible tomar medidas para que los daños en caso de un gran sismo, puedan ser mínimos, dado que el Municipio se encuentra en una zona sísmica. Recuerde, que un terremoto de gran intensidad puede afectar en cualquier momento. Tome las siguientes medidas de precaución y acciones para evitar daños a la propiedad y a la población

ANTES

1. Desarrolle una conciencia sísmica.
2. Haga una inspección minuciosa de su casa y lugar de trabajo/estudio para determinar si hay peligros estructurales.
3. Asesórese con un ingeniero para asegurar la estabilidad estructural durante un terremoto.
4. Construya en terreno firme.
5. Identifique y tome medidas para reducir los peligros que hay en su hogar, vecindario y centro de trabajo/estudio.
6. Ancle los muebles potencialmente inestables a la pared o al piso.
7. Sujete muebles y enseres con ruedas al piso y las paredes
8. Asegure las puertas de los gabinetes y enseres.
9. Asegure firmemente los objetos colgantes del techo.
10. Remueva objetos pesados de lugares altos.

11. Aleje las camas de lugares peligrosos.
12. Sujete los tanques de gas y calentadores de agua a la pared.
13. Use tubos de materiales flexibles.
14. Mantenga las salidas libres.
15. Adquiera un seguro adecuado contra terremoto.
16. Prepare un plan de contingencia para su familia/hogar y lugar de trabajo/estudio.
17. Haga un duplicado de las llaves de su hogar y vehículo.
18. Mantenga una linterna con baterías de repuesto al lado de su cama.
19. Mantenga un radio portátil con baterías.
20. Coloque un extintor de incendios en un sitio accesible.
21. Mantenga una reserva adecuada de alimentos.
22. Guarde una reserva abundante de agua.
23. Mantenga en un lugar accesible una caja de herramientas.
24. Esté preparado para suministrar primeros auxilios y asegúrese de tener suficientes medicinas.
25. Guarde los documentos importantes en una caja de seguridad.
26. Para los salones de clases y lugares de trabajo, preparar una mochila de seguridad. Las mismas deben incluir suministros para primeros auxilios (alcohol, antiséptico, gazas, etc.), radio, linterna, baterías para radio y linterna, marcadores, libreta, guantes, y otras cosas que entienda sean necesarias.
27. Desarrolle un plan con sus vecinos para enfrentar terremotos.
28. Haga una evaluación de los recursos del vecindario.
29. Prepara a sus niños para enfrentarse a un terremoto.
30. Oriente a las personas con impedimentos.
31. No debe dejar realengos los animales domésticos.
32. Conduzca y practique simulacros contra terremotos en su hogar y lugar de trabajo/estudio.

33. Si vive o trabaja en un edificio alto, prepárese para oscilaciones fuertes.

34. Conozca rutas alternas.

DURANTE

1. Reaccione con prontitud.
2. Si está dentro de su casa u otra edificación, quédese ahí y muévase a un lugar seguro.
3. Manténgase alejado de objetos peligrosos y protéjase contra los que caigan.
4. No corra. En la mayoría de los casos es más seguro quedarse adentro que tratar de salir.
5. Trate de salir por las escaleras durante el terremoto.
6. Detenga su automóvil y permanezca en él.
7. Si está fuera, quédese ahí, alejándose de postes, árboles.
8. Si está en un sillón de ruedas, quédese en él y trate de esquivar objetos que puedan estar cayendo.

DESPUÉS

1. Mantenga la calma, tome unos momentos para pensar las consecuencias de lo que vaya a hacer.
2. Implante su plan de emergencia familiar y comunal.
3. Haga una rápida inspección inicial por si hay heridos o gente atrapada.
4. Póngase ropa adecuada.
5. Verifique si hay incendios.
6. No haga llamadas innecesarias.
7. Si detecta escapes de gas, cierre la válvula principal, abra las ventanas y salga de la edificación.
8. Desconecte el servicio eléctrico si hay daño en el sistema eléctrico de la propiedad.
9. No toque cables o postes eléctricos que hayan caído al suelo.
10. Disponga adecuadamente de sustancias peligrosas que se hayan derramado.

11. Examine el sistema sanitario.
12. Abra la pluma de agua fría y almacene agua en los lavabos y bañeras.
13. Inspeccione su casa cuidadosamente por si hay daños estructurales.
14. Tenga cuidado al abrir las puertas del mobiliario.
15. Sintonice el sistema de radiodifusión de emergencia.
16. No salga al mar.
17. Esté preparado para más temblores.
18. Si usted es lisiado y está atrapado, llame o haga ruido para recibir ayuda.
19. Si usted es sordo o tiene problemas auditivos, atraiga la atención de otros.
20. Ayude a las personas con impedimentos visuales.
21. Coopere con la Defensa Civil y otras autoridades de emergencia y seguridad pública.

OTRAS RECOMENDACIONES:

Se requiere realizar un Monitoreo sísmico local

Se debe contar con instrumentación sísmica y acelerográfica para detectar actividad generadas por estructuras geológicas locales y detectar actividad sísmica producto de rasgos geológicos (Fallas) para el Municipio.

5.2.3 DESLIZAMIENTOS

Las medidas a seguir en caso de presencia de inestabilidad de laderas (deslizamientos) se recomiendan los siguientes aspectos:

- 1.- No cortar los árboles ni destruir la vegetación.
- 2.- Cuidar el medio ambiente y respetar el uso del suelo.
- 3.- No excavar al pie de las laderas, dado que provocan inestabilidad de la misma.

- 4.- Solicitar el apoyo a un técnico cuando se vayan a realizar cambios, modificaciones y excavaciones en las laderas propensas a deslizarse.
- 5.- No permitir que el agua de los drenajes se infiltre en el terreno y lo reblandezca. En caso de que se detecten nacimientos de agua y fugas de drenaje o de agua potable, dar aviso inmediato a las autoridades para agilizar los trabajos de reparación.
- 6.- Mantener atento a las indicaciones de las autoridades de protección civil de la comunidad, sobre todo durante la temporada de lluvias y, con su apoyo, realizar brigadas para la ejecución de recorridos y la detección de cualquiera de las señales de inestabilidad de laderas.
- 7.- Revisar constantemente las paredes, pisos y techos de casas-habitación en busca de posibles grietas, hundimientos, expansiones del terreno y formación de escarpes (escalonamientos). Si éstos se presentan, avisar a las autoridades de protección civil de la comunidad.
- 8.- Es importante que estar en alerta a la posible inclinación de postes y árboles en las laderas.
- 9.- Antes de iniciar alguna construcción, hacer alguna excavación o instalación, consultar a las autoridades de protección civil.
- 10.- Si encuentras alguna grieta en la superficie del terreno, sobre la ladera donde vives, avisa de inmediato a las autoridades de protección civil de la localidad.
- 11.-Producción de boletines técnicos e informativos por parte de las autoridades locales.
- 12.-Reubicación de viviendas y habitantes de los asentamientos en zonas de riesgo potencial.
- 13.- Protección del suelo y subsuelo en áreas propensas a deslizamientos.
- 14.- Realizar tratamiento de taludes.

15.- Elaboración y actualización de censos en zonas de riesgo.

OTRAS RECOMENDACIONES

Es importante llevar acciones a corto plazo un monitoreo de vibraciones en sitios donde se localizan zonas de deslizamientos como el Baulito en Tecolotlán y en la localidad Cofradía de Duende.

5.2.4 FLUJOS (LODOS, TIERRA, Y SUELO, LAHAR)

La susceptibilidad a los flujos de detritos, lodos o lahares en los valles, son de riesgo inclusive en zonas con muy pocas precipitación, pero con suelos desnudos o con poca vegetación, aunque impactos asociados con flujos de detritos, la pérdida de vidas y viviendas por los segundos es comparativamente mayor que en suelos protegidos por vegetación.

Pero la mejor opción para protegerse del peligro es alejarse de la zona de riesgo. Esta sería una acción no estructural, como lo son también un sistema de alerta temprana o un plan de evacuación y seguimiento por parte de la población en riesgos por flujos. La primera sería una medida preventiva, mientras que las otras dos serían medidas de mitigación.

También se pueden aplicar acciones estructurales, como colocar muros de retención de azolves, bordos, muros de contención, muros de encauzamiento, estanques de depósito, etc.

Controlar o disminuir la presión que ejerce el agua dentro del suelo o roca facilitando su circulación o evacuación rápida a través del talud evitando el exceso de presión y erosión interna.

Protección de la superficie del terreno con revestimiento. El revestimiento es utilizado para la prevención y protección de taludes protegiendo sus zonas críticas. Cumple las funciones de disminución de infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad.

5.2.5 DERRUMBES

Las medidas de mitigación y acciones que deben tomarse en cuenta para evitar riesgos y desastres ocasionados por este tipo de fenómenos se mencionan los siguientes.

1. Evitar cortar árboles ni destruir la vegetación natural en zona de derrumbes.
2. No excavar las laderas de los cerros en forma de cortes y terrazas sin autorización.
3. No permitir que el agua de los drenajes domésticos se infiltre en el terreno.
4. Detectar fugas de agua con el propósito de que no se reblandezca el terreno.
5. Estar atento a las indicaciones de las autoridades locales, sobre todo en épocas de lluvia.
6. Las localidades ubicadas en laderas, se deberá revisar constantemente las paredes, pisos y techos de viviendas en busca de grietas o hundimientos.
7. Las laderas identificadas en una región que pueda ser afectada por sismos intensos o lluvias, considerar la posibilidad de que la ladera se vuelva inestable. Determinar si las características de este sitio hacen suponer la existencia de terrenos inestables. (grietas, infiltración de agua, árboles inclinados, pisos agrietados, escalones y otros).
8. La única acción que permite reducir los efectos por derrumbes o caídos es la detección oportuna y la toma inmediata de decisiones por parte de las autoridades, especialistas y población en general, a fin de poner en práctica los planes de evacuación y salvamento previamente diseñados a nivel Municipal.

OTRAS RECOMENDACIONES

Es importante considerar a corto plazo y periódicamente el monitoreo de vibraciones del terreno en zonas de derrumbes como: Tamazulita y Ayotitlán, sitios considerados propensos a generarse derrumbes.

5.2.6 HUNDIMIENTOS

Se ubicaron zonas de riesgo por hundimientos alto, mediano y bajo por lo que las acciones a mitigar consiste básicamente en el monitoreo y evaluación técnica tanto del terreno como de las construcciones en viviendas ubicadas en estas zonas para su clasificación.

Con el objeto de tomar acciones por las autoridades correspondientes dotar de la información derivada de las medidas de mitigación para su evaluación y las acciones en corto, mediano y largo plazo para la reubicación, consolidación y protección de los asentamientos. Otros aspectos que hay que tomar en cuenta se mencionan a continuación.

1. Identificación y estudio de los procesos que comúnmente son causa de hundimientos como: grietas (paredes, pisos, losas, muros, etc.), disolución de materiales, variación del nivel freático, colapso de tuberías, etc.
2. Identificar desniveles en pisos para casas-habitación.
3. Dar seguimiento a fracturas y hundimiento (desniveles) colocando testigos para observar el grado de avance.
4. Evitar infiltraciones de agua al subsuelo producto de fugas en tuberías.
5. Realizar campaña informativa a la población sobre el fenómeno presente.

5.2.7 FALLAS Y FRACTURAS

Las medidas y acciones que se propone se debe seguir requiere una serie de pasos, para mitigar los efectos que estructuras geológicas como son las fallas y fracturas pueden generar.

1. Divulgar los reportes de desastres históricos en zonas de fracturas y fallas geológicas.
2. Dar a conocer y capacitar acerca de los rasgos superficiales del terreno que son síntomas de fallas.
3. Proponer reforzamiento de estructuras de obras civiles y viviendas dañadas por fracturas.
4. Medir agrietamientos y deformaciones del terreno mediante inclinómetros, extensómetros, piezómetros e instalar testigos para determinar desplazamientos.
5. Destruir viviendas dañadas por fracturas.
6. Proponer cambios de uso de suelo en zonas con daños por fracturas.
7. Observar avances de la fractura y reportarla, para evitar mayor abertura de la misma.

OTRAS RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un monitoreo sísmico y acelerográfico para detectar estructuras geológicas activas (fallas) que estén generando actividad sísmica a nivel local.

5.3 Referencias Bibliográficas.

- Alcántara Ayala, Irasema, (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Invest. Geog [online]. 2000, n.41, pp. 7-25. ISSN 0188-4611.
- Aliphat-Fernandez, M. y Werner, G. (1994). The tepetates of Central Mexican Highlands: Prehispanic and modern impact of agriculture and water management Transactions, 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México. 6ª: 528-540.
- Allan, J. (1986). Geology of the Northern Colima and Zacoalco Grabens, SW México: Late Cenozoic Rifting in the Mexican Volcanic Belt. Geol. Soc. Amer. Bull. Vol. 97.
- Arias, D. E., (2011). *Exploración Geotécnica, Relación Geoeléctricas. Universidad de Colombia. Facultad de Minas.*
- Arthur N. Strahler. *Physical Geography*. New York: John Wiley & Sons, 1960, 2nd edition, 7th printing, p. 318-319
- Ayala, C. F. J. Y Corominas, J. (2003); Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas de SIG: fundamentos y aplicaciones en España.
- Barrera, D. , Gutiérrez, C., Mondragón, J., Pérez, G. Rosas, J. y Zárate, P. (1995). Estudio geológico y estructural, hidrológico y sísmico de Ciudad Guzmán, Jalisco, Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad de Guadalajara.
- Becerra Moreno A. (1994). Erosión de Suelos, apuntes de la primera parte del curso de Conservación de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, 105p.
- Borja Baeza, R. C. and I. Alcantara Ayala (2009), "Susceptibility to mass movement processes in the municipality of Tlatlauquitepec, Sierra Norte de Puebla", Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 73, Instituto de Geografía, UNAM, Mexico, pp. 7-21.
- Bretón González M., (2012). Los volcanes. Universidad de Colima.

Bufaliza M (1984). "Atenuación de intensidades sísmicas con la distancia en sismos mexicanos", *Tesis de maestría*, Facultad de Ingeniería UNAM.

Burbey T. J., (2002). The influence of faults in basin-fill deposits on land subsidence, Las Vegas Valley, Nevada, USA: *Hydrogeology Journal*, 10, p. 525-538.

Cannon, J.P. (1957). *La influencia geomorfológica sobre la hidrología y las Geografía*, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

Cárdenas, Q, E, Y Pulido V, A., (2012). Simulación de flujos Piroclásticos del Volcán Cerro Machín, Colombia, mediante la aplicación de herramienta de ARCGIS. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 22, núm. 2, 2012, pp. 63-74. Universidad Militar Nueva Granada Bogotá, Colombia.

Castellanos Abella, E. A and C. J. Van Westen (2008), "Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: a case study from San Antonio del Sur, Guantanamo, Cuba", *Geomorphology*, vol. 94, pp. 453-466.

CENAPRED (2001). Inestabilidad de Laderas. Serie Fascículos.

CENAPRED (2004). Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos. México. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Pp. 385

CENAPRED (2011). Elaboración de mapas de riesgo para inundaciones y Avenidas Súbitas.

CENAPRED, (1995).- Fascículo. Erosión.

CENAPRED, (2001). Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México.

Centro Nacional de Prevención de desastres, (2008). Peligros y Riesgos Volcánicos en México. Serie de Fascículos.

Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2001). "Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres. México: CENAPRED.

- Chaparro, O.I. (2005). Evaluación de riesgo por flujo de lodo en la Quebrada La Chapa, Municipios de Tasco y Socha-Boyacá. Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia
- Comisión Federal de Electricidad (1993). Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad.
- Comisión federal de Electricidad (1996). Intensidades generadas por sismos históricos (1875) e instrumentales (1932 y 1995).
- Cortés T. H. (1991). Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados, Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, MEX., 168 p.
- Courboux, F., Singh, S.K., Pacheco, J.F. & Ammon, C.J. (1997), "The 1995 Colima-Jalisco, Mexico, earthquake (Mw 8): A study of the rupture process", *Geophys. Res. Lett.*, 24, 1019-1022.
- Cruden, D. M. (1991). A Simple Definition of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 43; pp. 27- 29.
- Cruz, H. A.G, (1996). Evaluación preliminar de los riesgos naturales de Ciudad Guzmán, Jalisco. Universidad de Guadalajara. CUCBA. División de Ciencias Biológicas y Ambientales. Tesis.
- Cruz, L., Alaide. (2005). Tsunamis en el pacífico mexicano. Tesis para obtener el título de Ingeniero Geólogo, UNAM. México. 2005. 116pp.
- Cuanalo O, Oliva A y Flores C.(2005). Factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos de laderas en las Sierras Norte y Nororiental de Puebla, México. *Memorias del VI Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables*. Valencia, España.
- Cuanalo O. y Melgarejo G. (2002). Inestabilidad de laderas Sierras Norte y Nororiental del estado de Puebl. Universidad Autónoma de Puebla
- Cuanalo, O., Oliva, A. y González, C.(2007) .Estabilidad de laderas. Análisis mediante factores de valuación. *Revista IngeoPress* 164 . 38-44.

De Miró i Orell, M., Morató, M.D. (1990). Breviario de Geomorfología Oikos-tau Barcelona, pp. 125-128

Demant, A. (1979). *Vulcanología y petrografía del sector occidental del eje neovolcánico*: UNAM, Instituto de Geología, Revista. V. 3, p. 39-57.

Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 121p.

Díaz Salgado, J. (1998), Evaluación del potencial acuícola costero mediante la aplicación de un sistema de información geográfica: dos estudios caso en Oaxaca y Chiapas, tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, Mexico.

Domínguez L.M. (2002). Recomendaciones sobre los agrietamientos del terreno en varias colonias y poblados de la delegación Tláhuac. CENAPRED, México.

Eastman R. J. (1997). Idrisi for Windows , User's Guide, version 2, Clark Labs for Cartographic Technology and Geographical Analysis.

Echarri, P. L. (1998). Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Editorial Teide.

Eissler, H.K. and McNally K.C. (1984), "Seismicity and tectonics of the Rivera Plate and implications for the 1932 Jalisco, Mexico, earthquake", J. Geophys. Res. 89(B6): 4520-4530.

Escobar C., (2001). La degradación de las laderas urbanas y su relación con la pobreza. *Revista Electrónica Luna Azul* http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1

F. J. Monkhouse. *Diccionario de términos geográficos*. Barcelona: Oikos-Tau S. A. - ediciones 1978,p. 120

Farreras, S., Ortiz, M. y Alcalá, G. (2003). Riesgo de maremotos en ciudad Lázaro Cárdenas, Michoacán. Medidas de prevención. México, El Colegio de México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 2003. 100pp.

Ferrari L., J. Rosas-Elguera, (1994). Structure, Kinematics and rate of deformation of the Tepic-Zacoalco Rift, Western, EOS.

Figueroa Sandoval, B. (1975). Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 209 p.

Fiske, R.S. (1984). Volcanologists, journalists, and the concerned public: A tale of two crises in the eastern Caribbean. En: Explosive Volcanism: Inception, evolution,

Flores Díaz, J. (1987). Las Erupciones del Volcán Colima, Cuadernos de Difusión científica de la Universidad de Guadalajara. Núm. 10:17-18.

Flores Olvera, P. and I. Alcantara Ayala (2012), "Susceptibility to shallow landslides of soil in the municipality of Temoaya, Mexico: multicriteria analysis", Investigaciones Geográficas, Boletín, num. 77, Instituto de Geografía, UNAM, Mexico, pp. 31-47.

Foster G. R. and Wischmeier W. H. (1974). Evaluating Irregular Slopes for Soil Loss Prediction. Transactions of the ASAE, 17: 305-309

Francis, P.W., (1975). *Volcán Ceboruco: A mayor composite volcano in the Mexican Volcanic Belt*: Bull. of Vulcanology, v. 39. p. 210-213.

García A, M.J. (2008). Metodologías para la evaluación de peligrosidad a los deslizamientos inducidos por terremotos; 323 páginas; Universidad de Alcalá, Facultad de Ciencias, departamento de Matemáticas.

Geneletti, D. (2007), "An approach based on spatial multicriteria analysis to map the nature conservation value of agricultural land", Journal of Environmental Management, vol. 83, no. 2, pp. 228-235.

Guevara E, Quaaas R y Fernández G (2006). Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su

representación geográfica 2006. México: CENAPRED, en:
<http://www.CENAPRED.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/44.pdf>.

Guzmán Antonio Carpio, (2013). Estudio Geofísico a lo largo del trazo de la falla geológica que afecta a Ciudad Guzmán, Municipio de Zapotlán el Grande, Estado de Jalisco.

<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal4/Nuevastecnologias/Cartografiatematica/01.pdf>

Hungr O., J. Corominas and E. Eberhardt (2001). Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity

Iglesias, M., Barcena, M., and Matute, J.I., (1877). *Informe sobre los temblores en Jalisco y la Erupción del volcán Ceboruco*. Anales del Ministerio de Fomento, México, V. 1. P.115-196.

INEGI (1986). Síntesis geográfica, nomenclator y anexo cartográfico del Estado de Querétaro. INEGI. 143p.

Juárez Badillo, E. (1959) Teoría de grietas de tensión. I Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Memorias, pp. 65-76.

Juárez Badillo, E. (1961). Mecanismos de las grietas de tensión en el Valle de México. Tesis de Doctor en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, México, pp. 10-84.

Komac, M. (2006), "A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia", *Geomorphology*, vol. 74, pp. 17-28.

Kostoglodov, V., Reyes, G. and Ramírez, C. (1997). The october 9, 1995 Colima-Jalisco, earthquake (Mw 8): An aftershock study and a comparison of this earthquake with those of 193. *Geophys. Res. Lett.*, 24, 2223-2226.

Kowallis, B. J., Carranza-Castañeda, O., Miller W. E. y E. H. Christiansen. (2010). The Age and Geology of the Tecolotlan Graben, Jalisco, Mexico. *BYU Geology Studies*, 48:37-52.

Lazcano Días del Castillo Salvador, (2013). Estudio del escalonamiento del terreno a lo largo de un Trazo. SUELO-ESTRUCTURA. Consultoria Geotécnica y Sísmica.

Léone, F. (1996). *Concept de vulnérabilité appliqué a l' évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain*. Tesis de doctorado, Université de Grenoble (en francés)

Lugo, J., Martín, A., Vázquez, L., (1993). *Estudio geomorfológico del Complejo Volcánico de Colima*. Geof. Inter. 32, No 4, p. 633-642.

Lugo, J., Pérez V. A., Rojas S.M. (1991). Formación de grietas en la margen del antiguo lago al oriente de la cuenca de México. Geo. Int., 30 (2):87-95.

Lugo, J., Zamorano J.J., García Romero, A. (2001). Direct and indirect anthropogenic modifications in the basin of México. En: P.T. Bobrowsky (Ed.): *Geonevironmental mapping; method, theory and practice*, pp. 411-427 A.A. Balkema, Rotterdam, 750 pp.

Macías, J. L., (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. LVII, núm. 3. pp. 379-424. México, D.F.

Macías, J. L., Saucedo, R., Gavilanes, J. C., Varley, N., Velasco G. S., Bursik, M., Vargas, G.V. y Cortés A. Flujos piroclásticos asociados a la actividad explosiva del Volcán de Colima y perspectivas futuras. UNAM. <http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos05-3/b.pdf>

Malagón, M. A., 2016. Modelado. Cálculo de espesores y depósito de cenizas para los Volcanes Ceboruco y Colima. Inédito.

Malagón M. A. y E. López (2006). Obtención de Ley de Atenuación usando sismos sintéticos para el estado de Jalisco.

Malagón M. A., (2004). Catálogo de sismos instrumentales ocurridos en el estado de México. Instituto de Ingeniería Sísmica.

Malagón M. A., (2004). Catálogo de sismo históricos ocurridos en el estado de Jalisco. Instituto de Ingeniería Sísmica. Universidad de Guadalajara.

- Malagón, M. A. (2016). Estudio Geofísico de Tomografía Geoeléctrica en el Sector el Baulito y Huehuenton en la localidad de Tecolotlán, Jalisco. (inédito).
- Malagón, M. A., (2016). Cálculo de la aceleración máxima esperada para el Municipio de Tecolotlán, usando sismos sintéticos. Inédito
- Martín del Pozzo. A.L. (1987). Los Flujos Piroclásticos del Volcán de Colima, México. Geof. Int., Special Volume on Mexican Volcanic Belt-part 3B (Ed. S.P. Verma) 26:291-307.
- Martínez Bringas, Alicia; Gómez Vázquez, Ángel, y De la Cruz-Reyna, Servando, (2004). “Elaboración de mapas de peligros volcánicos”. En: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, México: CENAPRED, pp. 99-134.
- Mendoza L, Manuel J., y Domínguez M, Leobardo (2006). “Estimación del peligro y el riesgo de deslizamiento en laderas”. En: Guía Básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos Geológicos. México: CENAPRED.
- Mendoza, M. J. Y Domínguez, L.,(2006). Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas y su aplicación a un caso práctico. Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Montiel González Y, Loaiza C y Gouveia E. (2008). Inestabilidad de laderas en el barrio Cerros de Marín, Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*. Vol. 24, julio-diciembre (2008).
- Mora, C. R. (2004). Evaluación de la Susceptibilidad al deslizamiento del Cantón de San José; Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Nava A., Suarez Plascencia, C. Márquez Azua, B., 1995. Sismos Bajo el Volcán Ceboruco, Nayarit, registrados por la Red Sismológica RESJAL. GEOS. Vol. 15 N°2 P.62. Noviembre de 1995. Unión Geofísica Mexicana.
- Nearing, M. A, Foster, G. R, Lane L. J, y Finkner, S. C. (1989). A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosión Prediction Project technology. Transactions, American Society of Agricultural Engineers.

Nelson, S.A. (1980). *Geology and Petrology of Volcan Ceboruco, Nayarit, México* Geological Society of America Bulletin, V. 91, Pt.II, p, 2290-2431.

Nelson, S.A. ,(1986). *Geología del volcán Ceboruco, Nayarit, México con una estimación de riesgos de erupciones futuras*. UNAM, Instituto de Geología.

Newhall C.and Self , 1982. Indice de Explosividad Volcánica. U. S. Geological Survey

Noticias sobre la actividad del Volcán de Colima.
<http://www.volcanodiscovery.com/es/colima/news.html>-

Núñez, Cornú , F, J. (2011). Peligro sísmico en el Bloque de Jalisco, México. Centro de Sismología y Vulcanismo de Occidente, Universidad de Guadalajara. Puerto Vallarta, Jalisco.

Núñez, Cornú F.J., Suárez, P. C., Escalona A. F., Rutz,L. M., Díaz T. J., Elizalde T. K., (2005). Atlas de Riesgos. Primera Fase, Modulo II. Ayuntamiento Constitucional de Zapotlán el Grande

Núñez-Cornú, F.J., M. Rutz, F.A. Nava, G. Reyes-Davila, C. Suárez Plascencia(2002) Characteristics of Seismicity in the Coast and North of Jalisco.Block, MEXICO.Phys. Earth. Plant. Int, 132,1/3, 141-155.

Núñez-Cornú F. 2011. Peligro Sísmico en el Bloque Jalisco, México. Centro de Sismología y Vulcanología de Occidente. Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco. México. Instituto Ingeniería,UNAM (2004). Peligro Sísmico Mexicano.

Núñez-Cornú, F. J., M. Ortiz, J. J. Sánchez, y C. Suárez-Plascencia. (2008). *El terremoto de San Sixto y el gran tsunami de 1787 en la costa sur de México, Memorias de la Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, GEOS, Vol 28, No 2, Octubre de 2008, p. 204-205.*

Ortiz, M. 2011. Apuntes del Curso de Capacitación Para Operar el Centro de Alerta de Tsunamis de México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C., México. 2011.

- Ovando y Shelley, E., Montiel Rosado, J.E. (1989). Estudio sobre el problema del agrietamiento en la unidad habitacional Cananea Ixtapalapa, D. F. Secretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda, México.
- Pacheco, C. A.(2014). Bioestratigrafía de los roedores fósiles del cenozoico tardío de San Miguel de Allende Guanajuato y Tecolotlán, Jalisco, México. Tesis de Maestría. Posgrado de Ciencias de la Tierra, UNAM.
- Pacheco, J. et al., 2006. Delimitation of ground failure zones due to mland subsidence using gravity data and finite element modeling in the Querétaro Valley, México. *Engineering Geology*, 84(3-4), págs.143-160.
- Paniagua Zavala, W. (1991) Agrietamiento de Suelos. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, 109 pp.
- Ramos, G. MA., GIL, C. A. J. Y Feito, H. F. R. Estudio de deslizamiento de ladera en Olivar con pendiente. Del departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén.
- Ríos Berber, J. D. (1987). Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 544p.
- Riquelme de Rejón, D. (1974). Fracturas del Fraccionamiento Los Olivos en la región cercana al volcán San Lorenzo o San Nicolas, Tlahuac. *Anuario de Geografía*, 14:67-72.
- Rodríguez, C. E. (2001). Hazard assessment of earthquake-induced landslides on natural slopes. Thesis Doctoral, University of London.
- Rutz López M., F. Núñez-Cornú (2004). Sismotectónica del norte y oeste del Bloque de Jalisco usando datos sísmicos regionales. *GEOS*, 24, 3.
- Rutz López Martha (2001). Microsismicidad del noroeste del Bloque de Jalisco (México). Aplicación a la Sismotectónica y peligrosidad sísmica de la zona. Tesis, Universidad de Granada. España.

Rutz López, Martha (2007). Peligro Sísmico en Bahía de Banderas (2007). Tesis Maestría. Posgrado en Geofísica. Universidad de Guadalajara.

Saaty, T. L. (1984), Décider face à la complexité, Ed. Entreprise Moderne d'Édition, Paris.

Sagaseta C., 1987; Analysis of undrained soil deformation due to ground loss: Geotechnique vol. 37, no. 3, p. 321-333.

Sánchez Devora. A., y Farreras, S. (1993). *Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental de México*. USA, World Data Center A. National Oceanic and Atmospheric Administration. United States Geological Survey. World Data Center A for Solid Earth Geophysics Publication SE-50. 1993. 94pp.

Santana, T. E., (2002). Geología del Complejo Volcánico San Miguel, al Sur Poniente de la Cuenca de México, Tesis de Licenciatura UNAM, 40 p.

Saucedo, R., Macías J. L., Sheridan, M.F., Bursik, M.I., Komorowski J. C., (2005). Modeling of pyroclastic flows of Colima Volcano, Mexico: implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 139, 103–115.

Seismic Research Centre, University of the West Indies. (2011). «Modified Mercalli Scale». Consultado el 25 de mayo de 2011.

Servicio Geológico Mexicano, (2001). Carta Geológico-Minera Atengo. Base Cartográfica. Tomada de INEGI, Segunda Edición.

Servicio Geológico Mexicano, (2007). Visita de inspección a zonas de riesgo geológico en Cd. Guzmán, Municipio de Zapotlán el Grande, Estado de Jalisco.

Sievert, 2003. Catálogo de Volcanes de México. Smithsonian Institution.

Singh, S.K., L. Astiz and J. Havskov (1981), "Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: A reexamination", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 3, 827-843.

Skinner, B.J. & Porter, S.C., (1992). The Dynamic Earth: an introduction to physical Geology, II edition, John Wiley & Sons, Inc. New York. 570 p.p.

Suárez C. y Saavedra G. Análisis y mapa de riesgo del Volcán de Colima. México. Centro de investigación de la Facultad de Geografía Universidad de Guadalajara, México.

Suárez Jaime. (2014). Deslizamientos. Tomo I; Análisis Geotécnico. p. 21-26. en: <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html> consultado el 2 de Octubre de 2014.

Suárez, P., C y Saavedra de la Cruz, G. Ordenamiento Territorial en el área de Riesgo Volcánico del Volcán Ceboruco, México. <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal6/Geografiasocioeconomica/Ordenamientoterritorial/28.pdf>

Terzaghi K. (1956). Theoretical soil mechanics; John Wiley and Sons Inc. New York.

Tomás C. A., Vélez, M. L. y Augusto M. R., (2011). Manual de Procedimientos ante Caída de Cenizas Volcánicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad de Buenos Aires.

Tomás, R. G. Herrera, J. Delgado y F. Peña, 2009.- Subsistencia del Terreno. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2009. (17.3) 295-302.

Twiss, J. R. and Moores, M. E. (1992). Structural Geology. Ed. W. H. Freeman. First Edition.

USGS, (1998). Volcánica (Traducido y modificado del USGS Fact Sheet 002-97 (edición de junio 1998) por Gloria E. Ceballos Magaña, Alicia Cuevas Muñiz, y J. Carlos Gavilanes Ruiz (coordinador), observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima (Colima, México). Los autores del Fact Sheet original son: Bobbie Myers, Steven R. Brantley, Peter Stauffer, y James W. Hendley II.).

Van Oost, K. Desmet P., Govers G. And Leuven K. U., 1998, "UPDRAIN. EXE" ,User Documentation, Laboratory for Experimental Geomorphology Catholic University of Leuven, Belgium.

- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In: *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- Ventura Ramos, E. Jr. (1988). Dinámica de la erosión hídrica bajo diferentes niveles de productividad en maíz y cebada. Tesis de Licenciatura.
- Watz, P., 1932. Datos Históricos y Bibliografía acerca del Volcán de Colima. Memoria de la Sociedad Científica Antonio Alzate. México. 53:349-384.
- Wischmeier, W. H. y Smith D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses-A. guide to conservation planning. USDA Handbook no. 537, 58p
- Yalcin, A. (2008), "GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations", Catena, no. 72, pp. 1-12.

ÍNDICE DE IMÁGENES Y TABLAS.

Imagen 5-I. Perceptibilidad de los fenómenos Geológicos en el Municipio de Tecolotlán. ..	6
Imagen 5-II. Peligros por erupción volcánica	9
Imagen 5-III. Principales volcanes activos de México.	20
Imagen 5-IV. Principales volcanes activos entorno al Municipio de Tecolotlán.	21
Imagen 5-V. Volcán de Fuego de Colima.....	25
Imagen 5-VI. Localización de sitios en donde se tomaron muestras para generar secciones estratigráficas en el graben de Tecolotlán.	29
Imagen 5-VII. Secciones estratigráficas en dos puntos del graben de Tecolotlán.	30
Imagen 5-VIII. Distancia alcanzada por la ceniza desde el centro de emisión de acuerdo al porcentaje de fragmentación y tipo de erupción.	35
Imagen 5-IX. Dispersión ceniza volcánica en una erupción explosiva del Volcán Ceboruco.	37
Imagen 5-X. Espesores de depósito de cenizas por erupción del volcán de Ceboruco en el Municipio de Tecolotlán.	38
Imagen 5-XI. Simulación de expansión de nube volcánica para el volcán Colima.	39
Imagen 5-XII. Mapa de Peligros por vulcanismo (depósito de cenizas) en el Municipio de Tecolotlán, por el volcán Colima.	39
Imagen 5-XIII. Configuración de los límites para depósito de cenizas en la erupción del Volcán Colima.	40
Imagen 5-XIV. Mapa de peligro por Vulcanismo (depósito de cenizas) en el Municipio de Tecolotlán.	42
Imagen 5-XV. Zonas sísmicas en México.	51
Imagen 5-XVI. Sismos históricos cercanos al Municipio de Tecolotlán.....	53
Imagen 5-XVII. Relación de intensidades generadas por sismos históricos (1875) e instrumentales (1932 y 1995) entorno al Municipio de Tecolotlán.....	56
Imagen 5-XVIII. Áreas de rupturas de los sismos de 1932 y 1995.....	58
Imagen 5-XIX. Sismicidad registrada por SISVOC entre los años 2001 y 2002.....	60
Imagen 5-XX. Sismicidad registrada por SISVOC en 2003	61
Imagen 5-XXI. Actividad sísmica en el Occidente de México 1900-2015.....	62
Imagen 5-XXII. Regionalización sísmica para el Estado de Jalisco.....	63
Imagen 5-XXIII. Mapa global de intensidades.	68

Imagen 5-XXIV. Aceleraciones máximas del terreno en México.....	70
Imagen 5-XXV. Aceleración máxima del terreno en un periodo de retorno de 10 años.	72
Imagen 5-XXVI. Aceleración máxima del terreno para un periodo de retorno de 100 años.	73
Imagen 5-XXVII. Aceleraciones máximas del terreno para periodo de retorno de 500 años.	74
Imagen 5-XXVIII. Mapa de periodos de retorno para aceleraciones del 0.15 % g o mayores (CFE, 2004). La escala de la derecha tiene valores en años.	75
Imagen 5-XXIX. . Iso-líneas de la intensidad del peligro por sismo en el Municipio de Tecolotlán.	80
Imagen 5-XXX. Mapa del peligro por sismos en el Municipio de Tecolotlán, en función de aceleración teórica máxima del terreno.	82
Imagen 5-XXXI. Periodos dominantes del terreno para el Municipio de Tecolotlán.	87
Imagen 5-XXXII. Acelerograma sintético en la localidad de Tecolotlán.	88
Imagen 5-XXXIII. Material fino con humedad (limo) encontrado en el Baulito	92
Imagen 5-XXXIV. Material fino intercalado con cantos rodados y alto contenido de humedad (limo) encontrado en el Baulito.....	92
Imagen 5-XXXV. Pozo de 50 cm, con material fino con humedad por rotura de tubería encontrado en el Baulito.	93
Imagen 5-XXXVI. Identificación de zonas propensas a la Licuación de suelos en Tecolotlán.	94
Imagen 5-XXXVII. Mapa de Vulnerabilidad Física para Licuación de Arenas.	98
Imagen 5-XXXVIII. Mapa de vulnerabilidad Física para sistemas expuestos por sismos en el Municipio de Tecolotlán.	101
Imagen 5-XXXIX. Riesgo por sismo para el Municipio de Tecolotlán.	107
Imagen 5-XL. Riesgo por Licuación de Arenas para la Cabecera Municipal.	108
Imagen 5-XLI. Evolución de un Tsunami.....	114
Imagen 5-XLII. Mapa de peligro por tsunamis para México.....	117
Imagen 5-XLIII. Distancia del Municipio de Tecolotlán a la costa. Peligro por tsunami muy bajo.	118
Imagen 5-XLIV. Esquema de una ladera afectada por un deslizamiento.	127
Imagen 5-XLV. Perfil de alteración de un suelo residual y de la roca basal	128
Imagen 5-XLVI. Mapa de peligros por deslizamientos identificados.	129

Imagen 5-XLVII. Zonas identificadas con peligro a deslizarse.	130
Imagen 5-XLVIII. Evidencia de deslizamiento dando origen a un Creep.	130
Imagen 5-XLIX. Zona propensa a deslizarse en la localidad Cofradía de Duende.....	131
Imagen 5-L. Ladera propensa a deslizarse en Cofradía de Duende.	132
Imagen 5-LI. Inestabilidad de laderas propensas en Cofradía de Duendes.	133
Imagen 5-LII. Mapa geológico	136
Imagen 5-LIII. Mapa de suelos.....	137
Imagen 5-LIV. Mapa de pendientes.....	137
Imagen 5-LV. Mapa de la densidad	138
Imagen 5-LVI. Mapa de la profundidad de disección.	138
Imagen 5-LVII. Mapa de la geometría de la ladera.	139
Imagen 5-LVIII. Mapa de la orientación de la ladera.....	139
Imagen 5-LIX. Mapa de cobertura de la ladera.	140
Imagen 5-LX. Susceptibilidad a inestabilidad de ladera en la Cabecera Municipal.	141
Imagen 5-LXI. Vulnerabilidad Física para sistemas expuestos por deslizamiento para presas.	144
Imagen 5-LXII. Mapa de vulnerabilidad física por deslizamientos de laderas para el Municipio de Tecolotlán.....	145
Imagen 5-LXIII. Mapa de Riesgo por inestabilidad de laderas para el Municipio de Tecolotlán.	147
Imagen 5-LXIV. Tipos de movimientos de laderas por flujos.	153
Imagen 5-LXV. Localización histórica del peligro por flujos en Tecolotlán.	161
Imagen 5-LXVI. Identificación de zona para peligros por flujos: (a) Mapa de pendiente ubica a zona de flujos propensos con alta pendiente. (b) Mapa de susceptibilidad en inestabilidad de ladera, muestra alta peligro para el deslizamiento y generarse flujo.....	162
Imagen 5-LXVII. Evidencia de flujos en la carretera a Tenamaxtlán.	163
Imagen 5-LXVIII. Mapa de peligros por flujos a nivel de la cabecera Municipal.....	164
Imagen 5-LXIX. Mapa de vulnerabilidad física para el peligro por flujos	166
Imagen 5-LXX. Mapa de riesgos por flujos para la cabecera Municipal.....	171
Imagen 5-LXXI. Perfil de alteración de un suelo residual y de la roca basal.	180
Imagen 5-LXXII. Zonas con presencia de derrumbes.	181
Imagen 5-LXXIII. Evidencia de la caída de bloques o derrumbes.	181

Imagen 5-LXXIV. Mapa de Zonas propensas a derrumbes en el Municipio de Tecolotlán.	184
Imagen 5-LXXV. Identificación de zonas propensas a derrumbes en Tamazulita.	185
Imagen 5-LXXVI. Bloque caído y volcado en Tamazulita.	186
Imagen 5-LXXVII. Bloque caído y volcado propensos a rodar con fuertes lluvias y sismos en Tamazulita	186
Imagen 5-LXXVIII. Identificación de zonas propensas a derrumbes en Ayotitlán.	187
Imagen 5-LXXIX. Bloque caído y volcado en Ayotitlán.	188
Imagen 5-LXXX. Bloque caído y volcado en Ayotitlán.	188
Imagen 5-LXXXI. Mapa de Vulnerabilidad Física para el Municipio de Tecolotlán.	191
Imagen 5-LXXXII. Mapa de riesgos por derrumbes o caídos en el Municipio de Tecolotlán.	195
Imagen 5-LXXXIII. Árboles mostrando la curvatura de troncos debida a la reptación del suelo por la inclinación de ladera.	199
Imagen 5-LXXXIV. Identificación de Crep o Reptación.	201
Imagen 5-LXXXV. Crep o Reptación producto de deslizamiento.	202
Imagen 5-LXXXVI. Ubicación del sitio donde se presentan hundimientos.	206
Imagen 5-LXXXVII. Ubicación de rasgos de hundimientos antiguos en el poblado de Tecolotlán. (Baulito).	211
Imagen 5-LXXXVIII. Modelo de hundimiento propuesto en el sitio identificado en el poblado de Tecolotlán	212
Imagen 5-LXXXIX. Esquema básico del método de resistividad.	214
Imagen 5-XC. Daños estructurales identificados.	215
Imagen 5-XCI. Evidencias de hundimientos localizadas en el sector el Baulito en la Calle 2ª de Cruz verde, poblado de Tecolotlán.	216
Imagen 5-XCII. Hundimiento en casa habitación, calle 2ª Cruz Verde.	216
Imagen 5-XCIII. Fracturamiento y Hundimiento en la calle 2ª de Cruz Verde.	217
Imagen 5-XCIV. Hundimiento en la calle Santa Cruz en el Sector el Baulito.	217
Imagen 5-XCV. Fracturamiento de Muros.	218
Imagen 5-XCVI. Material de Mala Calidad y fuga de agua por rotura de tubería en el Baulito	218
Imagen 5-XCVII. Capa vegetal con cantos rodados pequeños con matriz de material fino de mala calidad.	219

Imagen 5-XCVIII. Canto rodado con material fino.....	220
Imagen 5-XCIX. Zona propensa a fracturamiento y hundimiento en la zona baja del Baulito.	220
Imagen 5-C. Fracturamiento de muros por relleno de material de mala calidad en el Huehuentón.....	221
Imagen 5-CI. Fracturamiento en banquetta en el Huehuentón.....	222
Imagen 5-CII. Zona de hundimientos en donde se trazaron líneas geoeléctrica para el estudio Geofísico.	223
Imagen 5-CIII. Zona de hundimientos en zona baja del Baulito, donde se trazaron dos líneas geoeléctrica para el estudio Geofísico.	224
Imagen 5-CIV. Líneas de Tomografía Geoeléctrica en el Huehuentón.	225
Imagen 5-CV. Instrumento utilizado: Saris Scintrex	226
Imagen 5-CVI. Instalación-Posición del Instrumento	226
Imagen 5-CVII. Instrumento listo para inyectar corriente al terreno	227
Imagen 5-CVIII. Medición de Resistividad.	227
Imagen 5-CIX. Posición de Electrodo.....	228
Imagen 5-CX. Cambio de Posición de Cable.	228
Imagen 5-CXI. Tomogramas Geoeléctricos en la parte alta del sector el Baulito en Tecolotlán	230
Imagen 5-CXII. Línea 4 de tomografía geoeléctrica en el sector el Baulito Calle 1ra. Cruz Verde	231
Imagen 5-CXIII. Línea 5 de Tomografía geoeléctrica en el sector el Baulito- Calle 2da. Cruz Verde.	231
Imagen 5-CXIV. Tomograma en calle San Genaro Sánchez, Huehuentón, Tecolotlán.	232
Imagen 5-CXV. Tomograma en la calle San José María Roble, Huehuentón, Tecolotlán. .	232
Imagen 5-CXVI. Zona propensa a fracturamientos y hundimientos, zona baja del Baulito.	233
Imagen 5-CXVII. Mapa de peligros por hundimientos en la Cabecera Municipal.....	234
Imagen 5-CXVIII. Mapa de Vulnerabilidad Física ante la presencia de Hundimientos.	236
Imagen 5-CXIX. Mapa de riesgo por Hundimiento en la Cabecera Municipal.	241
Imagen 5-CXX. Rasgos tectónicos del bloque Jalisco.	246
Imagen 5-CXXI. Fracturamiento de roca volcánica en el Municipio Tecolotlán.....	248
Imagen 5-CXXII. Mapa de Fallas a nivel Municipal	249

Imagen 5-CXXIII. Fallas localizadas en torno a la Localidad de Quila	250
Imagen 5-CXXIV. Fallas localizadas en torno a la Cabecera Municipal.	251
Imagen 5-CXXV. Ubicación de fracturas en el Municipio de Tecolotlán.	252
Imagen 5-CXXVI. Mapa de Peligro por Fractura a nivel Municipal.	254
Imagen 5-CXXVII. Mapa de Vulnerabilidad Física para el Municipio de Tecolotlán.....	256
Imagen 5-CXXVIII. Mapa de Riesgo por Fractura para el Municipio de Tecolotlán.	261
Imagen 5-CXXIX. Identificación del peligro desde el punto de vista geológico	274
Imagen 5-CXXX. Mapa del peligro por erosión en el Municipio de Tecolotlán.....	275

Tabla 5-I. Fenómenos perturbadores naturales y químicos.....	2
Tabla 5-II. Fenómenos Geológicos que la SEDATU recomienda analizar en la zona de estudio.	5
Tabla 5-III. Perceptibilidad de Fenómenos Geológicos en el Municipio de Tecolotlán	6
Tabla 5-IV. Tipos de erupciones y naturaleza de la actividad volcánica	11
Tabla 5-V. Escala del índice de explosividad volcánica.	12
Tabla 5-VI. Registro histórico de la actividad eruptiva del Volcán Ceboruco.	23
Tabla 5-VII. Historia eruptiva del Volcán de Colima.	26
Tabla 5-VIII. Evaluación del peligro por depósito de cenizas en los principales poblados para el Municipio de Tecolotlán.	41
Tabla 5-IX. Escala modificada de Mercalli.	54
Tabla 5-X. Aceleraciones máximas para diferente periodo de retorno en el Municipio de Tecolotlán.	71
Tabla 5-XI. Aceleración Teórica Máxima ante sismos a diferentes distancia epicentral.	77
Tabla 5-XII. Relación de los Índices de Calidad para Peligro sísmico.	79
Tabla 5-XIII. Aceleraciones teóricas máximas generadas por un sismo de 8.2 grados.....	81
Tabla 5-XIV. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por sismos	97
Tabla 5-XV. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por Licuación de arenas.	99
Tabla 5-XVI. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para sismos.....	102
Tabla 5-XVII. Riesgo por Sismo para Infraestructura.....	104
Tabla 5-XVIII. Riesgo por sismo para Pob.-Viv.....	104

Tabla 5-XIX. Riesgo por Sismo – Lineal	105
Tabla 5-XX. Riesgo por Licuación de arenas para Infraestructura.....	105
Tabla 5-XXI. Riesgo por Licuación de arenas para Brechas y Caminos.....	106
Tabla 5-XXII. Riesgo por Licuación de arenas para Población	106
Tabla 5-XXIII. Matriz de riesgo por sismo	109
Tabla 5-XXIV. Matriz de riesgo por Licuación de Arenas.....	110
Tabla 5-XXV. Grados de peligro en laderas.	134
Tabla 5-XXVI. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para los deslizamientos	146
Tabla 5-XXVII. Matriz de riesgo para deslizamientos.	148
Tabla 5-XXVIII. Nivel de riesgo para la infraestructura.....	149
Tabla 5-XXIX. Nivel de riesgo para la población por localidad	149
Tabla 5-XXX. Nivel de riesgo para la población por vivienda.	150
Tabla 5-XXXI. Nivel de riesgo para elementos lineales.....	150
Tabla 5-XXXII. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por flujos.	165
Tabla 5-XXXIII. Efecto indicativo del daño por flujos.....	167
Tabla 5-XXXIV. Riesgo por flujos para infraestructura.	168
Tabla 5-XXXV. Riesgo por flujos para la población.	168
Tabla 5-XXXVI. Riesgo por flujo por predio.	169
Tabla 5-XXXVII. Riesgo por flujos para líneas.	169
Tabla 5-XXXVIII. Matriz de Riesgo.....	170
Tabla 5-XXXIX. Riesgo por derrumbe en Infraestructura.	194
Tabla 5-XL. Riesgo por derrumbe en Predios.	194
Tabla 5-XLI. Riesgo por derrumbe lineal.....	194
Tabla 5-XLII. Matriz de riesgo por derrumbes.....	196
Tabla 5-XLIII. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por Hundimientos	237
Tabla 5-XLIV. Intensidad de riesgo por hundimientos en Infraestructura.	239
Tabla 5-XLV. Población en riesgo por hundimientos.....	240
Tabla 5-XLVI. Longitud de brechas, terracerías y caminos afectables en riesgo por Hundimientos.	240
Tabla 5-XLVII. Matriz de riesgo	242

Tabla 5-XLVIII. Clasificación vulnerabilidad física y daños esperados para el peligro por Hundimientos.	257
Tabla 5-XLIX. Intensidad de riesgo por fracturas en Infraestructura.	258
Tabla 5-L. Población en riesgo por Fracturas.	258
Tabla 5-LI. Longitud de brechas, terracerías y caminos en riesgo por Fracturas.	259
Tabla 5-LII. Agricultura en riesgo por Fracturas.	260
Tabla 5-LIII. Matriz de riesgo.	262
Tabla 5-LIV. Clasificación de pendientes	269