

SEDATU
SECRETARÍA DE DESARROLLO
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



SECRETARÍA DE DESARROLLO
AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO



Atlas de Riesgos Naturales del *Municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo* 2013



Fecha: 30 de octubre de 2013
Número de avance: Entrega Final
Número de expediente: 313066PP015141
Municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo



BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.
Dirección: Primavera # 258, Colonia Álvaro Obregón
Teléfono: (01 228) 2 00 15 85 / (01 800) 001 58 52
C.P. 91060
Xalapa, Veracruz.

Contenido

1. Antecedentes e Introducción.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Objetivo.....	3
1.4. Alcances	3
1.5. Metodología General	4
1.6. Contenido del Atlas de Riesgos.....	4
2. Zona de estudio	6
2.1. Determinación de la zona de estudio.....	6
2.2. Mapa base (Topográfico).....	8
2.3. Mapa base localidad Villa de Tezontepec y 2.2b base localidad Benito Juárez.....	9
3. Caracterización de los elementos del medio natural	12
3.1. Fisiografía.....	12
3.2. Geología.....	18
3.3. Geomorfología	22
3.4. Edafología	25
3.5. Cuencas y Subcuencas	29
3.6. Hidrografía	32
3.7. Climatología.....	35
3.8. Uso de suelo y Vegetación	37
3.9. Áreas naturales protegidas	39
3.10. Problemática Ambiental	40
4. Características demográficas	43
4.1. Elementos demográficos: dinámica demográfica, distribución de población, mortalidad, densidad de población.....	43
4.2. Características sociales	46
4.3. Actividades económicas	48
4.4. Estructura urbana	49
5. Identificación de riesgos, peligros y vulnerabilidad ante fenómenos perturbadores de origen natural.....	51
5.1. Peligros Geológicos.....	51
5.1.1. Vulcanismo	51
5.1.2. Fallas y Fracturas	52

5.1.3.	Sismos.....	53
5.1.4.	Tsunamis.....	56
5.1.5.	Inestabilidad de laderas	57
5.1.6.	Flujos (lahares / avalanchas)	62
5.1.7.	Caídas, Derrumbes y Deslizamientos	63
5.1.8.	Hundimientos.....	64
5.1.9.	Subsidencia	65
5.1.10.	Agrietamientos	66
5.1.11.	Erosión.....	67
5.2.	Peligros Hidrometeorológicos	71
5.2.1.	Ondas cálidas y gélidas	71
5.2.2.	Sequías.....	74
5.2.3.	Heladas.....	79
5.2.4.	Tormentas de granizo	82
5.2.5.	Tormentas de nieve	84
5.2.6.	Ciclones tropicales.....	85
5.2.7.	Vientos	87
5.2.8.	Tornados	90
5.2.9.	Tormentas de polvo.....	91
5.2.10.	Tormentas eléctricas	92
5.2.11.	Lluvias extremas	95
5.2.12.	Inundaciones	96
5.2.13.	Vulnerabilidad física	97
5.3.	Vulnerabilidad Social	99
5.4.	Mapa de riesgos por inundación localidad Tezontepec y Benito Juárez.....	102
6.	Medidas de mitigación (obras) para riesgos geológicos e hidrometeorológicos ..	105
7.	Anexos	110
7.1.	Bibliografía	110
7.2.	Tablas de información sociodemográfica	120
7.3.	Glosario de Términos	125

1. Antecedentes e Introducción

1.1. Introducción

"... la capacidad para hacer frente a los desastres y reducirlos a fin de hacer posible y fortalecer el desarrollo sostenible de las naciones es uno de los desafíos más importantes con los que se enfrenta la comunidad internacional(Naciones Unidas, 2005)."

En el municipio de Villa de Tezontepec la ocurrencia de los embates de fenómenos naturales ha ocasionado la lamentable pérdida de vidas humanas, y millones de pesos en daños materiales sufridos en viviendas, terrenos utilizados para actividades productivas, caminos, puentes y zonas explotadas por la población para desarrollo de actividades económicas, así como la infraestructura de sus comunidades.

En la actualidad, el avance de la tecnología, aunado a modernas visiones y esquemas de coordinación, permite monitorear y detectar permanentemente muchos de los fenómenos perturbadores, y prevenir sus efectos, poniendo principal énfasis en evitar la pérdida de vidas humanas.

Esta evolución, ha generado importantes cambios en esquemas de acción en materia de protección, fomentando una transición de la reacción a la prevención; sustentados primordialmente en el conocimiento sobre el origen, manifestación e impacto de los fenómenos. Este conocimiento permite actuar para algunos fenómenos en forma temprana, con mayor eficacia operativa y buscando minimizar la pérdida de vidas y bienes materiales.

Por todo lo anterior el Municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo, ha invertido un gran esfuerzo y recursos para presentar este **Atlas de Riesgos**, que representa una aplicación de la estrategia de prevención y mitigación de los riesgos de forma práctica y precisa.

A través de este Atlas, las autoridades encargadas de la protección civil, la población en general y científicos y académicos podrán identificar los diferentes peligros que afectan el territorio municipal, así como la frecuencia y el impacto que pueden generar estos acontecimientos en la población y sus bienes.

El uso pertinente y adecuado de este Atlas permitirá establecer las acciones de protección necesarias para la prevención y mitigación de riesgos en todos los niveles de gobierno y la sociedad, ya que contiene de manera clara la identificación de cada uno de los peligros que históricamente han afectado el territorio municipal y las estrategias de prevención y/o mitigación en caso de presentarse dichos acontecimientos.

A lo largo del mismo, podrá encontrar los elementos que conforman el medio natural del municipio, posteriormente se presenta la descripción de las condiciones de vida de los habitantes por medio de indicadores sociodemográficos. La parte medular del presente documento, muestra los fenómenos perturbadores de origen geológico e hidrometeorológico que afectan el territorio municipal, cada uno con una descripción detallada y un mapa que permite ubicar fácilmente las localidades afectadas.

Luego de la descripción de los fenómenos perturbadores, se muestra un estudio de vulnerabilidad de la población y finalmente, la propuesta de obras y acciones de mitigación contra los diferentes peligros señalados.

1.2. Antecedentes

En el Municipio de Villa de Tezontepec, la existencia de peligros y riesgos naturales ha sido constante debido a su ubicación geográfica y a las condiciones de desarrollo de su población, lo cual ha desembocado en un estado de riesgo constante, generando lamentables pérdidas.

Los fenómenos que han afectado de manera recurrente a los habitantes de esta demarcación municipal en los últimos años, desafortunadamente han causado la pérdida de vidas humanas y materiales, mismas que han afectado la tranquilidad, economía y estabilidad de los habitantes de este municipio del Estado de Hidalgo.

De acuerdo las declaratorias de contingencia y emergencia emitidas por el Gobierno Federal, y diversas fuentes, entre las que se encuentran autoridades y habitantes del municipio, los peligros que más afectan el territorio municipal de Villa de Tezontepec son: heladas, inundaciones, sequía, deslizamientos, flujos, erosión, entre otros.

A continuación se muestra una serie de eventos que han afectado severamente a la población de Villa de Tezontepec y sus bienes

- ✓ DESBORDAMIENTO DE RIO. Mayo 2004. Fuertes lluvias provocaron el desbordamiento del río San Ignacio afectando cultivos, caminos de terracería y vehículos.
- ✓ HELADAS. Octubre 2008. La helada registrada afectó el cultivo de frijol en el municipio de Villa de Tezontepec.
- ✓ INCENDIOS. Agosto, 2010. Un incendio en una fábrica del municipio de Villa de Tezontepec se registró en la madrugada del jueves 26 de agosto, causando daños a la infraestructura.
- ✓ HELADAS. Octubre 2010. 960 hectáreas de cebada, 40 de maíz y 15 de frijol fueron dañadas por las heladas registradas, informó personal de la delegación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) en Hidalgo.
- ✓ HELADAS. Septiembre 2011. La Secretaría de Gobernación emitió la declaratoria de desastre natural tras las heladas registradas los días 9 y 10 de septiembre en 11 de los municipios de Hidalgo, entre los que se encuentra Villa de Tezontepec.
- ✓ INUNDACIONES. Septiembre 2011. Tras fuertes lluvias registradas en el municipio de Villa de Tezontepec y otros municipios, se registraron zonas inundadas que fueron atendidas por la CONAGUA, estas inundaciones afectaron infraestructura y 300 hectáreas de cultivos.
- ✓ DERRUMBE. Julio 2012. Muere un trabajador tras derrumbe en los bordes de mina de arena en el municipio de Villa de Tezontepec.
- ✓ INUNDACIONES. Julio 2013. Tras fuertes lluvias varios jagüeyes se desbordaron, afectando varias calles de la cabecera municipal.

Como se aprecia en la tabla anterior, la frecuencia con la que los fenómenos perturbadores de origen natural y antrópico, alcanzan proporciones de desastre en el municipio de Villa de Tezontepec es muy representativa. Por esta razón es necesario llevar a cabo acciones de ayuden a preparar a la población para actuar en caso de contingencia, especialmente la población que por diversas razones ha establecido sus lugares de residencia en sitios no aptos para el establecimiento de asentamientos humanos.

Fundamentos jurídicos del Atlas de Riesgos

Tener conocimiento del marco jurídico que respalda la formulación del Atlas de Riesgos Municipal constituye el mejor instrumento con el que la administración pública cuenta para promover un esquema de trabajo apegado al derecho, razón por lo cual se hará referencia a los preceptos más importantes.

El Atlas de Riesgos Municipal tiene como referentes las siguientes bases legales:

- Ley General de Protección Civil
- Ley General de Asentamientos Humanos
- Ley de Aguas Nacionales
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
- Ley de Protección Civil para el Estado de Hidalgo

1.3. Objetivo

A continuación se presentan los objetivos planteados en la elaboración de este Atlas Municipal de Riesgos.

Objetivos Generales

- Elaborar un documento que permita identificar los riesgos potenciales a partir de los diversos peligros existentes en el municipio de Villa de Tezontepec y que pueden afectar a la población, la infraestructura y a los recursos naturales del mismo.
- Proporcionar la base técnica para la creación de estrategias de prevención y mitigación de los riesgos a nivel integral en el municipio.

Objetivos específicos

- Recopilar la documentación técnica referente al municipio de Villa de Tezontepec y que sea aplicable en la prevención de desastres a nivel municipal: documentación jurídica e histórica.
- Analizar y describir los elementos que conforman el medio natural y sociodemográfico del municipio de Villa de Tezontepec.
- Integrar un documento donde se identifiquen los diversos peligros naturales a los que se encuentra expuesta la población del municipio de Villa de Tezontepec, las zonas de riesgo (ZR) existentes y las zonas de conflicto en las que la ocupación y el aprovechamiento del suelo resulten incompatibles con los peligros detectados.
- Generar las recomendaciones y propuestas de obras y acciones de mitigación y gestión del riesgo en el municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo.

1.4. Alcances

Con el Atlas de Riesgos del Municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo, las autoridades tendrán a su disposición un instrumento con el cual podrán tomar las decisiones más acertadas en materia de prevención y mitigación de los riesgos provocados por los fenómenos perturbadores de origen natural.

Asimismo, contarán con los mecanismos que les permitan normar los distintos usos actuales y futuros del suelo, señalando los límites de crecimiento, estipulando los programas prioritarios para

que el centro de población tenga un proceso de crecimiento ordenado, seguro y estable, con la finalidad de alcanzar las mejores condiciones de vida para los habitantes de Villa de Tezontepec.

1.5. Metodología General

La base fundamental para poder realizar un diagnóstico conveniente de los riesgos presentes en los asentamientos humanos y su entorno, es el conocimiento científico de los fenómenos que afectan una región, además de poder realizar una estimación del impacto y consecuencias que éstos pueden ocasionar. Dichas consecuencias dependen de la infraestructura existente en la zona, así como las características sociodemográficas de los asentamientos en el área de análisis.

Debido a la importancia que conlleva ejecutar acciones que coadyuven a preservar el bienestar de los habitantes de una región, se menciona a continuación de manera general el proceso metodológico utilizado en la elaboración de este Atlas Municipal de Riesgos:

1. Recopilación de información bibliográfica e histórica del municipio en estudio.
2. Análisis detallado de las características del medio natural que conforman el territorio municipal y su entorno.
3. Estudio minucioso de las condiciones sociodemográficas de los habitantes del municipio, destacando los procesos de expansión de las áreas urbanas y de ocupación de las zonas de riesgo.
4. Identificación del origen de los peligros del medio natural que afectan al municipio en estudio.
5. Análisis detallado de las zonas afectadas por los diferentes peligros identificados en el punto anterior. Dicho análisis se hará realizando mediciones de campo utilizando dispositivos de posicionamiento global, análisis de imágenes de satélite, fotografías aéreas y con evidencia cuya fuente sean los datos proporcionados por los habitantes de las zonas en estudio.
6. Elaboración de cartografía digital con las diferentes Zonas de Riesgo (ZR) identificadas ante los diversos peligros o fenómenos perturbadores que afecten el territorio municipal.
7. Estudio de vulnerabilidad hacia los diferentes fenómenos identificados.
8. Determinación de los niveles de riesgo y grado de exposición de la población hacia los diferentes riesgos identificados.
9. Cálculo de los niveles de riesgo ante los diferentes peligros encontrados, tomando como base los niveles de exposición, peligro y vulnerabilidad social identificados en los pasos anteriores.
10. Elaboración de cartografía digital con los niveles de riesgo ubicados en el territorio municipal.
11. Diseño de propuestas de obras y acciones de mitigación para los riesgos identificados en pasos anteriores.
12. Elaboración de cartografía digital con la ubicación de las obras y acciones que mitiguen los riesgos estudiados en pasos anteriores.

1.6. Contenido del Atlas de Riesgos

El Atlas Municipal de Riesgos de Villa de Tezontepec, Hidalgo, se conforma de la siguiente manera:

- **Introducción y antecedentes**

Contiene una breve explicación de las problemáticas relacionadas con los peligros de origen natural que a nivel histórico y a la fecha se presentan en el municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo.

- **Determinación de la zona de estudio**

Delimitación de la zona en estudio a través de la descripción de la región a la que pertenece el municipio a nivel de cuencas hidrológicas, a nivel de definición poligonal de

los límites y ubicación dentro del estado, y finalmente a través de la descripción de las localidades por medio de la traza urbana. Para cada uno de los niveles mencionados anteriormente se presentan mapas que permiten identificar cada uno de los elementos explicados.

- **Caracterización de los elementos del medio natural**

En este apartado se analizan los elementos que conforman el medio físico de la zona de estudio, a partir de las características naturales de la zona. Los temas descritos son: fisiografía, geología, geomorfología, edafología, hidrología, climatología, uso de suelo y vegetación, áreas naturales protegidas y problemática ambiental. Para cada uno de los temas citados anteriormente se presenta un mapa con su descripción detallada.

- **Caracterización de los elementos, sociales, económicos y demográficos**

Esta sección del documento integra una breve caracterización general de la situación demográfica, social y económica de la zona de estudio con indicadores básicos que revelan las condiciones generales del estado que guarda el municipio. Para los diversos factores de la dinámica social descritos en este apartado se incluye un mapa que los describe.

- **Identificación de riesgos, peligros y vulnerabilidad ante fenómenos perturbadores de origen natural**

Contiene la información sobre el análisis de cada uno de los fenómenos perturbadores de origen natural, área de ocurrencia y grado o nivel de impacto, determinando la vulnerabilidad social de las poblaciones expuestas a esas amenazas; una vez ubicadas las zonas de riesgo se presentan las propuestas de obras y acciones que coadyuvarán a disminuir el riesgo, así como los estudios que detallen los niveles de riesgo o peligro.

2. Zona de estudio

2.1. Determinación de la zona de estudio

El análisis de los fenómenos peligrosos para la elaboración del Atlas de Riesgos de Villa de Tezontepec requirió una aproximación a diferentes escalas, las cuales se determinaron tomando en consideración la importancia y comportamiento de cada fenómeno, por lo que éstas van desde la escala regional hasta la local. Por otro lado, el nivel de análisis de cada peligro se encuentra determinado por la complejidad del mismo, por lo que varía desde el nivel 3 hasta el nivel 4, en relación a los niveles de análisis establecidos por SEDATU (2013).

El municipio de Villa de Tezontepec se encuentra embebido en el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) el cual representa el arco volcánico neogénico más grande de Norteamérica, extendiéndose aproximadamente 160,000 km², en una longitud de casi 1000 km, desde la zona más austral del rift en el Golfo de California, formado hace aproximadamente 3.6 Ma (Lonsdale, 1991) hasta la cuenca oceánica del Golfo de México, la cual comienza su formación en el Jurásico (Pindell *et al.*, 2006; Stern and Dickinson, 2010).

El CVT se considera el episodio más reciente de actividad magmática continental continua durante un periodo largo de tiempo, ya que desde el Jurásico produjo una serie de arcos volcánicos parcialmente sobrelapados, como resultado de la subducción de la placa de El Farallón debajo del margen oeste de la República Mexicana (Ferrari, 2012).

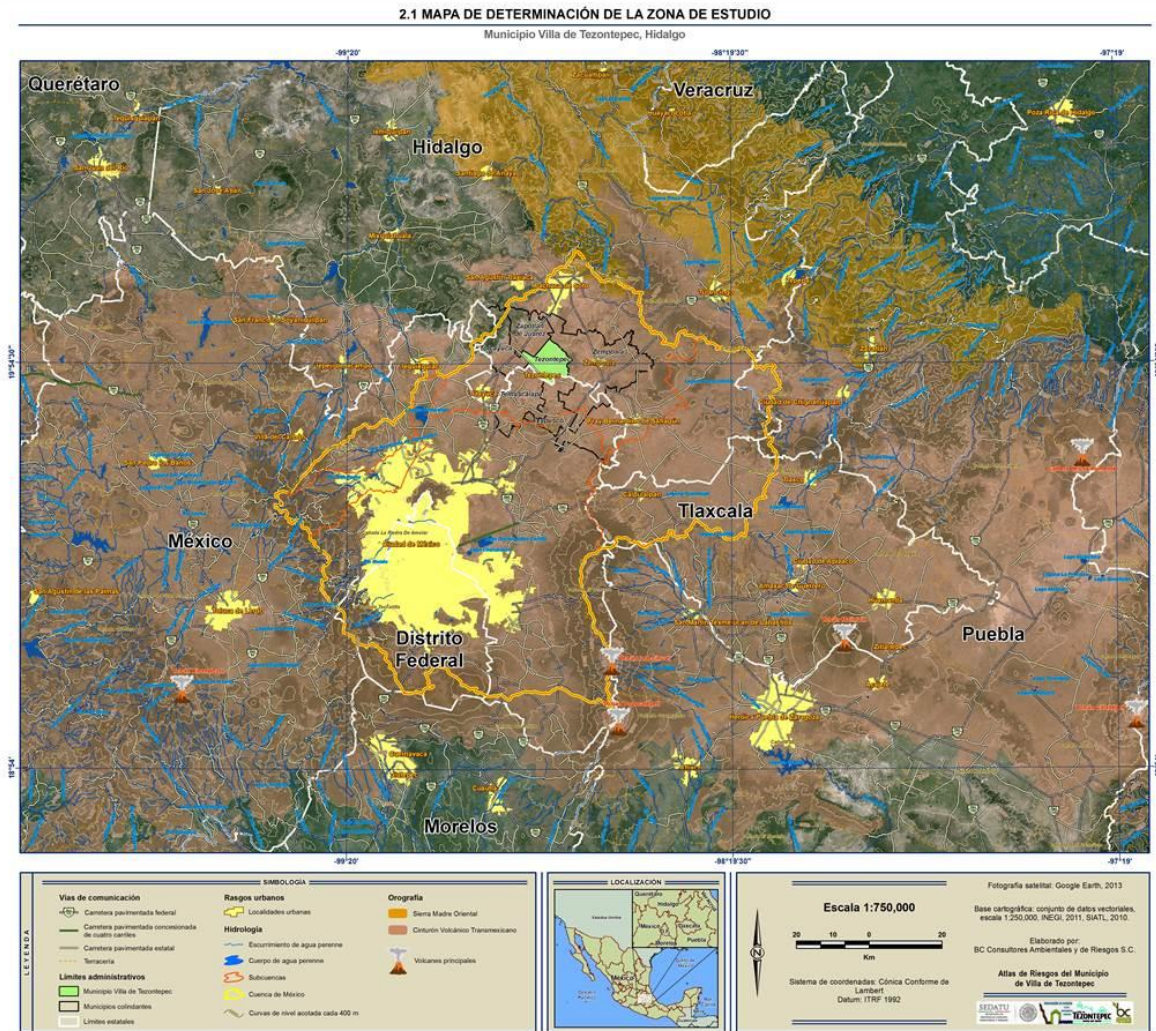
A 19 km del municipio aproximadamente, en dirección noreste, comienza la Sierra Madre Oriental, cuyo relieve se debe a la deformación de rocas mesozoicas y de su complejo basal durante la Orogenia Laramide (Eguiluz, S *et al.*, 2000).

Hidrogeográficamente, Villa de Tezontepec se encuentra en la Cuenca de México, la cual se constituye como una amplia altiplanicie rodeada por montañas volcánicas, con una altura promedio de 2,240 metros sobre el nivel del mar (msnm) (De-Cserna *et al.*, 1988; Zamorano-Orozco *et al.*, 2002) y que en algunas áreas, como en el municipio al que se aboca el presente estudio, alcanza 2900 msnm. La Cuenca de México se encuentra en el borde meridional de la Mesa Central del Sur, presenta una elongación NNE – SSW y posee una longitud aproximada de 100 km y una anchura de 30 km, delimitada en el norte por la Sierra de Pachuca, en el este por la Sierra de Río Frío y la Sierra Nevada, en el sur por la Sierra de Chichinautzin y en el oeste por el volcán Ajusco y la Sierra de Las Cruces.

La Cuenca de México es una cuenca endorreica de desagüe artificial, la cual se formó al cerrarse el Valle de México debido al flujo de magmas andesítico-basálticos emanados en la formación de la Sierra Chichinautzin (De-Cserna *et al.*, 1988). Los cuerpos de agua más importantes contenidos en ésta son el Lago Zumpango y el Lago Doctor Nabor Carrillo, los cuales se ubican al norte y este de la ciudad de México, respectivamente.

Recientemente, la Cuenca ha sido objeto de abundantes investigaciones, debido a su importancia geológica, hidrológica y geográfica, ya que contiene a la ciudad más poblada de la República Mexicana, sin embargo algunos de sus centros volcánicos han sido hasta la fecha, vagamente descritos, tal es el caso del complejo dómico Los Pitos, el cual ocupa gran parte del territorio de Villa de Tezontepec.

Mapa 1. Determinación de la Zona de Estudio



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

2.2. Mapa base (Topográfico)

Villa de Tezontepec es un municipio perteneciente al estado de Hidalgo, México, se ubica entre los paralelos 19° 53´ de latitud norte y 98° 49´ de longitud oeste, a una altitud promedio de 2,340 metros sobre el nivel del mar en la planicie y hacia El Cerro El Picacho a 2,900 msnm. Colinda al norte con Zempoala y Zapotlán; al sur con el Estado de México; al este con Zempoala y Estado de México, y al Oeste con Tolcayuca y Zapotlán. Los centros poblados del municipio son: la cabecera municipal, dos cabeceras de menor importancia y doce localidades menores. Siendo las principales: Colonia Morelos, Colonia Guadalupe, La Cantera y Acozac. El municipio cubre un área de 90.65 km², se encuentra aproximadamente a 70 kilómetros de la estación de metro Indios Verdes en la Ciudad de México.

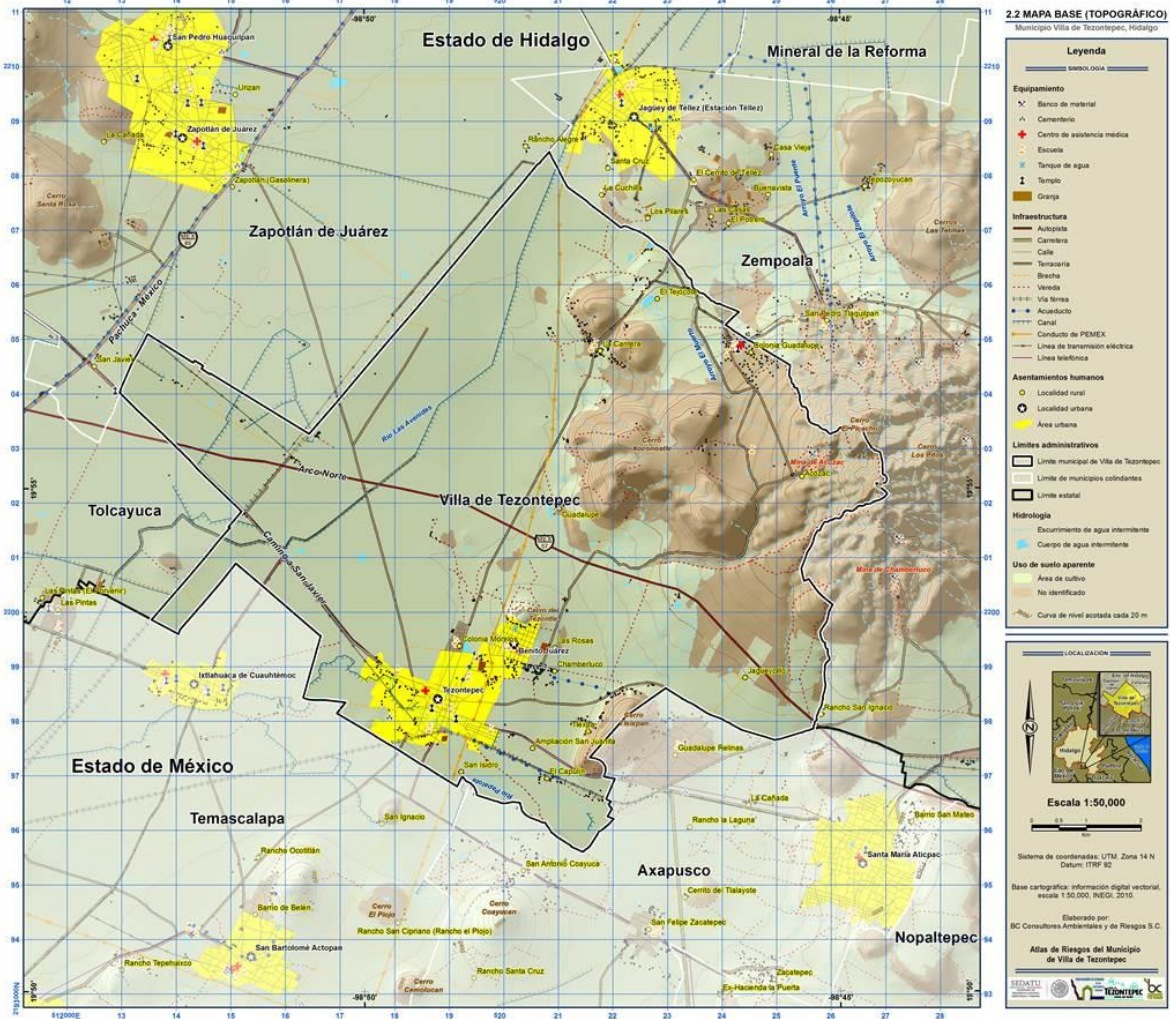
Las características orográficas del municipio de Tezontepec se encuentran situadas dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano, su territorio es poco accidentado por lo que se compone de una extensa planicie rodeada de pequeños domos volcánicos monogenéticos que en su mayoría son utilizados para la extracción de minerales y otro tipo de rocas. En lo que concierne a las condiciones hidrográficas del municipio este se haya dentro de la subcuenca del río Tezontepec perteneciente a la cuenca México (Ver mapa de cuencas y subcuencas) los escurrimientos de esta subcuenca son de carácter intermitente por lo que el único cuerpo de agua perenne es el río Papalote que atraviesa de oeste a sur la cabecera municipal.

Los suelos son variados en Villa de Tezontepec, se encontraron ocho tipos diferentes (Ver mapa edafológico) en su mayoría ricos en materia orgánica y de nutrientes, por lo que son empleados principalmente para uso agrícola y de pastoreo.

Las condiciones demográficas del municipio existe una población total de 11,654 habitantes (INEGI, 2010) establecidos en 15 localidades de las cuales sólo la cabecera municipal y Benito Juárez son urbanas el resto consideradas de índole rural, pero se destaca la presencia de dos localidades rurales que concentran un número mayor a 1,000 habitantes; como son la Colonia Guadalupe y Morelos.

La infraestructura y accesos a Villa de Tezontepec son importantes debido a que tiene enlaces a la capital Hidalguense, mismos que a su vez comunican con la Ciudad de México y otras ciudades importantes al norte del estado con la carretera Km 85, cabe destacar que por Tezontepec atraviesa la autopista Arco Norte de reciente construcción registrada con el kilometro 57 y tiene comunicación con las ciudades de San Martín Texmelucan, Puebla, Toluca y el enlace a la autopista México - Querétaro.

Mapa 2. Mapa base



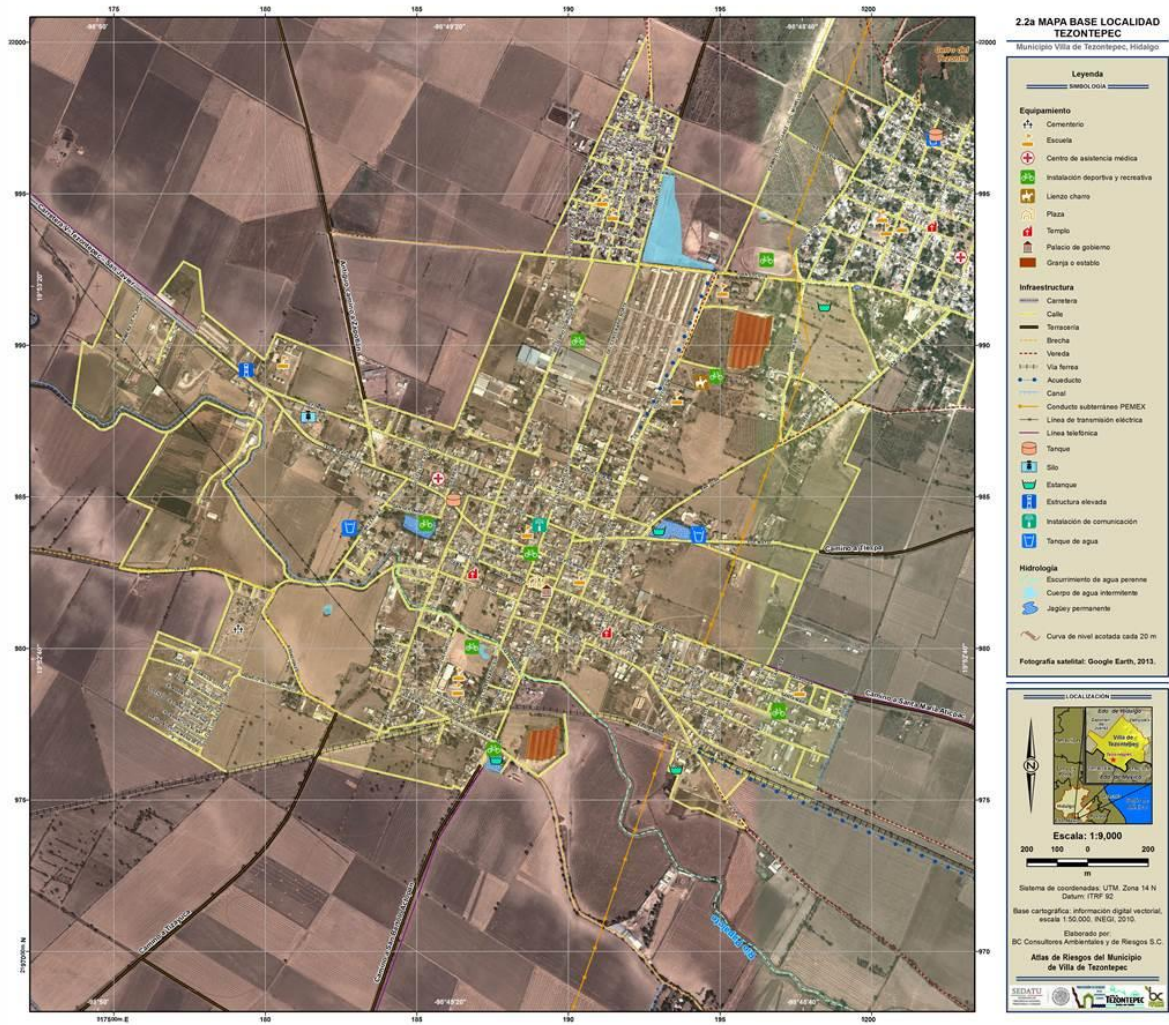
Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

2.3. Mapa base localidad Villa de Tezontepec y 2.2b base localidad Benito Juárez

Ante las condiciones geográficas del municipio están consideradas dos localidades urbanas de mayor importancia, Villa de Tezontepec y Benito Juárez pero se considera importante la Colonia Morelos debido a que forma parte de la conurbación de estas ciudades. Situadas entre el rango altitudinal de los 2,320 hasta los 2,360 msnm. Villa de Tezontepec alberga una población de 5,214 habitantes, mientras que Benito Juárez con 2,792 habitantes para generar un total de 8,006 habitantes, entre estas dos localidades urbanas, pero tomando en cuenta la Colonia Morelos con sus 1,284 pobladores generan un total de 9,290 habitantes. Lo que equivale el 80% del total de la población del municipio.

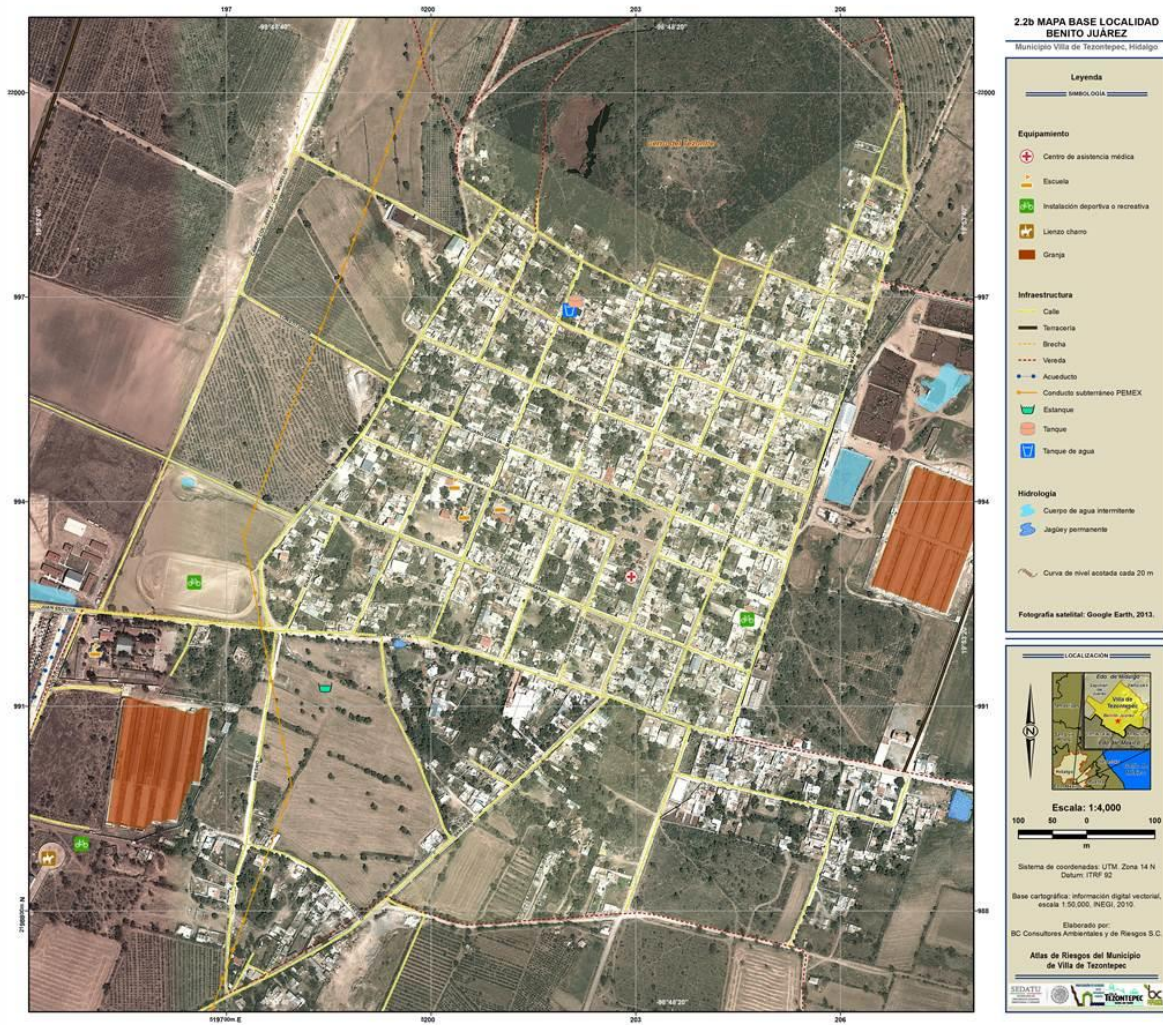
Villa de Tezontepec cabecera del municipio, es la localidad más grande por lo que su infraestructura vial y servicios es muy importante para la necesidad de sus habitantes, además cuenta con accesos principales con sus respectivas carreteras a otros municipios del estado como Zapotlán de Juárez, San Pedro Huaquilpan, El Jagüey de Tellez y Tizayuca y hacia el estado de México con Santa María Atipac, Ixtlahuaca de Cuauhtémoc y San Bartolomé Actopan.

Mapa 3. Mapa base localidad Villa de Tezontepec



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Mapa 4. Mapa base localidad Benito Juárez



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

3. Caracterización de los elementos del medio natural

En este apartado se analizarán los elementos que conforman el medio físico del municipio de Villa de Tezontepec. Para cada uno de los elementos descritos, se puede encontrar en el Anexo Cartográfico un mapa que muestra la distribución de los componentes mencionados.

3.1. Fisiografía

La caracterización de las unidades fisiográficas en el municipio de Villa de Tezontepec, está basada en la conjunción de rasgos de clima, geología, geoformas, morfología, edafología y vegetación.

En la conformación de las unidades se tomó como referencia principal, las características predominantes de los rasgos naturales anteriormente mencionados. Derivado de esto, como resultado se obtuvieron quince unidades, que se describen a continuación:

Montaña volcánica con cultivos

Se ubica principalmente al este del municipio, cubre un área aproximada de 0.90 km², lo cual representa el 0.1 % del área del municipio. Está formada por un relieve exógeno acumulativo, con geoforma de domo volcánico. Se caracteriza por ser zona de recarga y presentar un clima semiárido templado, esta unidad presenta elevaciones que oscilan entre 2600 a 2900 msnm.

Montaña volcánica con matorrales

Esta unidad se ubica al centro y este del municipio, cubre un área aproximada de 8.6 km², lo cual representa el 9.5% del área del municipio. Está conformada por suelos de tipo Regosol y Durisol léptico. La cobertura vegetal es secundaria, donde predomina el matorral crasicaule y agricultura de temporal. Se caracteriza por ser zona de escurrimiento hídrico y contar con un clima semiárido templado. La elevación de esta unidad oscila entre 2400 a 2900 msnm.

Colina volcánica con cultivos

Se localiza al norte y centro del municipio, cubre un área aproximada de 0.098 km², lo cual representa el 0.1% del área del municipio. Esta unidad se caracteriza por su la formación geológica, además, funciona como una zona de escurrimiento hídrico, donde predomina un clima semiárido templado. La unidad cuenta con un uso de suelo donde predominan los cultivos de temporal. Presenta elevaciones que oscilan entre 2300 a 2340 msnm.

Colina volcánica con matorrales

Esta unidad se localiza al noreste de la cabecera municipal. Cubre un área de 0.4 km², lo cual representa 0.2% del área del municipio. Se caracteriza por su relieve endógeno, con formación de cono de escoria. El clima es semiárido templado y predomina el matorral crasicaule, con una altitud que oscila entre 2260 a 2300 msnm.

Planicie de piedemonte fluvial con cultivos

Esta unidad se encuentra ubicada al sureste del municipio. Tiene un área de 11.1 km², lo cual representa 12.3% del área del municipio. Esta unidad se caracteriza por el relieve endógeno acumulativo, con una geoforma de abanico aluvial. El suelo que conforma esta unidad es tipo, Vertisol Háptico, donde predomina la agricultura de temporal. Se caracteriza por ser zona de escurrimiento hídrico y contar con un clima semiárido templado. La elevación de esta unidad oscila entre 2340 a 2600 msnm.

Piedemonte fluvial con matorrales

Se localiza al noreste de la cabecera municipal, cubre un área aproximada de 0.96 km², lo cual representa el 1% del área del municipio. Está formado por flujo piro clástico, con un tipo de suelo

Durisol Háplico. En esta unidad se cuenta con un clima semiárido templado, además, de ser una zona de escurrimiento hídrico. La elevación oscila entre 2500 a 2640 msnm.

Planicie de piedemonte volcánicos con cultivos

Se ubica al centro y noreste del municipio, Tiene un área aproximada de 7.3 km², lo cual representa el 8% del área del municipio. Se caracteriza por su relieve exógeno acumulativo. Predominan los suelos Regosol Háplico, Durisol Léptico y Vertisol Háplico. Cuenta con un clima semiárido templado, además, es una zona de escurrimiento hídrico. La elevación oscila entre 2400 a 2500 msnm.

Lomerío volcánico con matorrales

Se localiza al norte del municipio. Cubre un área de 1.8 km², lo que representa el 2% del área del municipio. Esta unidad se caracteriza por el relieve endógeno acumulativo, con una geoforma de cono de escoria. El suelo que conforma está unida es tipo, Regosol Léptico, donde predomina la agricultura de temporal. Se caracteriza por ser zona de escurrimiento hídrico y contar con un clima semiárido templado. La elevación de esta unidad oscila entre 2320 a 2600 msnm.

Planicie ondulada volcánica con cultivo

Se localiza al centro y norte del municipio. Cubre un área de 10.2 km², lo que representa el 11.3% del área del municipio. Se caracteriza por su relieve endógeno, con existencia de coladas de lava. Esta unidad está conformada principalmente por agricultura de temporal y hacia la parte sur asentamientos humanos. Cuenta con un clima semiárido templado y una elevación que va de los 2320 a 2600 msnm.

Planicie ondulada volcánica con asentamientos humanos

Localizada al sur del municipio. Tiene un área aproximada 0.6 km², lo que representa el 0.7% del área del municipio. Se caracteriza por su relieve endógeno, con existencia de coladas de lava. Esta unidad se caracteriza por la presencia de asentamientos humanos. El clima es semiárido templado, con una elevación que oscila entre 2340 a 2400 msnm.

Llanura fluvial con cultivos

Esta unidad se localiza oeste y sur del municipio. Cubre un área de 10 km², lo que representa el 11% del área del municipio. Forma parte de la planicie fluvio-lacustre; con una cobertura total de agricultura de temporal. El clima es semiárido templado, y tiene una elevación que va de los 2320 a 2340 msnm.

Llanura fluvial con asentamientos humanos

Se ubica al sur del municipio. Cubre un área de 0.9% km², lo que representa el 1% del área del municipio. Esta unidad está conformada por asentamientos humanos. El clima es semiárido templado

Planicie subhorizontal fluvial con cultivos

Se distribuye de la mitad del municipio hacia el oeste. Cubre un área de 35.4 km², lo que equivale al 39.1% del área del municipio. Esta unidad está conformada principalmente por agricultura de temporal y asentamientos humanos. Cuenta con un clima semiárido templado y una elevación que va de los 2300 a 2400 msnm. Además, de considerarse una zona de recepción e infiltración hídrica. Las pendientes son suaves de 0 a 5 grados de inclinación.

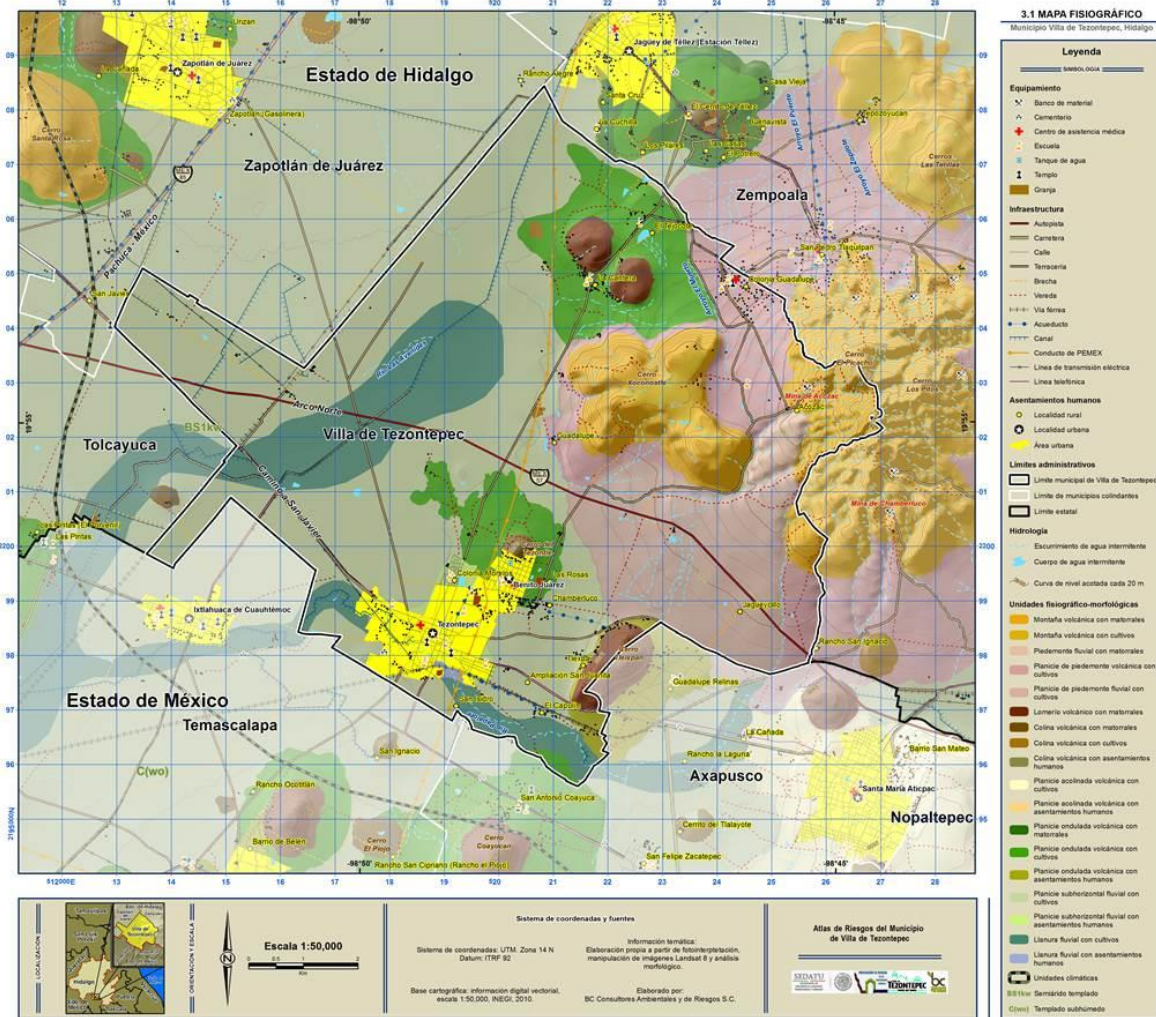
Planicie ondulada volcánica con matorrales

Esta unidad esta se localiza al norte del municipio. Cubre una superficie 125 m². Su clima es semiárido templado, y predomina la agricultura de temporal.

Planicie subhorizontal fluvial con cultivos

Se ubica al sur del municipio. Cubre un área de 2.2 km², lo que representa el 2.5% del área del municipio. El uso de suelo predominante es el asentamiento humano. El clima es semiárido templado, además, presentar una elevación que oscila 2300 a 2340 msnm.

Mapa 5. Mapa Fisiográfico



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Altimetría

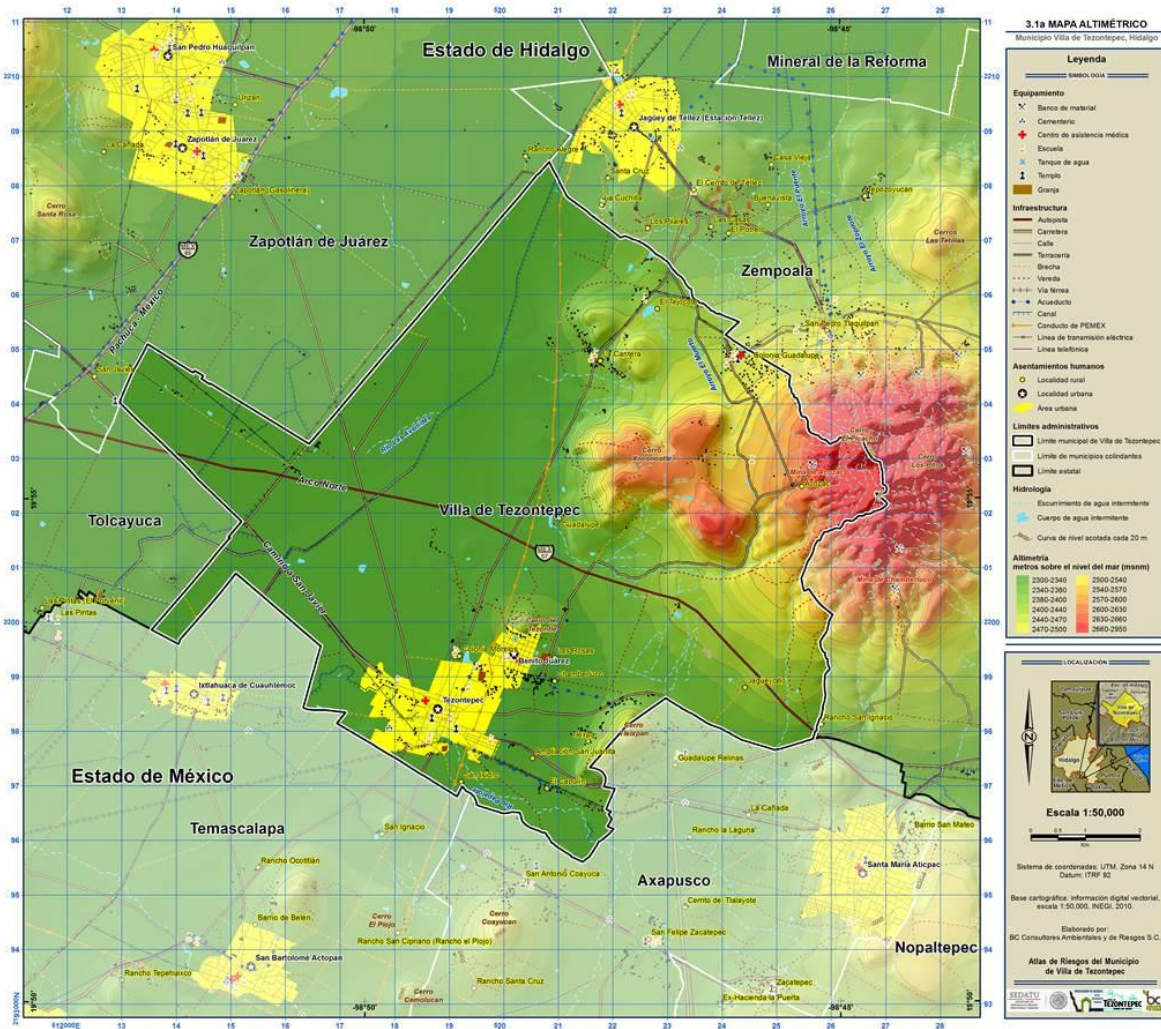
Tal como se muestra en el Mapa altimétrico, el municipio de Villa de Tezontepec, presenta un rango altitudinal que oscila entre los 2300 y 2950 metros sobre el nivel del mar (msnm). Aunque existe poca diferencia altitudinal, el territorio del municipio cuenta con algunas elevaciones importantes, tales como el Cerro Tleixpan el cual evidencia 2470 msnm, el Cerro Xoconostle a 2630 msnm y Cerro El Picacho el cual posee 2950 msnm.

Hacia el sur y este del municipio el rango altitudinal es de 2300 a 2440 msnm, en donde se forma una extensa planicie aluvial (Mapa geomorfológico), sobre la cual se encuentran la cabecera municipal y las localidades de Benito Juárez, Colonia Morelos, Las Rosas, Chamberluco, Tleixa, Ampliación San Juanita, El Capulín y San Isidro.

Al norte, la localidad de La Cantera se encuentra a 2370 msnm, El Tejocote a 2410 msnm y la Colonia Guadalupe está situada a 2480 msnm, mientras que al este la localidad de Acozac se encuentra a 2620 msnm. En la parte central del municipio la localidad Guadalupe se encuentra a 2340 msnm y al sureste la localidad de El Jagüeycillo a 2400 msnm (Mapa altimétrico).

Cabe mencionar que a pesar de no encontrarse dentro del municipio, también existen elevaciones relevantes en las inmediaciones del territorio municipal, donde destacan los cerros Santa Rosa con 2480 msnm localizado en el municipio de Zapotlán de Juárez, Las Tetillas con 2560 msnm y Los Pitos con 2840 msnm pertenecientes al municipio de Zempoala; El Piojo con 2360 msnm y Cemolucan con 2420 msnm ubicados en el territorio de Temascalapa; y finalmente el cerro Coayucan con 2500 msnm situado en el municipio de Axapusco.

Mapa 6. Mapa Altimétrico



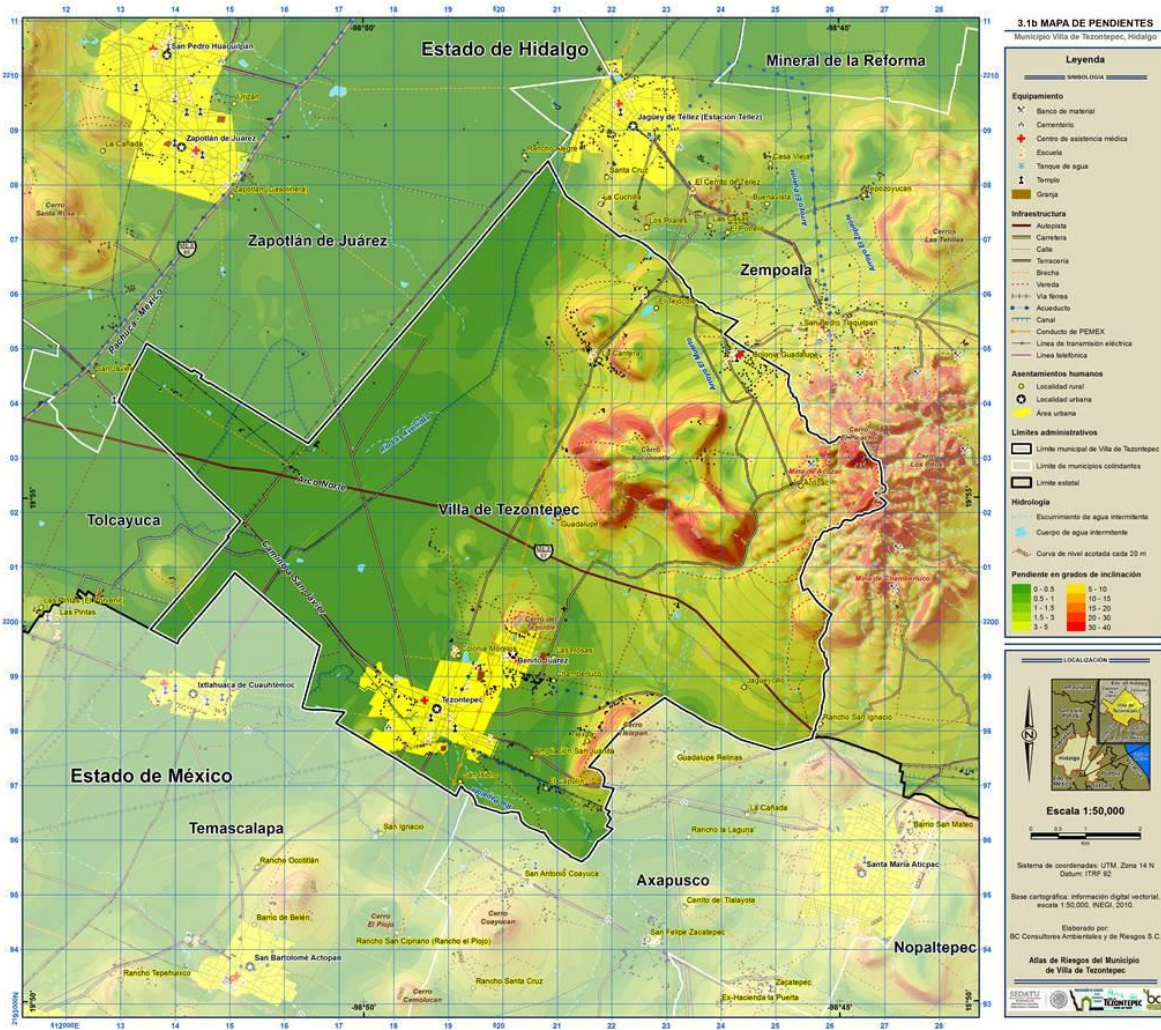
Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Pendientes

La inclinación de las pendientes en el municipio de Villa de Tezontepec, cubre un rango de 0° a 40° de inclinación, sin embargo cuenta con elevaciones importantes en el margen central y oriental. En la parte plana del municipio, donde predominan el uso de suelo agrícola y los asentamientos humanos, las pendientes varían de 0° a 3°. Las zonas con mayor pendiente se localizan al noreste, este y sureste del municipio. Al noreste se identifica una elevación en la localidad La Cantera cuyas pendientes oscilan entre los 5° y 30° y donde se identifica vegetación de matorral crasicaule (Mapa de uso de suelo y vegetación). Seguido, en la vertiente este se identifican las dos elevaciones con los mayores rangos altimétricos, estas son el cerro Xoconostle y el cerro Picacho, ambas presentan un grado de inclinación de la pendiente que va de 5 a 40 y donde convergen la vegetación de matorral crasicaule, el aprovechamiento minero y algunas fracciones de agricultura de temporal, así como las localidades de Acozac y Guadalupe. Al sureste del municipio se localiza el cerro Tleixpan donde la pendiente oscila entre los 3° y los 30° de inclinación, en su base se encuentra la localidad de Tleixa y algunos asentamientos humanos dispersos.

Finalmente, al sur del municipio se identifica una elevación que no sobrepasa los 20° de inclinación, en cuya base se ubica la localidad Benito Juárez, la cual se expande sobre sus laderas.

Mapa 7. Mapa de Pendientes



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

3.2. Geología

Mediante el análisis geológico del municipio de Villa de Tezontepec, se identificaron tanto la distribución y las relaciones estructurales de las unidades litológicas, así como su composición y depositación. La importancia de este estudio radica en la función que se le da al identificar la relación del comportamiento del sustrato litológico con diversos fenómenos naturales que puedan traducirse como peligros para la sociedad.

El análisis litológico se elaboró a partir de la interpretación de fotografías aéreas, imágenes satelitales y trabajo de campo, además del trabajo de Zamorano-Orozco et al. (2002) en el que se abocan al estudio de la evolución geológica y geomorfológica del complejo dómico Los Pitos, situado al noreste de la cabecera municipal de Villa de Tezontepec y que ha tenido una influencia muy significativa en el desarrollo de la geología y por ende de la geomorfología de la zona de estudio; también se recabó información de la carta geológico-minera Ciudad de México, clave E14-2, escala 1: 250,000, elaborada por el Servicio Geológico Mexicano en el año 2002, así como del apoyo de otros trabajos previos como los de Segerstrom (1961), De-Cserna et al. (1988) y Mooser et al. (1996).

El Mapa Geológico, muestra las características geológicas del municipio de Villa de Tezontepec, su explicación se detalla en los párrafos siguientes.

En la superficie del municipio de Villa de Tezontepec sólo afloran rocas volcánicas y materiales derivados de éstas, fechadas en el Plioceno-Cuaternario (Zamorano-Orozco et al., 2002).

En el trabajo desarrollado por Zamorano-Orozco y colaboradores (2002) explican una serie de etapas sobre el desarrollo del complejo volcánico Los Pitos. La primera ocurre a fines del Plioceno (Segerstrom, 1961; Mooser et al., 1996) cuando se producen las primeras manifestaciones volcánicas que dan lugar a una primera generación de domos riolíticos, acompañados de la emisión de lavas y piroclastos que se depositaron al pie de los domos formando grandes abanicos volcánicos.

La segunda etapa representa la formación de otra generación de domos de composición también riolítica, los cuales se emplazan sobre los anteriores, destruyendo parcialmente su estructura.

La tercera etapa se caracteriza por la última generación de domos riolíticos, con lo cual son destruidos los de la primera etapa y los de la segunda comienzan a deteriorarse.

La cuarta etapa comienza en el Pleistoceno (Segerstrom, 1961; Mooser et al., 1996) con una nueva fase de actividad volcánica que origina derrames de lava andesítica con intercalaciones de piroclastos y escoria, a los que se asocian una serie de conos de escoria que en conjunto constituyen las denominadas estructuras volcánicas menores que rodean al complejo dómico Los Pitos.

Finalmente, la quinta etapa marca un ciclo en el cual, al cesar la actividad volcánica en el cerro Los Pitos y en las estructuras volcánicas menores, inicia un periodo controlado por completo por los procesos exógenos, relacionados sobre todo con una intensa actividad de la arroyada concentrada que forma una densa red de barrancos. Asimismo, se forman las planicies constituidas por aluvión proveniente del antiguo Río de las Avenidas, de la Sierra de Pachuca, que escurría al oriente, mientras se forman otras planicies de transición aluvial-volcánica que sirven de contacto entre las elevaciones menores y la planicie de nivel de base (Zamorano-Orozco et al., 2002).

El trabajo de campo permitió reconocer siete tipos principales de rocas, estructuras volcánicas y sedimentos para la zona de estudio, los cuales se explican a continuación:

Domos riolíticos: presentes en la zona cumbral, por arriba de los 2400 msnm, al noreste de la cabecera municipal de Villa de Tezontepec; se identificaron 20 domos de composición riolítica dentro del área de estudio, aunque dentro del territorio municipal únicamente se localizan cuatro de ellos justo en el límite este del municipio. Estos domos corresponden a la tercera etapa de desarrollo del complejo volcánico Los Pitos (Zamorano-Orozco et al., 2002). Como se mencionó en

párrafos anteriores, las estructuras volcánicas formadas en la primera y en la segunda etapa de desarrollo del complejo volcánico fueron destruidas y deterioradas por el surgimiento de estos domos, correspondiendo a una edad del Plioceno (Segerstrom, 1961). Estas estructuras volcánicas representan la porción de mayor altitud de la zona abarcando altitudes desde los 2400 hasta los 2940 msnm. Cerros de gran reconocimiento para los habitantes del municipio de Villa de Tezontepec como lo son el Cerro El Picacho y el Cerro Los Pitos son geológicamente identificados como domos riolíticos.

Flujos de lava riolítica: presentes sobre todo por arriba de los 2460 msnm hacia la parte este en los límites del municipio, constituyendo el conjunto principal de la estructura volcánica de Los Pitos. Estas lavas son el producto del crecimiento de los domos riolíticos. Son las rocas más antiguas que afloran en la zona estudiada, con una edad de formación pliocénica (Segerstrom, 1961). Se caracterizan por tener un color gris claro con presencia de venas de color blanco, cuyo origen parece obedecer al escape de gases durante la emisión de lavas (Zamorano-Orozco et al., 2002). Se reconocen lavas con estructura compacta pero fragmentada, con aspecto brechoide, de textura afanítica.

Flujos piroclásticos: presentes en las paredes de los barrancos que cortan el pie de monte, circundando a los flujos de lava riolítica, encontrándose entre los 2340 y 2600 msnm, al noreste de la cabecera municipal. Estos depósitos se caracterizan por una ausencia de estratificación (masivos), están constituidos típicamente por un alto porcentaje de clastos subangulosos de diámetro de 1-40 cm, con promedio de 5-15 cm, soportados en una matriz limosa de color ocre, los clastos son principalmente de un solo tipo petrográfico (depósito monolitológico), el contenido de material juvenil vesiculado es bajo, la consistencia del depósito es de semiconsolidado. Estos depósitos tienen un espesor promedio de 3 metros. Mooser et al. (1996) los clasifican como Formación Tarango, término de amplia utilización que designa a materiales no consolidados en la Cuenca de México (Bryan, 1948; Arellano, 1953). Autores como Vázquez y Jaimes (1989) proponen el abandono del término Formación Tarango y clasifican los materiales del piedemonte en un grupo de rocas pliocénicas que incluye depósitos piroclásticos y epiclásticos. Por último, Zamorano-Orozco et al. (2002) clasifican a estos materiales como depósitos volcánicos de flujos de escombros y fluvial torrenciales pliocénico-cuaternarios. Para el caso de la cartografía geológica del municipio de Villa de Tezontepec se acordó agrupar e identificar a estos depósitos con características anteriormente descritas, como flujos piroclásticos, en concordancia con el concepto de pyroclastic flow (Schminke, 2004).

Domos andesíticos: tienen la apariencia megascópica de basaltos, sin embargo con base en su composición química y petrográfica deben clasificarse como andesíticos o andesítico-basálticos (Negendank, 1972). Se identificaron cinco domos de composición andesítica dentro del área de estudio y todos ellos se localizan dentro del territorio municipal, al este de la localidad Guadalupe, en el Cerro Xoconostle, únicamente uno de estos cinco domos se ubica al noroeste de la localidad de La Cantera. Estos domos están constituidos por rocas de composición andesítica y corresponden a la cuarta etapa de desarrollo del área de estudio (Zamorano-Orozco et al., 2002).

Conos de escoria: expuestos en las inmediaciones del municipio y en las afueras tanto en la parte norte como en la parte sur. Son considerados de edad Cuaternario (De-Cserna et al., 1988) y productos del vulcanismo monogenético de la zona. Representan la cuarta etapa de desarrollo de la zona de acuerdo con Zamorano-Orozco et al. (2002). Son estructuras volcánicas que presentan una altura promedio de 100 m desde el nivel base, compuestos principalmente por escoria de composición andesítica; en el municipio le llaman a este tipo de material Tezontle, su aspecto es deteriorado, su consistencia es muy deleznable, su textura es vesicular, altamente poroso, tiene coloraciones roja y gris oscura. Cerros como Tleixpan, El Cerrito de Téllez, Cerros Las Tetillas, Cerro Santa Rosa, Cerro Coayucán, Cerro El Piojo, el cerro que se ubica por San Ignacio y otros dos cerros que están por la localidad La Cantera, son identificados geológicamente como conos de escoria.

Flujos de lava andesítica: distribuidos tanto dentro como fuera del municipio y en los alrededores del complejo dómico Los Pitos, estas rocas son consideradas del Cuaternario (Zamorano-Orozco et al., 2002), producto del vulcanismo monogenético de la zona. Se reconocen lavas de estructura

masiva y unas cuantas con estructura foliada, formadas a manera de escamas, presentan un color gris claro. De textura afanítica, únicamente se logran distinguir algunos microcristales como anfíboles. Estos depósitos varían en espesor desde unos 40 a 160 m (Zamorano-Orozco et al., 2002). Dentro de la zona de estudio existen afloramientos de estos depósitos, situados tanto dentro como fuera del territorio municipal. Dentro del territorio municipal se localizan en la localidad de Tlexta y en los alrededores del Cerro Tleixpan, también hay afloramientos de estas lavas en la localidad de Benito Juárez y sus alrededores, además se localizan estas lavas en las localidades de Las Rosas, Guadalupe, La Cantera y El Tejocote; y fuera del territorio municipal se ubican al sureste, cerca de Guadalupe Relinas, San Antonio Coayuca, La Cañada, Barrio San Mateo, Santa María Aticpac; al noreste en los alrededores del Cerrito de Téllez y en los alrededores de los Cerros Las Tetillas; al noroeste se hallan en Zapotlán de Juárez y sus alrededores, así como en los alrededores del Cerro Santa Rosa; por último en la parte suroeste se localizan estas lavas en las inmediaciones del Rancho Ocotitlán, Barrio de Belén y el Rancho San Cipriano.

Aluvión: distribuido en la parte de menor altitud de la zona de estudio, en la amplia planicie y en el pie de monte entre los 2320 y 2640 msnm, corresponden a los depósitos más jóvenes, los cuales están compuestos por material no consolidado, consistente en gravas, arenas y limos, mezclados con cenizas de composición intermedia. Así mismo, subyaciendo al aluvión se encuentra distribuida ampliamente en la zona estudiada y conformando parte de la planicie una extensa capa de depósitos de caída de ceniza y lapilli, muy deleznable, de color ocre, que tiende a presentar una estructura de intemperización columnar. El aluvión corresponde a la quinta y más reciente etapa de desarrollo de la zona de estudio, representada por un periodo controlado por completo por los procesos exógenos. Localidades como Chamberluco, Ampliación San Juanita, El Capulín, San Isidro, Jagüeycillo, Colonia Morelos, hasta la misma cabecera municipal de Villa de Tezontepec se asientan sobre el aluvión.

No se reconoció en campo alguna falla geológica, sin embargo se mapeó una falla normal que Zamorano-Orozco et al. (2002) localizan en la parte noreste de la zona estudiada, pero fuera del territorio municipal de Villa de Tezontepec, muy cerca de los cerros Los Pitos y El Picacho, esta falla tiene un rumbo este-oeste, mide aproximadamente 323 m de largo y tiene un echado con dirección al sur.

3.3. Geomorfología

El municipio de Villa de Tezontepec, como se ha detallado anteriormente, se encuentra en el Cinturón Volcánico Transmexicano, el arco volcánico neogénico más grande de Norteamérica; se encuentra también dentro de la delimitación de la Cuenca de México, de tipo endorreica, la cual se formó al cerrarse el Valle de México debido al flujo de magmas andesítico-basálticos provenientes de la Sierra Chichinautzin (De-Cserna *et al.*, 1988). Estas estructuras, con una estructura y geología particulares, determinan el origen del relieve y los procesos endógenos y exógenos que se desarrollan sobre su extensión.

El análisis geomorfológico se elaboró a partir de la interpretación de imágenes satelitales y ortofotos, modelación e interpretación topográfica y trabajo de campo, el cual se enriqueció mediante la revisión de trabajos previos, los cuales abordan las características geológicas (De-Cserna *et al.*, 1988; Segerstrom, 1961; Mooser *et al.*, 1996) y geomorfológicas de la zona, principalmente el trabajo desarrollado por Zamorano-Orozco *et al.* (2002), en el cual se realiza un análisis de la evolución geológica y geomorfológica del complejo dómico Los Pitos, ubicado al este de la cabecera municipal de Villa de Tezontepec. Sin embargo, en el presente análisis se detallaron los límites de las unidades y se definieron otras que no habían sido definidas en el trabajo mencionado.

El relieve de Los Pitos está formado por un conjunto de domos volcánicos que originan las laderas cumbresales del municipio y alcanzan 2,950 m de altitud en el cerro Los Pitos y 2,920 en el cerro El Picacho. Ambos son parte de la misma unidad, la cual se eleva 600 metros desde la base y se compone de material volcánico, arrastrado por los abundantes escurrimientos desde la zona cumbral hasta la planicie de origen aluvial y lacustre sobre la cual se elevan algunos conos de escoria y domos menores.

El análisis del relieve y de la estructura geológica de la zona permitió definir cuatro unidades geomorfológicas mayores diferenciadas por su morfogénesis y morfología, y que corresponden a las unidades geomorfológicas principales definidas por Zamorano-Orozco *et al.* (2002): 1) cumbres y laderas altas de la sierra, 2) piedemonte, 3) volcanes menores y lavas asociadas, y 4) planicies de nivel de base. Estas unidades se describen a continuación:

Cumbres y laderas altas de la sierra

Esta unidad está formada por un conjunto de domos de composición riolítica, de aspecto campaniforme, los cuales alcanzan una altitud de 2,950 en el cerro Los Pitos y 2,920 en el cerro El Pichacho; poseen laderas con pendientes de tendidas a escarpadas y están fuertemente disectados por una densa red de escurrimientos intermitentes que han originado barrancos dispuestos radialmente a la estructura, los cuales alimentan a los conos de eyección que componen el piedemonte. Zamorano-Orozco *et al.* (2002) diferencian tres generaciones de domos volcánicos, en función del grado de erosión que presentan. Los más recientes están medianamente conservados y su morfología puede diferenciarse fácilmente, mientras que los más antiguos se reconocen fácilmente, no solamente debido a la erosión, sino por la sobreposición de las estructuras dómicas más recientes. Sobre esta unidad se encuentran numerosas zonas de extracción de material, incluyendo las minas de Chamberluco y Acozac (Mapa geomorfológico).

Existen otra serie de domos sobre el cerro Xoconostle, de composición andesítica y mejor conservados que los anteriores, lo cual hace referencia a su juventud.

Piedemonte

El piedemonte se forma como un área de transición entre la zona de domos y la planicie, se trata de un glacis de acumulación, formado por varios abanicos aluviales (conos de eyección). Se extiende desde los 2,340 msnm hasta los 2,660 msnm y presenta una inclinación gradual desde 15°-20° en la porción superior, en el contacto con las laderas riolíticas, hasta menos de 6° hacia la base, en donde comienza la planicie. El proceso principal de formación del piedemonte fue la acumulación de flujos piroclásticos, sin embargo se encontraron depósitos de flujos de escombros

(lahares) los cuales también fueron reportados por Mooser *et al.* (1996) y Zamorano-Orozco *et al.* (2002).

Los procesos de erosión sobre los abanicos aluviales se hacen evidentes por la pendiente y la escorrentía, en los que predominan los procesos de denudación en la zona alta, en donde nace una red de barrancos, mientras que en el piedemonte inferior predominan los procesos de depositación y acumulación de material, en donde los barrancos desaparecen o se convierten en cauces angostos que recorren la planicie. De acuerdo con Zamorano-Orozco *et al.* (2002), uno de los procesos exógenos actuales es el transporte de sedimentos por corrientes intermitente o efímeras de temporada, debidas a las lluvias torrenciales que se presentan unos cuantos días al año y forman abanicos menores.

El material de los abanicos aluviales se debe al bajo grado de consolidación de los depósitos de los flujos piroclásticos, los cuales han sido denudados por las corrientes fluviales y depositados en la base del piedemonte. El análisis de los clastos en distintos barrancos llevaron a Zamorano-Orozco *et al.* (2002) a inferir que las erupciones volcánicas en la ladera occidental del complejo de Los Pitos fueron más vigorosas, debido a que se encontraron clastos de mayor tamaño y cantos riolíticos de hasta 10 cm. La granulometría de los clastos de todos los depósitos es similar, propia del arrastre por escurrimientos fluviales intensos, lo que ha formado clastos con un nivel elevado de redondeamiento, a pesar de la poca distancia recorrida desde la fuente de emisión (Zamorano-Orozco *et al.*, 2002). Por otro lado, la composición de los depósitos es heterolitológica, con cantos fundamentalmente riolíticos, pero alternados con andesitas, debido al aporte lateral de los flujos de lava y domos andesíticos.

Sobre esta unidad geomorfológica se observan las localidades de La Colonia Guadalupe, Acozac y Jagueycillo (Mapa geomorfológico).

Volcanes menores y lavas asociadas

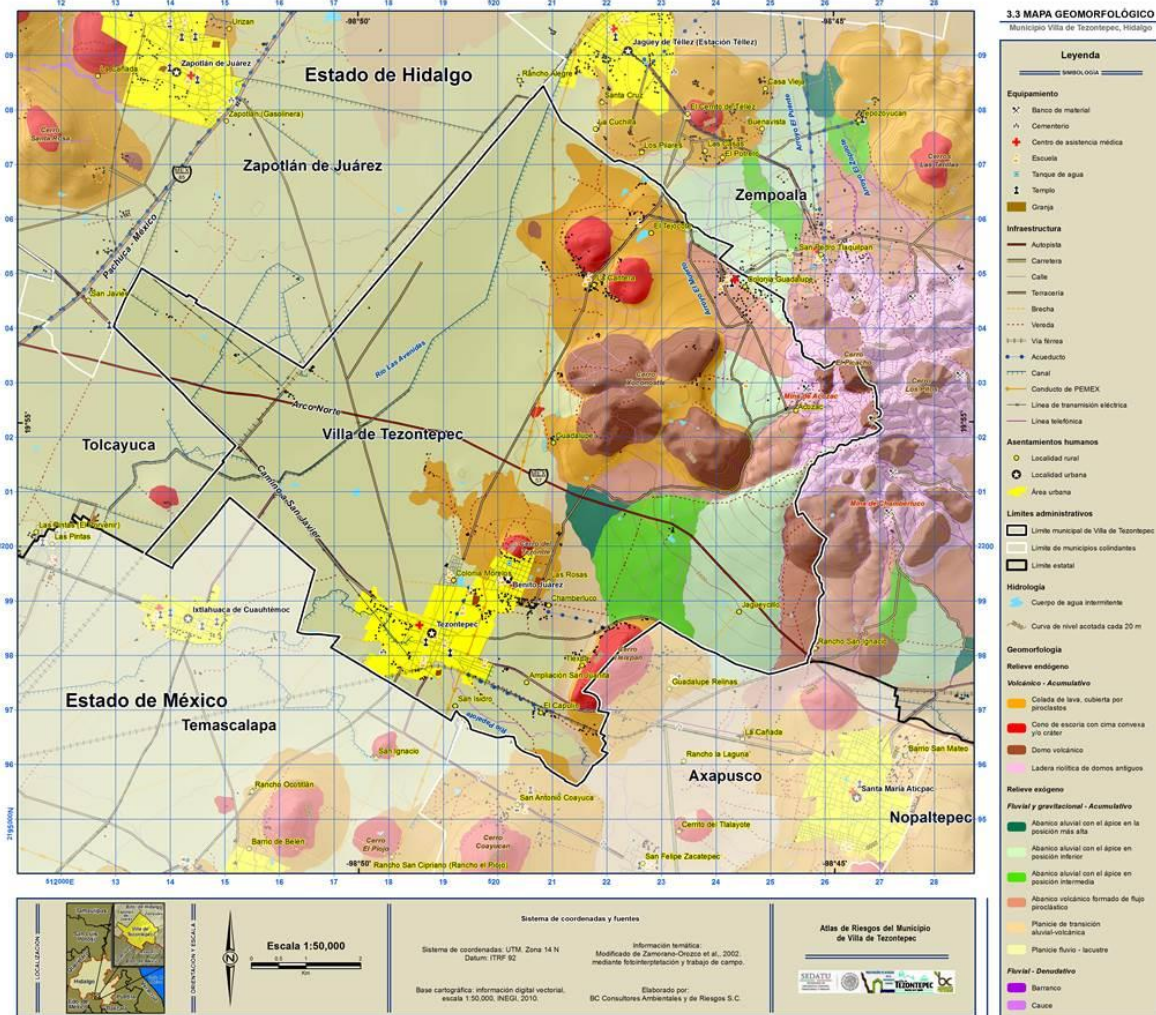
Esta unidad se refiere a los conos de escoria cuaternarios que se disponen alrededor del complejo dómico Los Pitos, los cuales son la expresión de un vulcanismo diferente al que dio origen a los domos riolíticos, y que originó productos de composición básica a intermedia.

Los conos presentan poseen cráter o en ocasiones cima convexa, pendientes desde suaves a medias, y la mayoría no sobrepasan los 100 m de altura. Las coladas de lava emanados de éstos no son muy fluidas y en general se no se apartan mucho del punto de emisión; las más fluidas originaron pendientes suaves y hasta planas mientras que algunas de composición más ácida formaron mesas, de pendientes tendidas y abruptas, como el flujo andesítico del cerro Xonoconostle, o las lavas de los cerros Las Tetillas y El Cerrito de Téllez, al norte de Tezontepec, en el municipio de Zempoala. De acuerdo con (Zamorano-Orozco *et al.*, 2002) los conos de escoria son parte de un sistema regional con una clara orientación al NE.

Planicies

Las planicies se constituyen como la unidad resultado de la acumulación de detritos aluviales-volcánicos, principalmente en la continuación de la base del piedemonte, y lacustres-aluviales, formadas por acarreo de material y periodos de inundación por el antiguo Río de las Avenidas, de la Sierra de Pachuca, que escurría al este (Zamorano-Orozco *et al.*, 2002). La planicie tiene una geometría fundamentalmente plana hasta ligeramente inclinada, con pendientes desde 0° hasta 3° de inclinación.

Mapa 9. Mapa Geomorfológico



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

3.4. Edafología

El suelo es la capa superficial de material mineral y orgánico no consolidado que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, por lo que es el principal recurso natural para el desarrollo de actividades productivas como la agricultura, la horticultura y la silvicultura.

La formación del suelo y sus características físicas, químicas, biológicas y morfológicas dependen de la acción e interacción de distintos factores como el clima, la topografía, la roca madre, la hidrografía, la actividad biológica y el tiempo. Aunque el suelo siempre está en formación, el proceso es sumamente lento, ya que se calcula que para la formación de un centímetro de capa superficial son necesarios de 100 a 400 años, por lo que se considera que es un recurso natural no renovable en escala de tiempo humano (SEMARNAT, 2012).

El suelo, al formar parte de los ecosistemas, contribuye de manera sustancial a la provisión de servicios ambientales, entre los que destacan su capacidad de regulación de los ciclos biogeoquímicos, como la fijación de nitrógeno y la captura de carbono. El suelo contiene mucho más carbono que el que se encuentra contenido en la vegetación y dos veces más que el que se encuentra en la atmósfera. Por lo tanto, la caracterización, clasificación y distribución de los suelos y sus propiedades, es un factor crucial para definir planes de manejo territorial (SEMARNAT, 2012).

A partir de la información recabada en trabajo de campo, y con los criterios de clasificación de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), se identificaron nueve tipos de suelos en el municipio de Villa de Tezontepec.

Cabe mencionar que una de las principales características físicas de los suelos dentro del municipio es la presencia de capas o perfiles de *duripan*, o más comúnmente conocido como tepetate. Esta característica está relacionada con la formación de suelos de tipo Durisol, que son los suelos que dominan en el territorio municipal.

Los tepetates se desarrollan comúnmente en climas áridos, sobre relieves de piedemonte a planicies, constituidas principalmente por materiales de origen volcánico de piroclásticos, generalmente de edad cuaternaria (Gama-Castro, Solleiro-Rebolledo, Flores-Román, Sedov, Cabadas-Báez, & Díaz-Ortega, 2007). Estas condiciones ambientales coinciden con las que se presentan en la zona en que se encuentra el municipio de Villa de Tezontepec. A continuación se describen las características de los principales tipos de suelos caracterizados dentro del municipio.

Durisol háplico

En términos generales, los suelos de tipo Durisol están asociados a ambientes áridos y semiáridos, que se forman sobre planicies aluviales llanas a onduladas, planicies de piedemonte o terrazas, a partir de materiales ricos en sílice, principalmente depósitos aluviales y coluviales de cualquier tipo de textura. Así mismo, se caracterizan por presentar una capa dura de nódulos de sílice secundaria (horizonte *dúrico* o tepetate) (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Los Durisol en regiones secas están comúnmente erosionados hasta el *duripan* (tepetate). Sin embargo, éstos pueden cultivarse con gran éxito, si hay agua disponible para riego. Además, el material duro de los tepetates puede usarse ampliamente en la construcción de caminos (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

De manera puntual, el tipo de suelo Durisol con el sufijo *háplico* son aquellos que presentan características muy típicas. En este caso, estos suelos se encuentran bajo condiciones de erosión muy fuerte y están conformados por horizontes subyacentes de suelos muy sueltos de textura fina a media y de estructura conglomerada (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Este tipo de suelo ocupa una extensión de 13,561.5 km² dentro del municipio, y representa un área de 14.95% del total municipal. Se encuentra sobre las zonas de planicies onduladas de origen volcánico, cubiertas por cultivos principalmente. Las localidades de El Tejocote, Colonia Morelos y parte de la cabecera municipal de Tezontepec, se desarrollan sobre este tipo de suelo.

Durisol léptico

Los tipos de suelos Durisol con el prefijo *léptico*, son aquellos en que el horizonte *dúrico* o tepetate, se encuentra sobre una capa de roca continua que comienza dentro de 100 cm de la superficie del suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Dentro del municipio estos suelos se encuentran en las zonas de planicies onduladas de origen volcánico, cubiertas por cultivos. Este tipo de suelo abarca un área de 9,081.41 km², que representa el 10.01% del territorio municipal. Las localidades de La Cantera, Benito Juárez, Las Rosas, Chamberluco y Tlexpa se desarrollan sobre este tipo de suelo.

Durisol vértico

Los Durisoles con propiedades *vérticas* presentan altos contenidos de arcilla en el horizonte subsuperficial, dentro de los primeros 100 cm de la superficie del suelo. Se caracterizan por una consistencia dura o muy dura, por lo que forman grietas cuando están secos o se expanden cuando están saturados de agua (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Los Durisoles *vérticos* se localizan en el municipio hacia la zona de planicies subhorizontales fluviales, la cual está ocupada por cultivos principalmente. Este tipo de suelo ocupa un área de 33,732.49 km² lo que representa el 37.20% del territorio municipal.

Fluvisol háplico

Los Fluvisoles son suelos azonales genéticamente jóvenes, que se forman a partir de depósitos aluviales principalmente sobre planicies, las cuales en condiciones naturales se inundan periódicamente (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

En particular, los Fluvisoles *háplicos* que se encuentran dentro del municipio son suelos con buena fertilidad y profundos, pero con alto contenido de arcillas de arcillas expansibles. Este suelo se formó a partir de los depósitos del río Papalote principalmente.

Este tipo de suelo ocupa un área de 3,414.57 km² que representa el 3.76% del total del área municipal. Sobre este suelo se desarrollan principalmente cultivos, pero también se encuentra la zona urbana de Tezontepec, en la cual se han presentado hundimientos debido a la disolución de arcillas subsuperficiales.

Leptosol lítico

Los Leptosoles son suelos muy someros sobre roca continua y suelo extremadamente gravillosos y/o pedregoso. Son suelos azonales y particularmente comunes en zonas montañosas. La erosión hídrica es uno de los principales problemas de estos suelos, principalmente en zonas con clima húmedo, mientras que en zonas con clima árido son muy propensos a la sequía (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Los Leptosoles *líticos* tienen la característica que presentan roca continua dentro de los primeros 10 cm de la superficie del suelo. Dentro del municipio estos suelos se localizan hacia la zona de montaña (cerro El Picacho), y están principalmente ocupados por matorrales crasicaules. Estos suelos ocupan 2,311.37 km², que representa el 2.54% del territorio municipal.

Regosol háplico

Los Regosoles son suelos minerales muy débilmente desarrollados, que se extienden sobre superficies erosionadas, particularmente en zonas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Los Regosoles *háplicos* que se encuentran dentro del municipio son suelos que se distinguen por la formación de una capa somera de suelos sobre material no consolidado conformado por fragmentos grandes de rocas en una matriz de material fino o arenoso. Se desarrollan principalmente hacia las zonas de planicie de piedemonte con cultivos, en donde además se

ubican las localidades de Guadalupe y Colonia Guadalupe. Este suelo ocupa un área de 6,058.48 km² que representa el 6.68% del territorio municipal.

Regosol léptico

Los Regoles *lépticos* son suelos someros que tienen la característica de presentar roca continua que comienza dentro de los primeros 100 cm de la superficie del suelo. Dentro del municipio, estos suelos se localizan hacia las zonas de lomeríos (cerro Tleixpan) y montañas (cerro Xoconostle), los cuales están cubiertos principalmente por matorrales crasicuales. Este tipo de suelo ocupa un área de 7,655.57 lo que representa el 8.44% del área total del municipio.

Vertisol dúrico

Los Vertisoles son suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expandibles. Forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan. Se desarrollan en depresiones y zonas llanas a onduladas por el depósito de materiales fluviales o aluviales (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

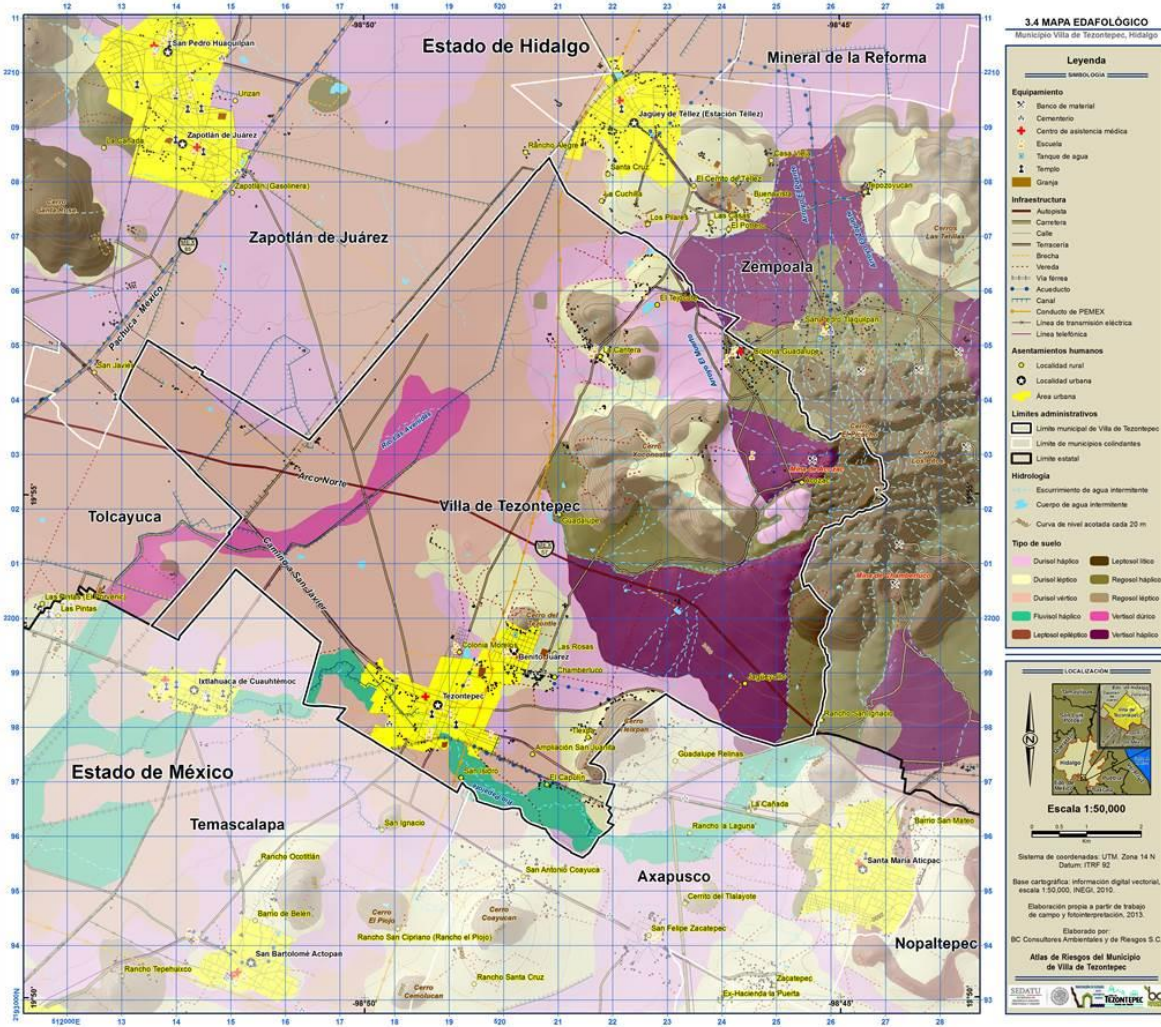
Las propiedades físicas y el régimen de humedad del suelo de los Vertisoles representan serias restricciones de manejo. La textura del suelo pesada y el predominio de minerales de arcilla expandible resulta en un rango de humedad del suelo restringido entre stress hídrico y exceso de agua. Los usos agrícolas de los Vertisoles van desde muy extensivos (pastoreo, recolección de leña y quema de carbón) a través de producción de cultivos post-estación lluviosa en minifundios (mijo, sorgo, algodón y garbanzo) hasta agricultura bajo riego en pequeña escala (arroz) y en gran escala (algodón, trigo, cebada, sorgo, garbanzo y lino) (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Los tipos de suelo Vertisol *dúrico* presentan en el horizonte superficial una gran cantidad de arcilla, mientras que en el horizonte subsuperficial presentan características *dúricas*, representado por tepetates. Estos suelos se localizan en la zona de llanuras fluviales, sobre los cuales se desarrollan cultivos principalmente. Ocupan un área de 3,390.6 km² lo que representa el 3.74% del área municipal.

Vertisol háplico

Los suelos de tipo Vertisol *háplico* son suelos arcillosos profundos, que dentro del municipio se desarrollan sobre las planicies de piedemonte fluvial que se localizan hacia la zona de montañas. Estos suelos ocupan un área de 11,450.28 km² que representa el 12.63% del territorio municipal, están cubiertos principalmente por cultivos, pero también se desarrollan sobre estos las localidades de Jagüeycillo y Acozac.

Mapa 10. Mapa Edafológico



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

3.5. Cuencas y Subcuencas

Una cuenca hidrográfica está definida como el área físico-geográfica delimitada por sistemas topográficos y geológicos que permiten definir territorialmente un área de drenaje común, en donde interdependen e interactúan en un proceso permanente y dinámico, los subsistemas: físico, biótico y socioeconómico (ATL, 2013). En este sentido Cotler (2008) señala que las cuencas hidrográficas son consideradas como la unidad territorial básica para la planeación y el manejo de recursos naturales.

Es de gran importancia tomar en consideración las cuencas hidrográficas en la planeación para la mitigación de los efectos de los desastres naturales y el desarrollo sostenible; los esfuerzos de prevención, mitigación y reconstrucción en caso de desastres deben tomar en cuenta los vínculos fundamentales que existen entre las actividades humanas, los procesos naturales y las interdependencias entre las anteriores (Díaz, 2004).

Las cuencas pueden ser de tres tipos, endorreicas, exorreicas y arreicas; para el primer caso, su escorrentía drena hacia un cuerpo de agua interior como un lago, las cuencas exorreicas se caracterizan por descargar su escorrentía superficial hacia el mar, mientras que las cuencas arreicas se caracterizan por presentar un drenaje superficial que se infiltra antes de encontrar un cuerpo colector (INE, INEGI, CONAGUA, 2007).

Cabe señalar que el país cuenta con diversas divisiones hidrográficas establecidas bajo distintos criterios, lo que da como resultado la existencia de unidades hidrográficas cuyos límites difieren en función de la institución gubernamental generadora. De acuerdo con INEGI, INE y CONAGUA (2007), el país cuenta con 1,471 cuencas que varían en tamaño desde uno hasta miles de kilómetros cuadrados, sin embargo el Instituto Nacional de Ecología estableció criterios de regionalización de las cuencas hidrográficas con el propósito de contar con unidades que permitieran el análisis, manejo y observación de patrones espaciales tanto biofísicos como socioeconómicos, en el que se determinaron 397 cuencas en el territorio mexicano.

En el estado de Hidalgo se localizan cinco cuencas, la cuenca del río Panuco que ocupa la mayor superficie del territorio estatal, los límites de esta cuenca abarca desde los municipios de San Agustín Tlaxiaca, Mineral del Chico, Mineral del Monte, Singuilucan y Cuauhtepic de Hinojosa, Pachuca de Soto hacia el norte del estado; la cuenca del Río Tuxpan, que se localiza hacia el este, abarca los municipios San Bartolo Tulotepec, Huehuetla, Tenango de Doria y Agua Blanca de Iturbide. La cuenca del Río Cazonas principalmente comprende el municipio de Acaxitlán y un porción de Tenango de Doria. Río Tecolutla este Acaxitlán y Cuauhtepic de Hinojosa. En el límite estatal la cuenca de México se extiende desde el municipio de Tizayuca hasta la ciudad de Pachuca.

El municipio de Villa de Tezontepec se encuentra dentro de los límites de la Cuenca de México, ésta se conformó tras un largo periodo de actividad volcánica en el que se configuraron la Sierras de las Cruces, Guadalupe Río Frío y Nevada. Durante esta etapa geológica la Cuenca vertía sus aguas de manera natural hacia el pacífico, sin embargo, debido a la formación de la sierra de Chichinahutzin se cerró el paso natural del agua, por lo que se convirtió en una cuenca endorreica (UAM, 2011).

La Cuenca de México está circundada por montañas y cubierta por áreas lacustres producto de lagos que existieron al final de la época glacial. El fondo de la cuenca es una planicie lacustre que por lo general se mantiene seca, su parteaguas se extiende por la zona montañosa circundante que se eleva por encima de los 3,000 msnm (CONAGUA, 2002). La cuenca tiene una superficie de 9,219.29 km², pertenece a la subregión Valle de México y a la región hidrológica del Pánuco. Los estados que se encuentran total o parcialmente dentro de los límites de la cuenca son Distrito Federal, Hidalgo, México, Morelos, Puebla y Tlaxcala (INE, 2010).

En la zona alta de esta cuenca, que se refiere al área de colecta o captación, donde las aguas que se precipitan son captadas, infiltradas y posteriormente transformadas en escorrentías, se

concentra el 1.5% de la población total que habita en la cuenca; en la zona media, considerada el área de almacenamiento hídrico, que también cumple la función de desalojar agua cuenca abajo, se encuentra asentado el 39.5% de la población total; mientras que en la zona baja, que es la zona de descarga, salida o emisión hídrica de la cuenca, habita la mayor parte de la población, con una proporción de 58.9% con respecto a la total (INE, INEGI, CONAGUA, 2007).

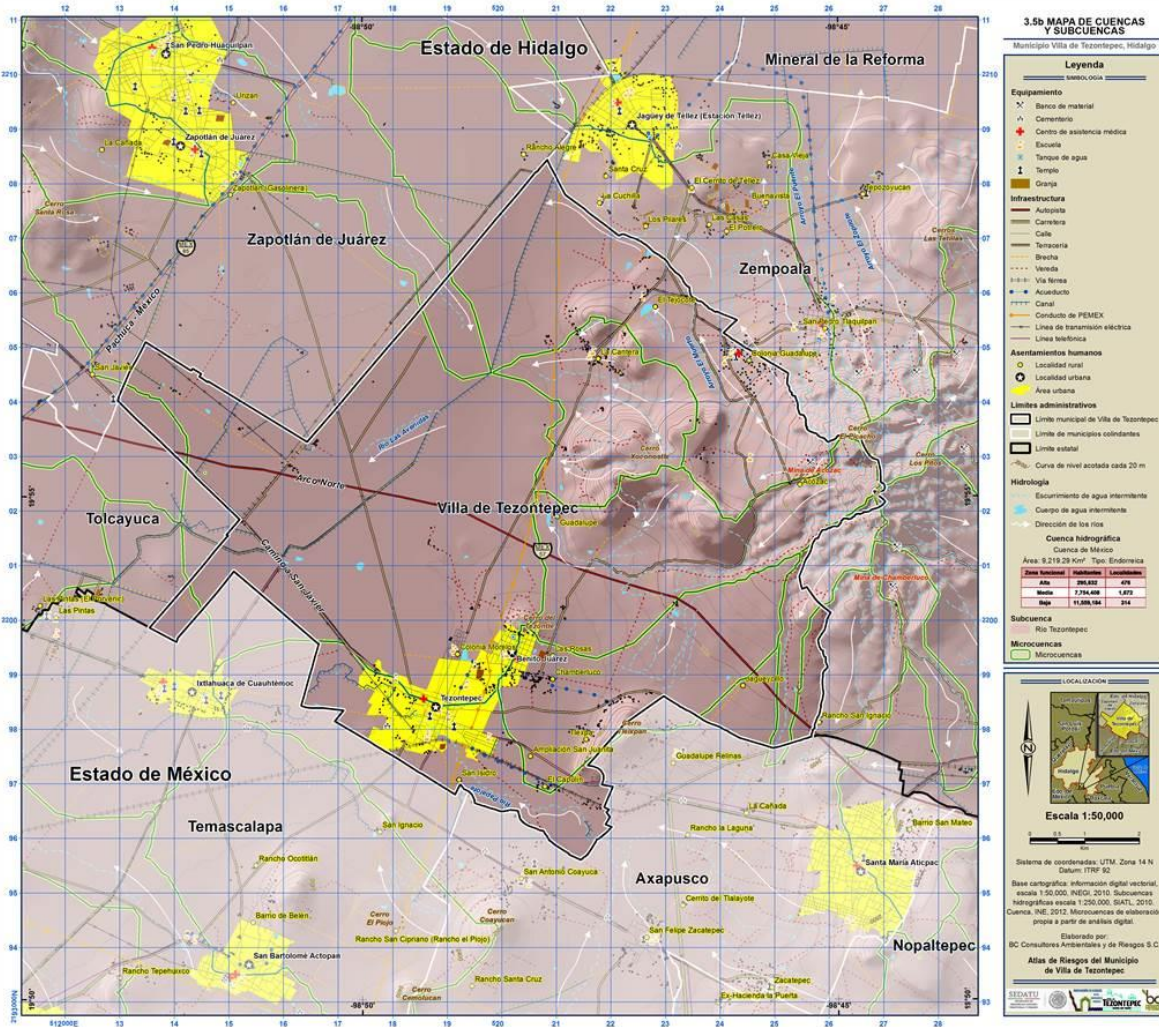
De la Cuenca de México se derivan cinco subcuencas hidrográficas, la subcuenca del lago de Texcoco y Zumpango, Lago Tochac y Tecocomulco, Río Tezontepec, Río Tepetzotlán, Río Cuautitlán. El municipio de Villa de Tezontepec se encuentra dentro de los límites de la subcuenca del Río Tezontepec, que está delimitada por Cerro gordo hacia el sur, hasta Mineral del Monte hacia el norte, el bosque de Singuilucan hacia el este y hacia el oeste. La red de drenaje de esta subcuenca está conformada por un conjunto de afluentes naturales, en su mayoría intermitentes.

Por otra parte, la microcuenca se define como una pequeña unidad geográfica habitada por grupos de personas que utilizan y manejan los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación. En esta unidad hidrográfica, ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos, ambientales y sociales (FAO, 2008).

En específico, en el municipio de Villa de Tezontepec está constituido por once microcuencas, entre las que destaca la microcuenca que se encuentra al sur, conformada por la corriente principal Río Papalote, con tres principales ríos tributarios.

Los cerros que se encuentran hacia el este del municipio, Cerro de Xoconoxtle, Cerro El Picacho, Cerro Los Pitos, cumplen con la función de parteaguas en las que se forman cuatro microcuencas en los que confluyen ríos de tipo intermitente.

Mapa 11. Mapa de Cuencas y Subcuencas



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

3.6. Hidrografía

Una región hidrológica es la agrupación de varias cuencas hidrológicas con niveles de escurrimiento superficial muy similares.

En México existe 37 regiones hidrológicas, las regiones húmedas, sistema Grijalva-Usumacinta, Coatzacoalcos, Papaloapan y la región de la Costa de Chiapas; Las regiones secas del país son, la del Vizcaíno, la Magdalena, la Laguna Salada; la de Sonora norte y la región Mapimí. Las más densamente pobladas son la región Tuxpan-Nautla y la región Lerma-Santiago (INEGI, 2013).

Para el estado de Hidalgo el INEGI en el 2013 presenta, de manera general, un análisis de escurrimiento superficial en donde se observan valores , en el oeste de 50 a 100 milímetros, aumentando hacia el este hasta llegar a ser de 100 a 200 milímetros de escurrimiento (INEGI, 2013).

En particular para el municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo, se realizó un método indirecto y semi-empírico de cálculo del Volumen Medio Anual de Escurrimiento Natural, según lo estipulado en el Apéndice Normativo "A" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 sobre conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002).

A partir de la información de tipo de suelo (edafología) y de vegetación y uso de suelo generados para el territorio municipal, se calcularon los coeficientes de escurrimiento para obtener el Volumen de Escurrimiento Medio Anual Natural asociado a la información climatológica de la precipitación media anual, y con esto, la delimitación de las zonas de los ciclos de recarga hídrica relacionadas con el ciclo del agua.

Volumen medio anual de escurrimiento

Para determinar los intervalos del volumen medio anual de escurrimiento se realizó una jerarquización estadística frecuentista.

Volumen medio anual de escurrimiento de 7.5 a 9 m³

Este volumen medio anual de escurrimiento se presenta en el norte y noroeste, en la zona de planicie del municipio, en donde el gradiente pluviométrico se intensifica llegando a presentar valores de hasta 550 mm, además de ser la zona de recepción de los levantamientos orográficos del este del municipio. Este tipo de volumen de escurrimiento únicamente incide en la localidad de La Cantera y Colonia Guadalupe.

Volumen medio anual de escurrimiento de 6 a 7.5 m³

Este valor se presenta en el suroeste del municipio de villa de Tezontepec, así como en la zona baja de la montaña volcánica y está relacionado con vegetación de matorral crasicaule y regosol léptico, aquí se observa una precipitación media anual climatológica de 550 a 500 mm, las localidades que se encuentran dentro de este volumen de escurrimiento natural son El Tejocote, Acozac, San Isidro, El Capulín y Ampliación San Juanita.

Volumen medio anual de escurrimiento de 4.5 a 6 m³

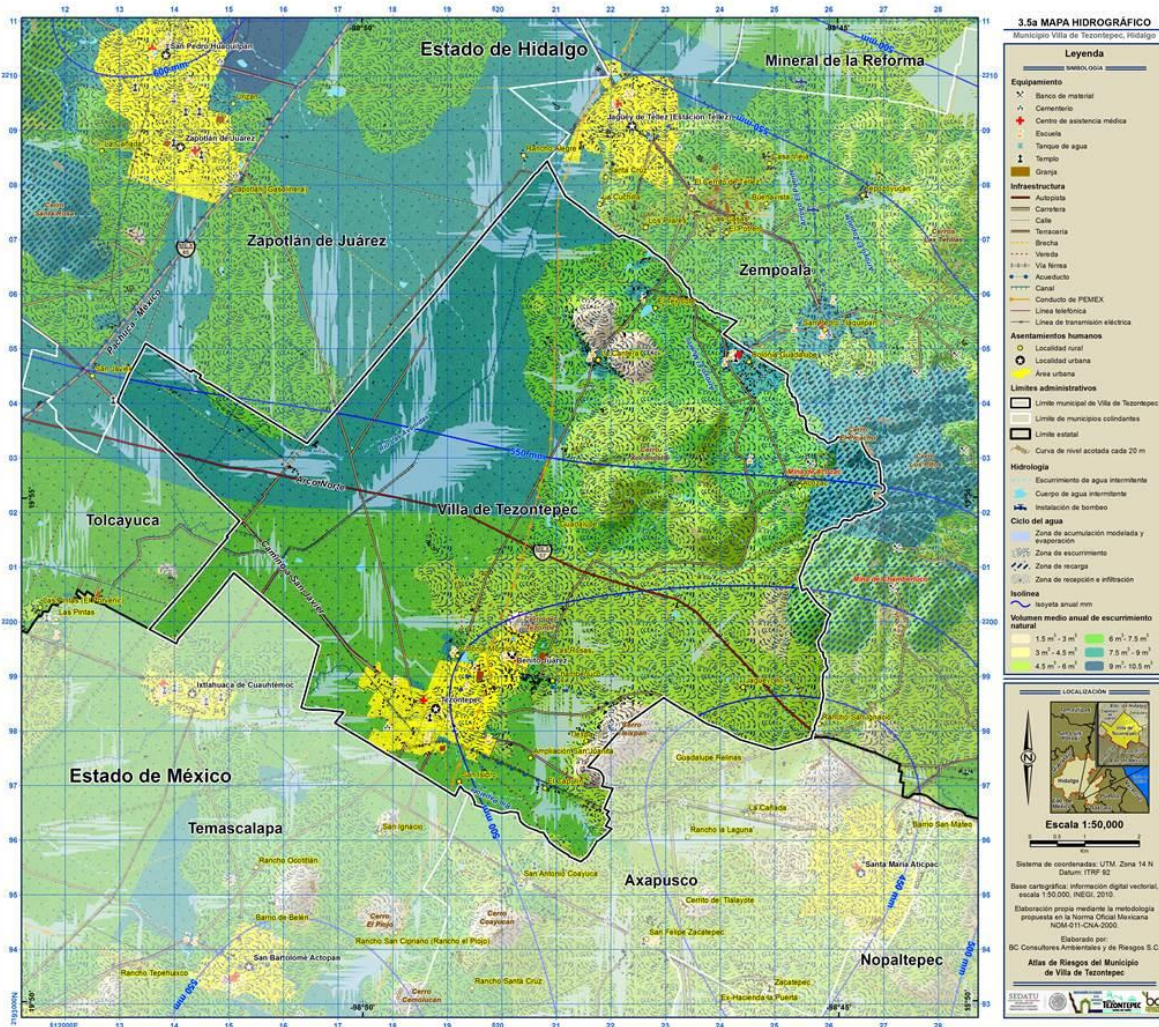
Se presenta en el este del centro del territorio municipal y al sureste, en la zona alta del cerro del Xoconstle, con valores pluviométricos desde los 550 hasta los 450 mm. Este valor del volumen de escurrimiento está relacionado con la agricultura de temporal así como con un tipo de suelo vertisol hápico y durisol hápico. Las localidades que se encuentran dentro de este volumen de escurrimiento son, Las Rosas, Chamberluco, Jagüecillo, Tlaxpa y Guadalupe.

Volumen medio anual de escurrimiento de 3 a 4.5 m³

Este volumen de escurrimiento se localiza en el territorio municipal únicamente en la zona alta de la montaña volcánica, al norte del cerro del Xoconstle y, está relacionada con un tipo de suelo

Regosol Léptico y una vegetación de tipo matorral crasicaule, además de una precipitación por arriba de los 550 mm.

Mapa 12. Mapa Hidrográfico



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Ciclo del Agua

Zona de Recarga hídrica, es la zona en donde se recargan los mantos acuíferos así como los escurrimientos hídricos y están relacionados con zonas de montaña. Para el territorio municipal es una pequeña región localizada al este.

Zona de escurrimiento, se caracteriza por la presencia de escurrimientos hídricos, ya sea de tipo perenne o intermitente, y todos aquellos que se presenten al momento de la precipitación pluvial, en el territorio municipal la zona de escurrimiento se localiza al este, en donde se encuentran la mayor parte de las elevaciones montañosas.

Con respecto a la zona de recepción e infiltración, que está caracterizada por ser una zona de acumulación transitoria o hasta inundación, se localiza al oeste del municipio en la mayor parte de la planicie aluvial.

Para la determinación de la zona de evaporación y acumulación transitoria, se realizó una modelación espacial de acumulación de flujo, además de los pequeños cuerpos agua que se localizan dentro del territorio municipal. Las principales zonas de evaporación y acumulación se encuentran al este del municipio, que es donde se localizan los polígonos más importantes de la modelación así como los pequeños cuerpos de agua.

3.7. Climatología

El clima se refiere al conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie de la tierra. El clima de una región está controlado por una serie de elementos como: temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones, principalmente, el cual se representa con la temperatura media anual y la precipitación total anual, así como los tipos de clima según la clasificación de Koeppen, modificada por Enriqueta García para adaptarla a las condiciones del territorio mexicano (INEGI, 2013).

En México el clima está determinado por la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las diversas condiciones atmosféricas y la distribución existente de tierra y agua, por lo que cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales de manera muy general, pueden clasificarse según su temperatura, en cálido y templado; y de acuerdo con la precipitación en: húmedo, subhúmedo y muy seco, (CONAGUA, 2010).

La distribución climatológica del estado de Hidalgo presenta un 39% de clima seco y semiseco, un 33% templado subhúmedo, un 16% cálido húmedo, un 6 % cálido subhúmedo y el restante 6% templado húmedo, estos últimos se presentan en la zona de la huasteca (INEGI, 2013). La temperatura media anual es de 16°C. La temperatura mínima del mes más frío, enero, es alrededor de 4 °C y la máxima se presenta en abril y mayo que en promedio es de 27°C y la precipitación media del estado es de 800 mm anuales. (INEGI, 1997).

Para el municipio de Villa de Tezontepec se observa solo un clima, semiárido templado, cubre el 100% de la superficie total del municipio y se caracteriza por presentar una temperatura media anual que oscila entre 12°C y 18°C , además el mes más frío oscila entre -3°C y 18°C y el mes más caliente es menor de 22°C, con respecto a la precipitación climatológica las lluvias de verano y su porcentaje de lluvia invernal es de 5% al 10.2% del total anual.

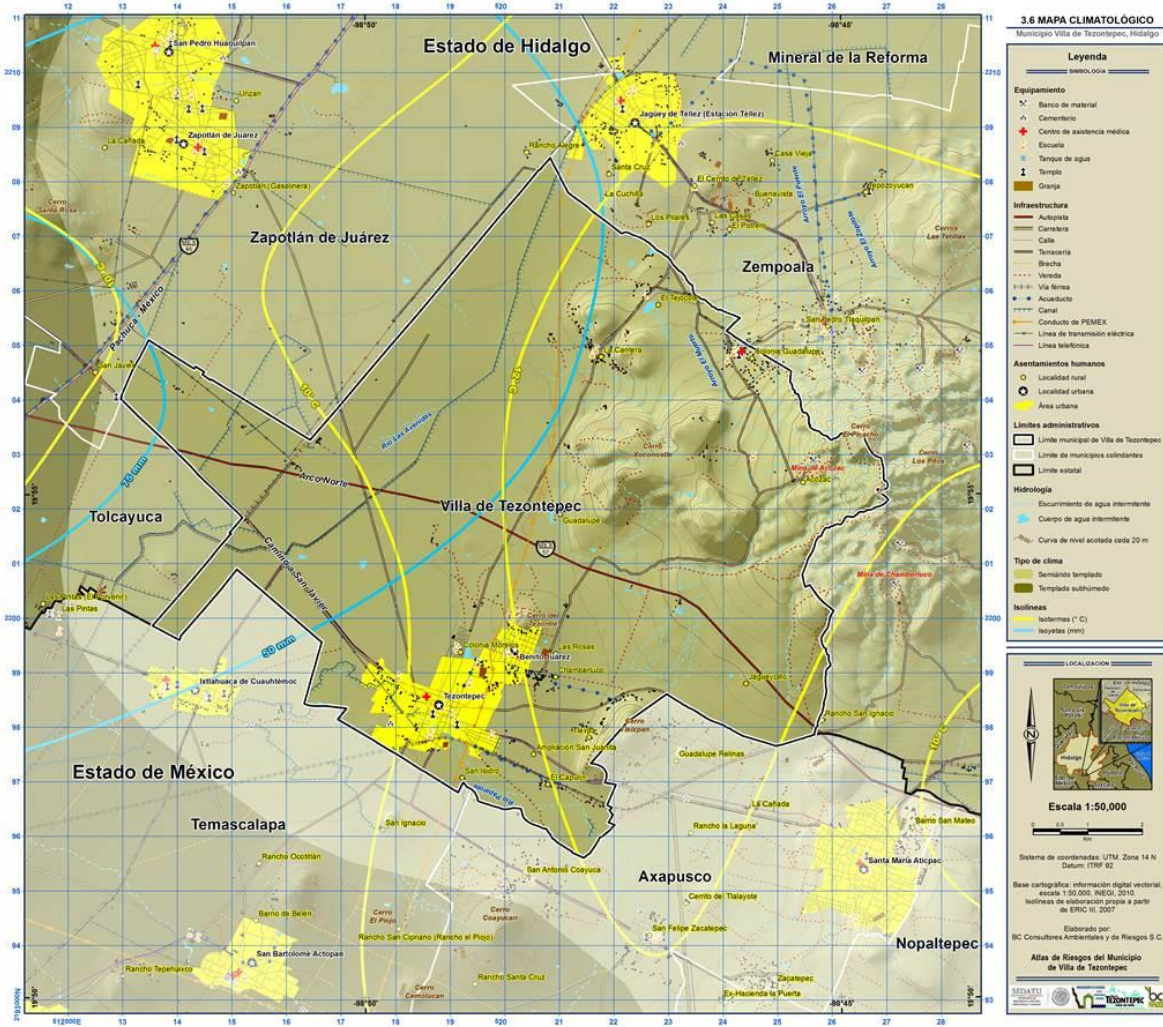
Temperatura

La temperatura climatológica del municipio de Villa de Tezontepec observa un máximo en al promedio anual en la zona de montaña volcánica, donde se observan valores por arriba de los 12° C, incidiendo en las localidades de Texpla, Chamberluco, Las Rosas, Jagüeycillo, Guadalupe, Acozac, La Cantera, Colonia Guadalupe y El Tecojote. Para el este del territorio municipal la temperatura media histórica desciende hasta por debajo de los 10 °C.

Precipitación pluvial

La precipitación pluvial en la mayor parte del territorio municipal es por arriba de los 50 mm, al este. Para el oeste, del territorio municipal, la precipitación climatológica esta por arriba de los 50 mm hasta llegar a tomar valores por arriba de los 75 mm.

Mapa 13. Mapa Climatológico



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

3.8. Uso de suelo y Vegetación

Debido al auge en las problemáticas referentes al manejo inadecuado de los recursos naturales, resulta fundamental idear y aplicar estrategias de prevención y mitigación mediante el conocimiento de las características y el estado de conservación, tanto de la cobertura vegetal como del uso de la tierra; toda vez que resultan esenciales para el monitoreo ambiental, la planeación territorial, el manejo de los recursos naturales, el estudio de cambio climático y la evaluación de los procesos de desertificación.

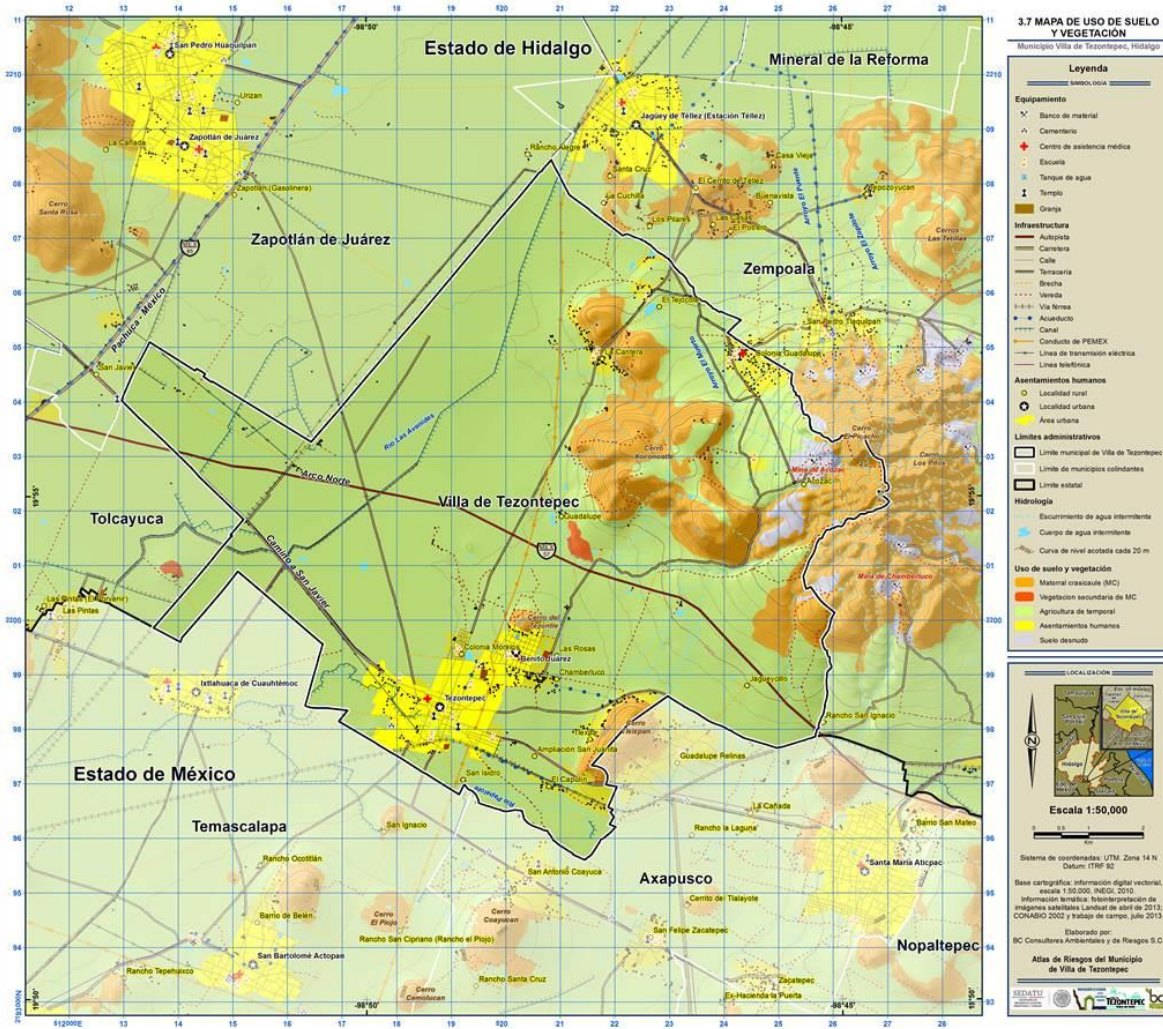
Tal como se muestra en el Mapa de uso de suelo y vegetación, en el municipio de Villa de Tezontepec se identifican dos tipos de vegetación y tres usos del suelo. El primer tipo de vegetación, corresponde a poblaciones de matorral crasicaule, el cual representa el 13% (11.8 km²) de la superficie total del municipio, se desarrolla fundamentalmente en las principales elevaciones del municipio sobre las pendientes más abruptas, en los cerros El Picacho, Los Pitos, Xoconostle y alrededor de la localidad La Cantera. Rzedowski (2006) (1), expone que esta comunidad vegetal se extiende sobre laderas de roca volcánica así como en planicies aluviales, con precipitación media anual inferior a 600 mm. Se identifican ejemplares de cactáceas así como algunas especies introducidas. La población de vegetación secundaria de matorral crasicaule, por otro lado, se localiza en la sección central del municipio y es la de menor extensión en el municipio al representar el 0.22% (0.20 km²) del total municipal.

En cuanto a los usos de suelo, se identifica en primera instancia la agricultura de temporal al ser la de mayor presencia en el territorio municipal y representar el 78% (71 km²) del total del territorio municipal; predominan los cultivos de cebada y avena.

Se identificaron igualmente áreas con suelo desnudo, las cuales corresponden a aquellas zonas donde existen o existieron bancos de material; localmente se conocen las minas Acozac, mina de Chamberluco y mina Azul, las cuales se encuentran en operación (Mapa base). Los materiales extraídos son: la escoria, denominada localmente grava o tezón, arena y agregados principalmente. Estas áreas representan el 1.23% (1.1 km²) del territorio municipal.

Finalmente el 7.20% (6.4 km²) restante corresponde a los asentamientos humanos, los cuales se concentran en su mayoría en la cabecera municipal, en la localidad Colonia Guadalupe localizada en la vertiente noreste del municipio y en la localidad La Cantera, ubicada al centro-norte del territorio.

Mapa 14. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

3.9. Áreas naturales protegidas

En el municipio de Villa de Tezontepec no existen áreas naturales protegidas legalmente declaradas.

3.10. Problemática Ambiental

La problemática ambiental a nivel internacional surge en las últimas décadas del siglo XX como el signo más evidente de la crisis del modelo económico que ha conducido el proceso de modernización. La crisis ambiental se hace evidente en los años setenta, reflejándose en la irracionalidad ecológica de los patrones dominantes de producción y consumo, y limitando el crecimiento económico generando procesos de degradación ambiental (Leff, 2002).

México no está exento de la problemática planteada, ya que los procesos de degradación de los recursos naturales en calidad y cantidad son significativos (Godinez, 1994), cabe mencionar que la conservación de los ecosistemas propicia la protección de los servicios ambientales (SA), es decir, de los procesos y funciones de los ecosistemas que, además de influir en el mantenimiento de la vida, generan beneficios y bienestar para las personas y comunidades. Existen distintos tipos de SA, sin embargo para la finalidad de un análisis de riesgos por fenómenos naturales, se destacan los de SA de regulación, que se refieren a los procesos de los ecosistemas para el control del clima, inundaciones, mantenimiento de la calidad del aire, control de la erosión, regulación de enfermedades, depuración de agua entre otros (United Nations Environment Programme, 2003).

Uno de los principales problemas de contaminación en el país es la disminución de la calidad del agua de los ríos provocada por las descargas de agua residual municipal e industrial sin tratamiento. Las aguas residuales no tratadas representan un riesgo para la salud humana por los agentes tóxicos e infecciosos que contienen, además de contribuir al deterioro de los ecosistemas acuáticos; no obstante, los sistemas de tratamiento implementados tanto a nivel industrial como municipal han incrementado, ya que de acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Ambientales (SEMARNAT; 2013) en el año 2000 tan sólo se trataba el 16.96% de agua residual, respecto al total generado, y para el año 2010 se trató el 29.2% respecto al total generado.

En el caso de residuos sólidos urbanos (RSU) dispuestos sin control, que provocan principalmente la contaminación del aire, suelo, aguas superficiales y subterráneas, generación de biogases, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), transmisión de enfermedades por fauna nociva y deterioro del paisaje; se han llevado acciones para disminuir el volumen de RSU confinados sin control, ya que en el año 1997 el volumen de residuos sin control fue de 16,655.12 miles de toneladas, mientras que para el año 2011 el volumen redujo a 9,519.40 miles de toneladas (SEMARNAT, 2013).

En lo que se refiere a emisiones a la atmósfera, es importante relacionar las cantidades con el efecto que producen en el cambio climático, ya que en cierta medida este fenómeno es consecuencia de la emisión de los GEI a la atmósfera. A nivel nacional, en 1990 se emitían aproximadamente 507,282.84 gigagramos de bióxido de carbono equivalentes, mientras que para el año 2010, en total se calculan alrededor de 748 252.25 gigagramos, es decir, hubo un incremento significativo de las emisiones atmosféricas (SEMARNAT, 2013).

Por otra parte, la vegetación natural es el principal reservorio de biodiversidad, sin embargo, el crecimiento de la infraestructura y el desarrollo urbano han reducido la vegetación natural remanente de México. De acuerdo con estadísticas oficiales, la vegetación natural remanente de matorral ha disminuido de manera significativa, ya que en 1976 tenía un potencial de 96.3%, mientras que en 2010, el potencial es de 89.7% (SEMARNAT, 2013).

En el caso concreto de la problemática ambiental del municipio de Villa de Tezontepec, se determina que los recursos naturales han sido devastados en cierta medida, a continuación se explica cada uno de los aspectos analizados.

Uno de los problemas es el que se refiere al crecimiento de la población, ya que de acuerdo con censos y conteos de población y vivienda (INEGI, 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010), ha crecido con una tasa del 12% aproximadamente. Las localidades en las que se observa un cambio significativo de uso de suelo por asentamientos humanos son Tezontepec, Benito Juárez y la Colonia Morelos, la superficie total ocupada por estas tres localidades en 1985 era de 1.2 km², mientras que para el

2013 es de 4.3 km², es decir, ha aumentado 350% veces en un periodo de 28 años. Para determinar el crecimiento de la superficie se llevó a cabo un análisis multitemporal de imágenes satelitales ETM+7 y ETM+8 de las fechas enero de 1985 y abril de 2013. El crecimiento de zonas urbanas genera impactos directos debido a que una ciudad requiere para su funcionamiento de agua, alimento y energía para sostener sus actividades, por tanto, generan residuos sólidos y líquidos, así como, emisiones atmosféricas; los impactos indirectos que se generan derivan de la demanda de bienes y servicios, que inciden en la dinámica productiva y ambiental de zonas rurales, o inclusive en otras zonas lejanas, además se generan cambios culturales, entre los que destaca la transformación de hábitos de consumo (SEMARNAT, 2002)

Respecto a la generación de agua residual, se constató que en municipio cuenta con cinco pozos de oxidación instalados en las localidades de Colonia Guadalupe, Benito Juárez, Colonia Morelos y Tezontepec, este sistema de tratamiento de agua residual es efectivo para el tratamiento de agua residual de origen doméstico, sin embargo, se requiere de un tratamiento secundario en el efluente si ésta agua es utilizada para riego de cultivos de forraje y algunos de consumo como berros o quelites, lo que pone en riesgo la salud de los habitantes que consumen como alimento estos cultivos. También se identificaron descargas de agua residual doméstica y residuos líquidos del rastro municipal, que se vierten directamente en el río Papalote, lo cual representa un riesgo para la salud de los habitantes que están asentados cerca de dichas descargas. Otro de los factores que representa un riesgo ambiental en el municipio, es la infraestructura para almacenamiento de agua con fines de agrícolas y pecuarios, comúnmente conocidos como Jagüey, ya que no tienen un sistema de drenaje adecuado, por lo tanto, se lleva a cabo el proceso de eutrofización debido a la falta de oxígeno en el fondo de los mismos, así que atrae vectores agentes de enfermedades.

En referencia a los residuos sólidos urbanos, en el municipio se cuenta con un relleno sanitario que recibe de 8 a 10 toneladas diarias, con un porcentaje de cobertura de recolección del 97.9%, ésta infraestructura cuenta con las características señaladas en la NOM-086-SEMARNAT-2003, sin embargo, también se tiene un tiradero a cielo abierto que no está clausurado en su totalidad ya que es utilizado en caso de emergencias para dar servicio de limpia pública a otras localidades, en el que ocurren con frecuencia incendios a causa del gas metano generado y la incidencia solar. También se identificaron tiraderos clandestinos en la localidad Colonia Guadalupe y al norte de la Colonia Morelos, en un sitio que es considerado como Zona de Conservación por el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial Valle de Hidalgo-Tizayuca 2002. Por otra parte, en localidades como Las Rosas o en la Colonia Morelos se observó que llevan a cabo la incineración de los residuos al aire libre traspatio, lo que pone en riesgo a la salud de las personas por la exposición a sustancias peligrosas en forma de gases, partículas y vapores, las poblaciones expuestas a estos gases pueden presentar dificultades en las vías respiratorias, infecciones dérmicas y diagnósticos de mayor gravedad; los plásticos, pilas, baterías y otros desechos industriales incinerados pueden producir dioxinas y furanos, dos sustancias tóxicas y cancerígenas (PAHO, 2012).

En cuanto a las emisiones de CO₂, se toma en cuenta una generación per cápita como se señala en las tendencias del Banco Mundial, en el que se consideran las emisiones que provienen de la quema de combustibles fósiles y de cemento, incluyen el que se produce durante el consumo de combustibles sólidos líquidos, gaseosos y de la quema de gas. En este sentido se considera que en México se generan alrededor de 3.8 toneladas métricas per cápita al año de CO₂ (Banco Mundial, 2009), por lo tanto en el municipio de Villa de Tezontepec, para el año 2009, se generaron 44,285.2 toneladas de CO₂.

Por último, se hizo un análisis multitemporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada comparando la vigorosidad de la vegetación en el año 1985 con respecto al año 2013, en el resultado obtenido se observa que el cerro de Xoconostle y la zona de cultivo ubicada al noroeste del municipio es donde hay cambios significativos (ver mapa 3.8 Problemática Ambiental).

4. Características demográficas

En este capítulo se muestran las características generales de la situación demográfica, social y económica del municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo.

La información contenida en éste apartado, muestra a través de diversos indicadores, la dinámica demográfica del municipio. Dentro de las principales características que se muestran se encuentran: la escolaridad de la población y el grado de marginación de la misma. Por otro lado, se presentan las principales actividades económicas que se llevan a cabo en este municipio, y además se ofrece una descripción de las condiciones de la población económicamente activa y de la infraestructura urbana del territorio municipal.

4.1. Elementos demográficos: dinámica demográfica, distribución de población, mortalidad, densidad de población.

Población total

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, la población total del municipio de Villa de Tezontepec es de 11,654 habitantes; de los cuales 5,732 son hombres y 5,922 son mujeres.

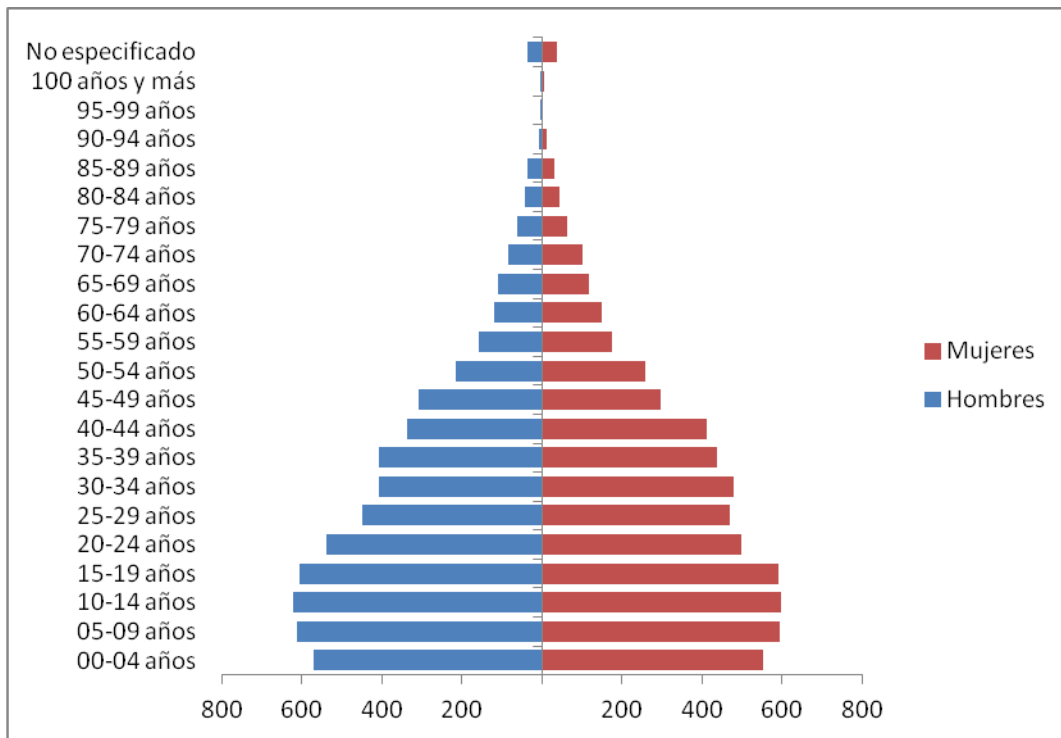
En lo que respecta a la evolución demográfica, las tablas de Evolución Demográfica (

Tabla 3) y de Crecimiento Poblacional (Tabla 4), del apartado de anexos, muestran las relaciones de crecimiento y el grado de variación de la población del municipio de Villa de Tezontepec. En éstas se observa que en los últimos años un importante y progresivo incremento en el número de habitantes.

Dinámica demográfica

De acuerdo con los datos del último Censo de Población y Vivienda de INEGI (2010), la población total del municipio de Villa de Tezontepec se distribuye de la siguiente manera: el 49.18% son hombres y el 50.82% son mujeres. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra cómo se distribuye la población por grupos quinquenales de edad y sexo; en ella se observa que el mayor grupo quinquenal de población se concentra entre los rangos de edad entre 10 y 14 años y que dentro de estos rangos, los que presentan tales edades son en ligera mayoría hombres.

Gráfica 1. Pirámide poblacional por grupos quinquenales y sexo en el municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Mortalidad

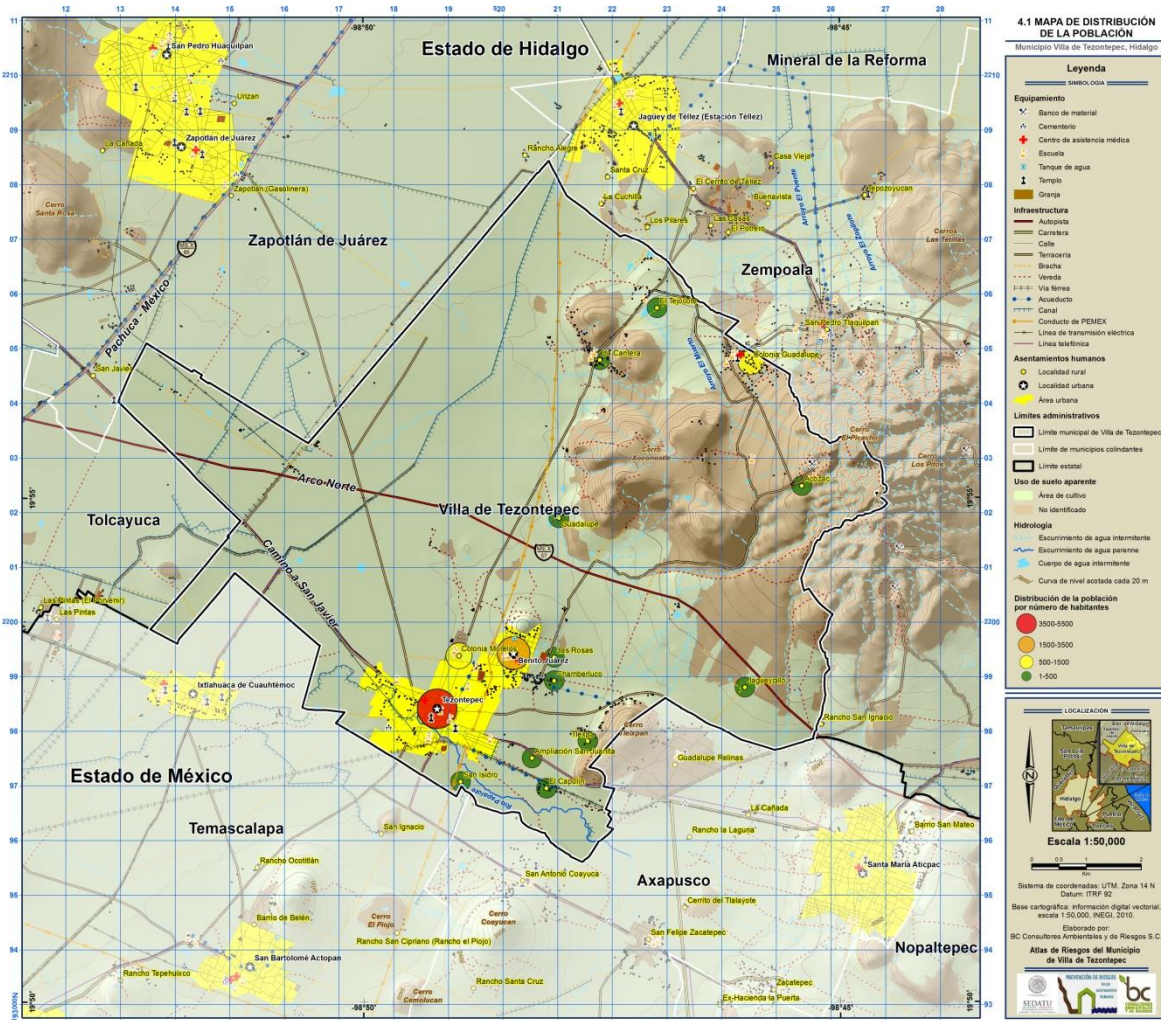
La tasa de mortalidad en el municipio es de 65 defunciones durante 2012, lo cual arroja un índice de mortalidad del 5.57. La Tabla 5 del apartado de anexos muestra la información mencionada.

Localidades y densidad de población

El municipio de Villa de Tezontepec se encuentra conformado por 15 localidades, de las cuales, la cabecera municipal y Benito Juárez son consideradas como localidades urbanas. Los mapas 2.2a y 2.2b permiten observar las principales características de estas localidades. Esta cartografía muestra información básica de la localidad como son: vialidades, traza urbana, infraestructura, equipamiento, principales vialidades, etc.

La distribución de la población por número de habitantes se muestra en el siguiente mapa (mapa 4.1 del Anexo cartográfico). En él se observa que 11 localidades cuenta con una población menor a 500 habitantes; 2 localidades tienen una población entre 500 y 1,000 habitantes; 2 con una población entre 1,500 y 3,500 habitantes; y 1 localidad con una población superior a los 3,500 habitantes.

Mapa 16. Mapa de distribución de la población



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

En lo que respecta a la densidad de población, el promedio a nivel municipal es de 128.54 habitantes por cada kilómetro cuadrado (Km²). Este indicador refleja una baja incidencia de peligros propios de la dinámica de ubicación y desplazamiento de la población, tal como el hacinamiento.

Población indígena

En relación a la población indígena, datos del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010) revela que en todo el territorio municipal, existen 58 habitantes mayores de cinco años de habla indígena, lo que representa el 0.49% del total de la población, misma que se distribuye principalmente en las localidades rurales.

El porcentaje de población indígena citado en el párrafo anterior, permite afirmar que Villa de Tezontepec es un municipio con población predominantemente no indígena.

4.2. Características sociales

Escolaridad

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda del INEGI (2010), el grado promedio de escolaridad a nivel municipal es de 7.89 años, lo cual refleja una escolaridad inferior al promedio estatal (8.10). En el anexo cartográfico, se presenta un mapa que muestra la distribución de la población de la localidad urbana, de acuerdo a su grado promedio de escolaridad.

La distribución de acuerdo a los Agregados Geoestadísticos Básicos (AGEBS) por manzana, muestra diferentes grados de escolaridad que oscilan entre los 5.45 y los 8.76 años.

La escolaridad de la población es un factor que impacta en el grado de vulnerabilidad de la localidad de forma inversa, es decir, a mayor grado de escolaridad, menor grado de vulnerabilidad. De acuerdo con la ponderación establecida por CENAPRED (CENAPRED, 2009), es posible identificar grados de vulnerabilidad que van desde la "muy baja" hasta la "muy alta", teniendo un sentido del centro hacia la periferia de la localidad.

Por otro lado se sabe que el porcentaje de la población analfabeta a nivel municipal alcanza el 4.11%. Este porcentaje se encuentra radicando particularmente en la Cabecera municipal, Benito Juárez, Colonia Morelos, Colonia Guadalupe, entre las más importantes.

En referencia a los niveles alcanzados por la cobertura de educación básica, las cifras de la población que se encuentra en el rango de los 6 y los 14 años que asiste a la escuela es del 95.95%. Esta cifra refleja que existe una buena cobertura.

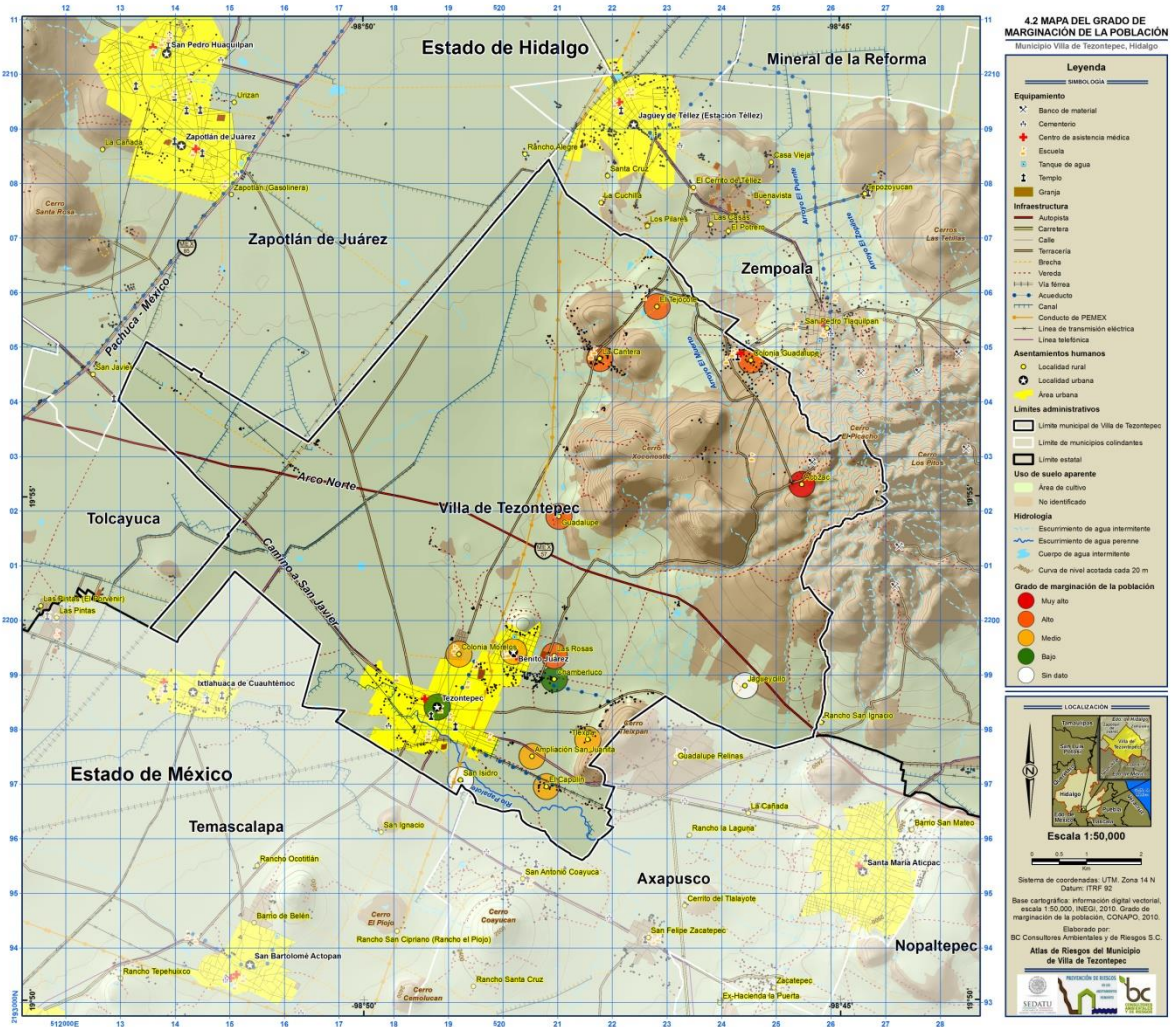
Un análisis a nivel de AGEBS muestra que, para las localidades urbanas, solamente 2 de los Agregados tienen una cobertura menor al 100 por ciento. Esto refleja una baja vulnerabilidad de conformidad con este indicador.

Nivel de Marginación

De acuerdo con datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2013), el municipio de Villa de Tezontepec presenta un índice de marginación de -0.87597, clasificándolo así como un municipio que posee un grado de marginación Bajo. Debido a esto, el municipio se posiciona en el lugar número 1,938 a nivel nacional.

En la Tabla 6 del apartado de Anexos, se pueden observar las localidades que presentan mayor grado de marginación en el municipio de Villa de Tezontepec. En el siguiente mapa (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se presenta la distribución espacial de los niveles de marginación dentro del territorio municipal.

Mapa 17. Distribución de la población según su grado de marginación



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Entre la población marginada se encuentra la población con alguna discapacidad. La Tabla 7 (Población por tipo de discapacidad) muestra el número de habitantes que presentan alguno de los diferentes tipos de discapacidad. Las cifras reflejan la importancia de tomar acciones en materia de protección civil que permitan dar mayor protección a personas con alguna discapacidad. En el apartado de Anexos se encuentra un mapa que muestra la distribución espacial de este estrato de la población.

Pobreza y rezago social

Bajo este tema, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política del Desarrollo Social (CONEVAL, 2013) expresó que, al año 2010, el municipio de Villa de Tezontepec, presentó un Índice de Rezago Social (IRS) de -0.85507, posicionándolo como un municipio cuyo grado de rezago es Muy Bajo, ubicándolo en el lugar número 1,901 en el contexto nacional (esto, de acuerdo con el orden descendente de pobreza y rezago social existente en cada municipio del país).

En lo que respecta al rubro de la pobreza, el CONEVAL indica que el 62.5 % de la población vive en pobreza, con un promedio de 2.2 carencias; en tanto que el 9.0 % se encuentra en situación de pobreza extrema. Este dato ubica al municipio en el lugar 2,190 a nivel nacional.

Otro factor a tomar en cuenta, es la vulnerabilidad derivada del número de carencias sociales, donde el municipio de Villa de Tezontepec alcanza una cifra del 28.6% de la población con tres o más carencias sociales; por otra parte, 22.4% del total de habitantes se considera vulnerable por contar con un ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo.

4.3. Actividades económicas

Actividades agrícolas

Las actividades agrícolas ocupan un lugar muy importante en el desarrollo económico del municipio de Villa de Tezontepec. La superficie total sembrada al año 2010 fue de 3,341 hectáreas (ha).

Entre los principales productos que se cultivan en el municipio se encuentran: la avena forrajera (300 ha), el maíz de grano (257 ha), y el frijol (400 ha).

En lo que respecta al volumen e ingresos que generaron los cultivos mencionados, se tiene que el valor de la producción agrícola total en 2010 fue de \$ 15,489,000.00. Destacando el ingreso por la producción de frijol, que aportó \$ 1,244,000.00

Actividades ganaderas

En lo que respecta a la ganadería, dentro del municipio de Villa de Tezontepec hay una importante producción de aves de corral (2, 369 toneladas), le sigue la producción de ganado bovino (663 toneladas) y el ovino (283 toneladas), todas cifras de 2010.

Estas cifras, junto con la producción de otro tipo de ganado, han generado una derrama económica de más de 73 millones de pesos, beneficiando a la población y sus alrededores.

Actividades comerciales y de servicios

En cuanto a actividades comerciales, de abasto y de servicios, el INEGI (2010) señala que en el municipio se encuentran instaladas 4 oficinas postales y un tianguis; así mismo se realizan actividades de transporte y de servicios. Por otro lado, es conveniente comentar que en el territorio municipal no existen sucursales de la banca comercial.

Características de la población económicamente activa

Según los datos del Censo de Población y Vivienda del INEGI, dentro del municipio de Villa de Tezontepec existe un total de 8,767 habitantes con edad mayor de 12 años, entre los cuales 4,617 son considerados como población económicamente activa; 4,391 se encuentran ocupados y 226 desocupados. Asimismo, se tiene que 4,077 habitantes conforman a la población no económicamente activa del municipio.

Dentro de la población municipal considerada como económicamente inactiva, datos oficiales del Anuario Estadístico 2012 la desagregan de la siguiente manera: 1,353 habitantes son estudiantes; 2,318 habitantes realizan quehaceres en el hogar; 67 habitantes son jubilados y pensionados y 140 son personas incapacitadas permanentemente.

4.4. Estructura urbana

Vivienda

La mayoría de las viviendas son propias y de tipo fija, los materiales utilizados principalmente para su construcción son el cemento, el tabique, el ladrillo, la madera, la lámina de zinc, asbesto o de cartón. Con base a los datos estadísticos del Censo de Población (INEGI, 2010), el municipio de Villa de Tezontepec cuenta con 3,576 viviendas particulares habitadas.

En cuanto a los bienes y características con que cuentan los hogares, el INEGI (2010) ofrece datos importantes sobre las viviendas, sus bienes y servicios, mismos que se encuentran descritos en las tablas 6 a la 11.

Con respecto a los servicios e infraestructura de la cabecera municipal, el mapa 4.5c muestra que, según el tipo de material en el piso de las viviendas, el grado de vulnerabilidad de la población es muy bajo. Esta característica se afirma debido a que el 97.05% de las viviendas cuentan con un material diferente de tierra en el piso. Por su parte, la localidad Benito Juárez presenta un grado muy bajo de vulnerabilidad según el material en el piso de las viviendas, derivado de una cobertura del 94.80% de viviendas con material en piso diferente de tierra mapa 4.6c.

En lo que concierne al abastecimiento de agua en los hogares; el mapa 4.6c del anexo cartográfico muestra que existe un altísimo de cobertura en la cabecera municipal. Esto se debe a que el 99.38% de las viviendas cuentan con este servicio, motivo por el cual el grado de vulnerabilidad de esta población, de acuerdo con la cobertura de agua potables es muy bajo.

Según la disponibilidad de energía eléctrica y de drenaje en las viviendas, se tiene que la localidad de Tezontepec cuenta con amplia cobertura de estos servicios, por tanto se considera que, en los aspectos mencionados, tiene muy baja vulnerabilidad.

En lo referente a la cobertura de la educación básica. El mapa 4.4g presenta un análisis de vulnerabilidad según dicha cobertura. Los resultados reflejan que existe un alto nivel educativo, y por tanto, bajo grado de vulnerabilidad de acuerdo con este indicador.

Hacinamiento

Un aspecto que habla de la calidad de vida de los ciudadanos de cualquier territorio es el grado de ocupación de las viviendas por parte de los habitantes de las mismas. En el caso de México se considera que existe hacinamiento cuando existen más de 3 ocupantes por cada dormitorio de la vivienda.

En este sentido, de acuerdo a los datos del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010) dentro del municipio de Villa de Tezontepec existe un promedio de 1.20 habitantes por cuarto, por tanto se puede afirmar que no existe hacinamiento.

Educación

En relación al desarrollo dentro del sector educativo, la Tabla 14 (Anexos) muestra el número de centros educativos en el municipio por nivel académico y el total de estudiantes en cada nivel en el periodo 2012-2013.

Como se puede ver en la tabla, el mayor número de estudiantes se concentra en la educación primaria, representando en el 51.32% de los estudiantes inscritos en el periodo.

El nivel educativo que le sigue es el de Secundaria, con un 18.59% del total de los estudiantes en el periodo. En tercer lugar, se encuentra la población estudiantil de Secundaria, pues se encuentra representada por un 19.86%.

En cuanto al número de planteles, se observa que en el municipio de Villa de Tezontepec, existen 14 escuelas de preescolar, 12 primarias, 3 secundarias, 1 bachillerato y 1 Institución de Educación Superior (SEV, 2013).

Salud

Dentro del municipio de Villa de Tezontepec, la atención de los servicios médicos es proporcionada por una sola institución (Servicios de Salud del Estado de Hidalgo). La distribución de clínicas y consultas otorgadas al año 2012 se presenta en la Tabla 15.

Población derechohabiente y no derechohabiente

La población de Villa de Tezontepec que tiene derecho a servicios de salud asciende a 6,944 habitantes, lo que representa el 59.58% de la población. En la Tabla 17 se muestra cuáles son las instituciones que tienen mayor y menor número de derechohabientes.

En lo que respecta a la cabecera municipal, el mapa 4.4i (anexo cartográfico) muestra los diferentes rangos de vulnerabilidad según el índice de derechohabiencia en esta localidad.

Es posible notar que la mayor parte de la localidad presenta una baja y muy baja vulnerabilidad de acuerdo a la derechohabiencia a servicios médicos.

5. Identificación de riesgos, peligros y vulnerabilidad ante fenómenos perturbadores de origen natural

En el presente apartado se desarrollan los peligros que afectan al territorio del municipio de Villa de Tezontepec. A lo largo de los textos será posible encontrar una explicación amplia y detallada de las características de los diferentes fenómenos de origen natural que embisten con frecuencia el territorio municipal. De igual manera, se describirán los mapas que describen de forma gráfica los diferentes fenómenos.

Posteriormente se mostrarán los resultados de un estudio de vulnerabilidad social desarrollado con motivo de este atlas. Dichos resultados obedecen a criterios establecidos por CENAPRED (2006) en los cuales se tomó en cuenta la percepción local de la población, la capacidad de respuesta de las autoridades de protección civil y los resultados extraídos de indicadores sociodemográficos a nivel de localidades.

5.1. Peligros Geológicos

5.1.1. Vulcanismo

El municipio de Villa de Tezontepec, como se ha detallado anteriormente, se encuentra embebido en la Cuenca de México, mientras que el vulcanismo que se manifiesta en su territorio tiene su origen en la evolución del arco volcánico Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT). Este se encuentra representado por el cerro El Picacho, que se localiza al este, compuesto por una serie de domos volcánicos riolíticos de edad Pleistocénica (Segerstrom, 1961) y por vulcanismo andesítico y basáltico del Plesitoceno manifestado en domos, coladas de lava y conos de escoria (Mapa geológico).

Aunque es evidente la presencia de actividad volcánica dentro del municipio, no es posible prever o modelar un evento relacionado al vulcanismo monogenético ya que su comportamiento obedece a la migración y evolución del magma y a movimientos estructurales en la corteza terrestre que no pueden predecirse.

5.1.2. Fallas y Fracturas

La superficie terrestre se encuentra fragmentada y deformada por numerosos sistemas de fallas y fracturas, debido primordialmente al desplazamiento de las placas tectónicas. Según Jackson (1997), una falla es una discontinuidad que separa a dos masas rocosas, en la cual una de estas se ha deslizado sobre la otra cuando las fuerzas tectónicas superan su resistencia; mientras que una fractura es el rompimiento de un bloque de roca.

Las evidencias sobre la existencia de dichos sistemas en el terreno, es notable al identificar estructuras morfológicas particulares, tales como escarpes verticales de falla, cicatrices de desprendimiento, valles estructurales rectos y paralelos, etc. A su vez, es posible rastrear los movimientos de fallas en los depósitos de rocas mediante la presencia de estrías, roca cizallada o evidencias de milonitización.

En el Mapa geológico se identifica una falla de tipo normal en la ladera del Cerro Los Pitos, identificada por Mooser *et al.* (1996), quien también menciona la presencia de fracturas orientadas al norte, las cuales no se observan dentro del municipio de Villa de Tezontepec. Mediante el análisis de la sismicidad local y el trabajo de campo no se encontraron evidencias de que esta falla haya tenido actividad en tiempos recientes. Por lo anterior se considera que en Villa de Tezontepec no hay peligro por movimientos de fallas y fracturas.

5.1.3. Sismos

La sismicidad es uno de los fenómenos geológicos potencialmente más destructivos del globo terrestre, la cual está íntimamente relacionada con los procesos geofísicos de la tectónica de placas. La capa externa de la Tierra o litósfera se encuentra constituida por placas las cuales se mueven horizontalmente sobre una superficie de consistencia plástica, la astenósfera, mediante movimientos de convergencia o subducción y divergencia o creación de nueva corteza. Los sismos ocurren mayormente en zonas de convergencia de placas cuando se produce la liberación de la energía acumulada debido a la fricción de los materiales que constituyen a dichas placas.

Más del 80% de la sismicidad del globo terrestre se agrupa en el Cinturón de Fuego o Circumpacífico, el cual se extiende por 40,000 km y recorre las costas de Asia y América. La sismicidad en el territorio mexicano, asociada al Cinturón de Fuego, está dada por la interacción entre las placas tectónicas: Norteamericana, Cocos, Rivera y del Pacífico.

La generación de sismos en el territorio mexicano se debe a dos tipos de interacciones entre placas. A lo largo de la margen costera de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, las placas de Rivera y Cocos se insertan debajo de la placa Norteamericana, debido a la diferencia de densidades, dando lugar al fenómeno tectónico conocido como subducción; por otra parte, entre la placa del Pacífico y la Norteamericana se observa un desplazamiento lateral el cual se extiende desde la zona norte de la península de Baja California, hasta el estado de California en los Estados Unidos. En ocasiones, aunque con menos frecuencia, la placa se fractura lejos de la línea de subducción originando sismos generalmente de menor intensidad y a menores profundidades, a estos se les conoce como eventos intraplaca.

En el manual de Obras Civiles de la Comisión Nacional de Electricidad (CFE) se encuentra publicado el mapa de Regionalización Sísmica de México en el que se clasifica el territorio mexicano en cuatro zonas sísmicas, de la A a la D, las cuales representan un nivel de peligro creciente. De acuerdo a ésta, el municipio de Villa de Tezontepec se encuentra en una zona de sismicidad media (zona sísmica B, Mapa de peligros sísmicos), en donde se registran menor cantidad de epicentros sísmicos y de menor magnitud que en las zonas C y D (catálogo de epicentros sísmicos de la República Mexicana en el periodo 1998-2013, Servicio Sismológico Mexicano), y cuyas aceleraciones no sobrepasan el 70% de la aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2).

Mediante el trabajo de campo realizado en el municipio no se encontraron evidencias de afectaciones por sismos a la infraestructura o a la vivienda; por otro lado, a través de encuestas realizadas a la población, no se recogieron testimonios acerca de eventos sísmicos. Los epicentros sísmicos más cercanos a Villa de Tezontepec se encuentran en el municipio de Temascalapa, el primero a 8.7 Km y el segundo a 18.98 Km, y corresponden a sismos de magnitud 2.4 y 3.1 en la escala de Richter ocurridos el 30 de mayo de 1999 y el 11 de agosto de 2013 (Catálogo de epicentros sísmicos del Servicio Sismológico Nacional, SSN).

La profundidad de los sismos fue de 7 y 10 km respectivamente, los cuales generaron una aceleración de 0.00769 de g (0.7% de la aceleración de la gravedad) para el primer caso y el segundo aceleración de 0.00499 de g (0.4% de la aceleración de la gravedad). Aunque Villa de Tezontepec no se caracteriza por presentar eventos sísmicos de importancia, no se debe descartar la posibilidad de un sismo de mayor magnitud o que pudiera generar mayores aceleraciones.

El análisis del peligro sísmico debe considerar la relación de la magnitud de cada epicentro sísmico y la distancia que existe de éstos al área de estudio, al igual que la determinación de la susceptibilidad del terreno al movimiento, en base a su composición y características litológicas. Para la determinación del peligro sísmico se tomó como referencia la metodología RADIUS (Risk Assessment tools for Diagnosis of Urban areas against Seismic Disasters: Herramientas de

evaluación del riesgo para el diagnóstico de áreas urbanas ante el peligro sísmico), desarrollada por las Naciones Unidas (1998).

Se calculó la aceleración máxima del terreno (PGA, por sus siglas en inglés: Peak Ground Acceleration) mediante la ley de atenuación propuesta por Campbell (1981), la cual se basa en la magnitud del sismo (M) y la distancia del punto de interés al epicentro sísmico (D) y una serie de constantes dependientes de las condiciones locales, haciendo uso de la base de datos de epicentros sísmicos de la República Mexicana del SSN (disponible en <http://www.ssn.unam.mx/>). Para el cálculo de D se tomó en cuenta la magnitud de cada epicentro localizado en un radio de 300 km y la distancia entre estos y 188 puntos de campo considerados (Mapa de peligros sísmicos), los cuales representan los centroides de cada unidad litológica (Mapa geológico).

La susceptibilidad del terreno al movimiento se determinó mediante el cálculo de la velocidad con la que las ondas S (V_s : shear wave velocity) se desplazarían a través de cada una de las unidades geológicas del área de estudio, tomando en consideración los cambios en su topografía. Para este propósito se consideraron como referencia los trabajos de Sun y Chung (2008) y Yong *et al.* (2008). Las ondas S o secundarias, son ondas que se desplazan a través de materiales sólidos en un movimiento de cizalla generando oscilaciones en el terreno, su velocidad varía en función de la composición y topografía del material por el que se transporta; son éstas las que ocasionan la mayor cantidad de afectaciones durante un evento sísmico (Alva, 1996).

Debido a la baja magnitud de los epicentros sísmicos considerados en el análisis y a la distancia en la que se encuentran del municipio, las aceleraciones obtenidas presentan valores muy bajos. La aceleración más alta obtenida, corresponde a un sismo de 2.4 en la escala de Richter ocurrido el 30 de mayo de 1999, a una profundidad de 7 km (catálogo de epicentros sísmicos del Servicio Sismológico Nacional, SSN), generando una aceleración de 0.00769 de g (0.7 % de la aceleración de la gravedad) en el punto más cercano, tomando como referencia que 100% = 1 g = 9.8 m/s^2 . El valor más bajo se obtuvo de un sismo de 3.1 en la escala de Richter ubicado hacia el sur del Municipio de Temascalapa, para el cual se obtuvo una aceleración de 0.00499 de g (0.4%).

Por otra parte, para la determinación de la susceptibilidad del terreno al movimiento, se establecieron valores de V_s de 200 – 530 para los depósitos de aluvión, los cuales están compuestos por material no consolidado, consistente en gravas, arenas y limos mezclados con cenizas de composición intermedia y en el que las ondas s rebotan y amplifican su efecto. A los conos de escoria y flujos piroclásticos se les asignó valores de V_s de 345 – 730. Y para las áreas de flujos de lava andesítica, riolítica y domos andesíticos se le adjudicó valores de V_s de 345 – 840. Por otro lado, de acuerdo a diversos modelos, las ondas S modifican su velocidad al encontrarse con cambios en la inclinación de los estratos litológicos, desacelerando cuando el grado de inclinación es mayor, por lo que se consideró a la pendiente como un factor diferenciador dentro del análisis.

Debido a que la sismicidad está ligada al comportamiento de las placas litosféricas, y debido a la reducida base de datos sísmicos que se conocen para la República Mexicana, es relevante realizar una proyección temporal que permita crear escenarios, con el objetivo de establecer medidas prevención y mitigación ante este fenómeno. Con esta finalidad se calcularon periodos de retorno sísmico a 10, 100 y 500 años mediante un análisis estadístico, empleando el método de distribución de valores extremos generalizada, los resultados se interpolaron mediante el método *spline* con el fin de obtener isolíneas que relacionaran puntos de igual aceleración.

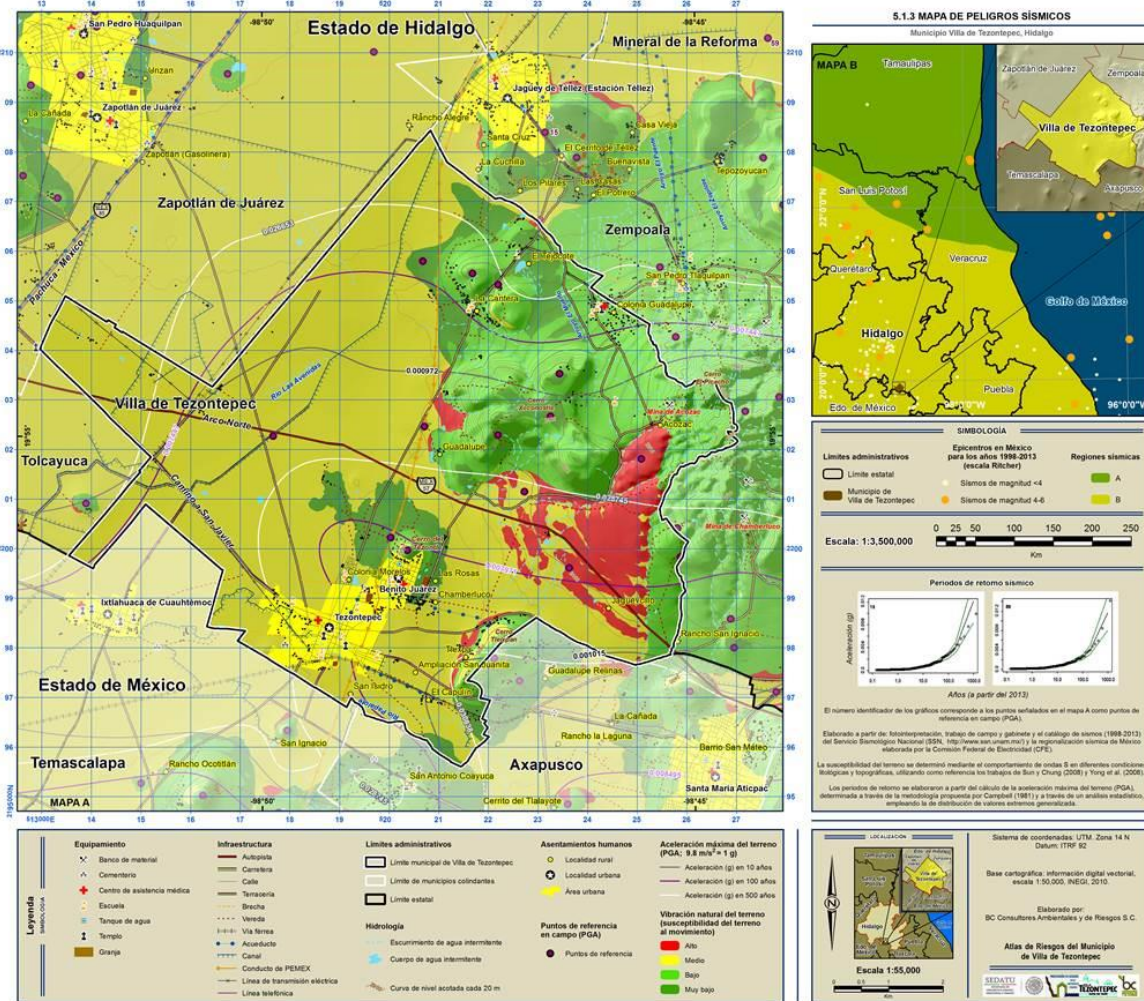
Se considera que para los tipos constructivos que se emplean normalmente en México, los daños son considerables a partir de una aceleración del terreno (PGA) igual o mayor a 15% de g (CENAPRED, 2006). Se ha observado también que un sismo puede ocasionar afectaciones menores desde aceleraciones de 5% de g .

Mediante la modelación empleada se obtuvieron valores de aceleración que pueden considerarse como no peligrosos, incluso en un periodo de retorno de 500 años se obtuvo un valor máximo de PGA de 3.29% de g .

Los valores de aceleración del terreno (PGA) obtenidos para el municipio se encuentran por debajo de los niveles considerados como peligrosos. En un periodo de retorno de 10 años se obtuvieron

valores de 0.000972 (0.0972% de g) al noroeste del municipio incrementándose hasta 0.001015 (0.1015% de g) hacia el sur. En un periodo de retorno de 100 años se obtuvieron valores que oscilan de 0.007447 (0.7447% de g) al noroeste hasta 0.008495 (0.8495% de g) al centro y sureste de Villa de Tezontepec, en donde se encuentra La Colonia Morelos, Chamberluco, San Isidro, El capulín Loma y la cabecera municipal. En un periodo de retorno de 500 años se observan aceleraciones de 0.02456 (2.456% de g), hasta 0.032931 (3.2931% de g).

Mapa 18. Mapa de Peligros Sísmicos



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.1.4. Tsunamis

Los tsunamis son fenómenos originados por perturbaciones tectónicas en el lecho oceánico. Generalmente ocurren cuando existe una dislocación vertical en la corteza terrestre, derivada de un fuerte movimiento telúrico. Se caracterizan por grandes olas que irrumpen en la superficie continental por varios kilómetros, sin embargo las características de dicho fenómeno dependen de diversos factores, tales como la batimetría, pendiente, configuración de la costa, difracción, refracción, esparcimiento y atrapamiento de las ondas en las diversas formaciones fisiográficas costeras (bahías, golfos, penínsulas, islas, deltas, cabos, plataformas, etc.), de los modos normales de resonancia y de la formación de bordes en playas, estuarios y lagunas costeras (Cenapred, 2005).

La altura de las olas varía según la intensidad del fenómeno, para el caso de México se han registrado olas de hasta 11 metros de altura en las costas del Océano Pacífico. Los tsunamis originados en esta zona se deben primordialmente a la ocurrencia de sismos locales originados en la Fosa Mesoamericana y que han afectado principalmente en los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Cenapred, 2005). Debido a ello se concluyó que dicho fenómeno no se presenta en el municipio de Villa de Tezontepec y por lo tanto se categorizó como "No aplica".

5.1.5. Inestabilidad de laderas

La inestabilidad de laderas es uno de los peligros naturales más destructivos que existen. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), considera a los fenómenos de caídas o derrumbes, deslizamientos y flujos como mecanismos que evidencian la inestabilidad en una ladera. A su vez, considera dos factores que determinan la ocurrencia de dichos fenómenos; el primero es el factor interno, el cual se refiere a las fuerzas que se ejercen en el interior de la ladera disminuyendo la resistencia de los materiales, es decir disminuyen la concentración de fuerzas resistentes, como la composición, textura, intemperismo, características físico-químicas, etc. La segunda se refiere a factores externos o “fuerzas motoras o actuantes” los cuales ocasionan aumento en las fuerzas ejercidas en la ladera, tales como erosión, sismos, precipitaciones, construcciones, extracción de materiales, entre otros. (CENAPRED, 2013).

Alcántara (2000), considera a los fenómenos de desprendimientos o caídas, vuelco o desplome, deslizamiento rotacional simple, deslizamiento translacional o de bloques no rotacional, deslizamiento planar, flujos, expansión lateral y complejos, como procesos de remoción en masa cuyas causas pueden ser externas o internas.

Los desprendimientos o caídas se clasifican según el material involucrado en el movimiento, ya sean caídas o desprendimientos de rocas, de detritos y suelos. En general los desprendimientos son movimientos en caída libre de distintos materiales, los cuales pueden deslizarse, fluir, rebotar o rodar. Así mismo, la velocidad de estos movimientos puede ser rápida o extremadamente rápida y ocurren en laderas fuertemente inclinadas.

El vuelco o desplome es la rotación de una masa de roca, suelo o detritos en torno a un eje, determinado por su centro de gravedad; su movimiento puede ser hacia adelante o hacia la parte externa y ocurren en superficies donde existen discontinuidades como grietas de tensión o superficies columnares.

Referente a los deslizamientos, Alcántara (2000) los define como movimientos de una masa de detritos, roca o suelo ladera abajo. Según la superficie de ruptura los deslizamientos se clasifican en deslizamientos rotacionales, asociados a superficies cóncavas, convexas o con forma de cuchara; movimientos translacionales, donde la superficie de ruptura es ondulada o semiplana; y deslizamientos planos, los cuales se presentan en superficies planas.

Los movimientos denominados como expansiones laterales se deben a la fracturación y expansión de suelo o rocas como consecuencia de la licuefacción o fluidización del material inferior. Finalmente, los movimientos complejos son aquellos que se transforman conforme avanzan ladera abajo, como los aludes o avalanchas de rocas y algunos flujos deslizantes; estos se caracterizan por su capacidad de desplazamiento así como por la gran velocidad que los mismos alcanzan (Alcántara, 2000).

Para el análisis de inestabilidad de laderas se obtuvo una zonificación de la susceptibilidad del terreno a deslizarse mediante la combinación, valoración y peso relativo de diversos indicadores, basada en la metodología propuesta por Mora (2004) y los trabajos de Bieniawski (1989) y Hernández (2008).

La combinación de los factores y parámetros se aplicó tomando en consideración que un movimiento del terreno ocurre en una ladera con una litología, pendiente y humedad determinada, cuando alcanza cierta susceptibilidad. Como factor externo de disparo se consideró a la precipitación máxima anual histórica en un periodo de 24 horas; la sismicidad no se consideró en este sentido debido a las bajas aceleraciones obtenidas mediante el análisis. La integración de los parámetros se realizó mediante la fórmula:

$$H = EP * D$$

En donde:

H: grado de susceptibilidad al movimiento del terreno,

EP: valor producto de los elementos pasivos,

D: valor del factor de disparo.

Los elementos pasivos, por su parte, se refieren a los siguientes parámetros (Mora, et al., 1992):

$$EP = Si * Sh * Sp$$

En donde:

Si: valor del parámetros de susceptibilidad litológica,

Sh: valor del parámetro de humedad del terreno,

Sp: valor del parámetro de la pendiente.

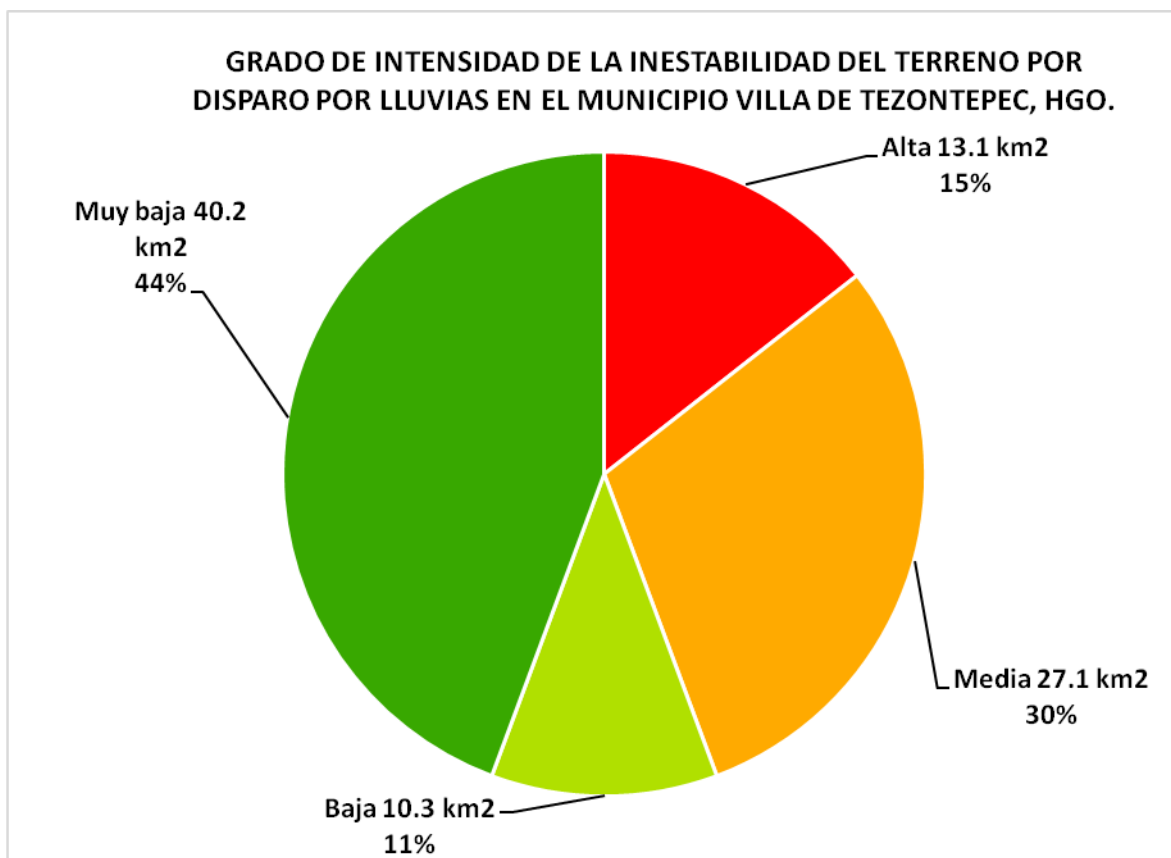
Cabe mencionar que, aunque no se incluyen en la fórmula de susceptibilidad, en el análisis realizado se integró a la vegetación, aspecto y curvatura del relieve como parámetros de importancia ya que tanto la morfometría del relieve como la vegetación pueden coadyuvar o impedir un movimiento en el terreno.

La inestabilidad de laderas en Villa de Tenzontepec, se acentúa sobre el 15% del territorio municipal (Gráfica 2) en la vertiente este-noreste del mismo, donde se localizan las principales elevaciones de la zona de estudio, el cerro Los Pitos, cerro El Picacho, cerro Xoconostle y cerro La Cantera, donde las pendientes oscilan entre los 20° y 40° de inclinación. Según testimonios locales, han ocurrido derrumbes en el cerro El Picacho, donde se encuentra la mina de Acozac debido a la constante extracción de materiales, así como por abundantes lluvias acaecidas en días anteriores. Así mismo, esta zona de laderas riolíticas y domos volcánicos del Plioceno funge como emisor de materiales (sedimento y roca) hacia la planicie fluvio-lacustre localizada en la vertiente norte, oeste, suroeste, central y sur del territorio municipal (Mapa de peligros por inestabilidad de laderas y procesos de remoción en masa).

La intensidad de peligro media representa el 30% del total municipal (Gráfica 2), se localiza entre las pendientes de 1.5° a 10° de inclinación, en los abanicos aluviales y coladas de lava del Cuaternario y Plioceno-Cuaternario de los macizos montañosos citados anteriormente, así como en la colada de lava del cerro Tleixpan, los cuales fungen como zonas de transporte de materiales provenientes de las zonas de emisión. Cabe mencionar, que aquí se ubican las localidades de Tleixa, La Cantera, El Tejocote y Colonia Guadalupe.

Finalmente, los rangos de intensidad baja y muy baja son los predominantes en el municipio, ya que se extienden sobre el 55% del territorio (Gráfica 2) sobre la planicie fluvio-lacustre de litología aluvial del Cuaternario, y donde a su vez se localizan las zonas de recepción de los materiales provenientes de las áreas de emisión y transporte. Es en esta zona en donde se establecen la mayoría de las localidades, así como la cabecera municipal.

Gráfica 2. Inestabilidad del terreno por disparo por lluvias



Fuente: BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

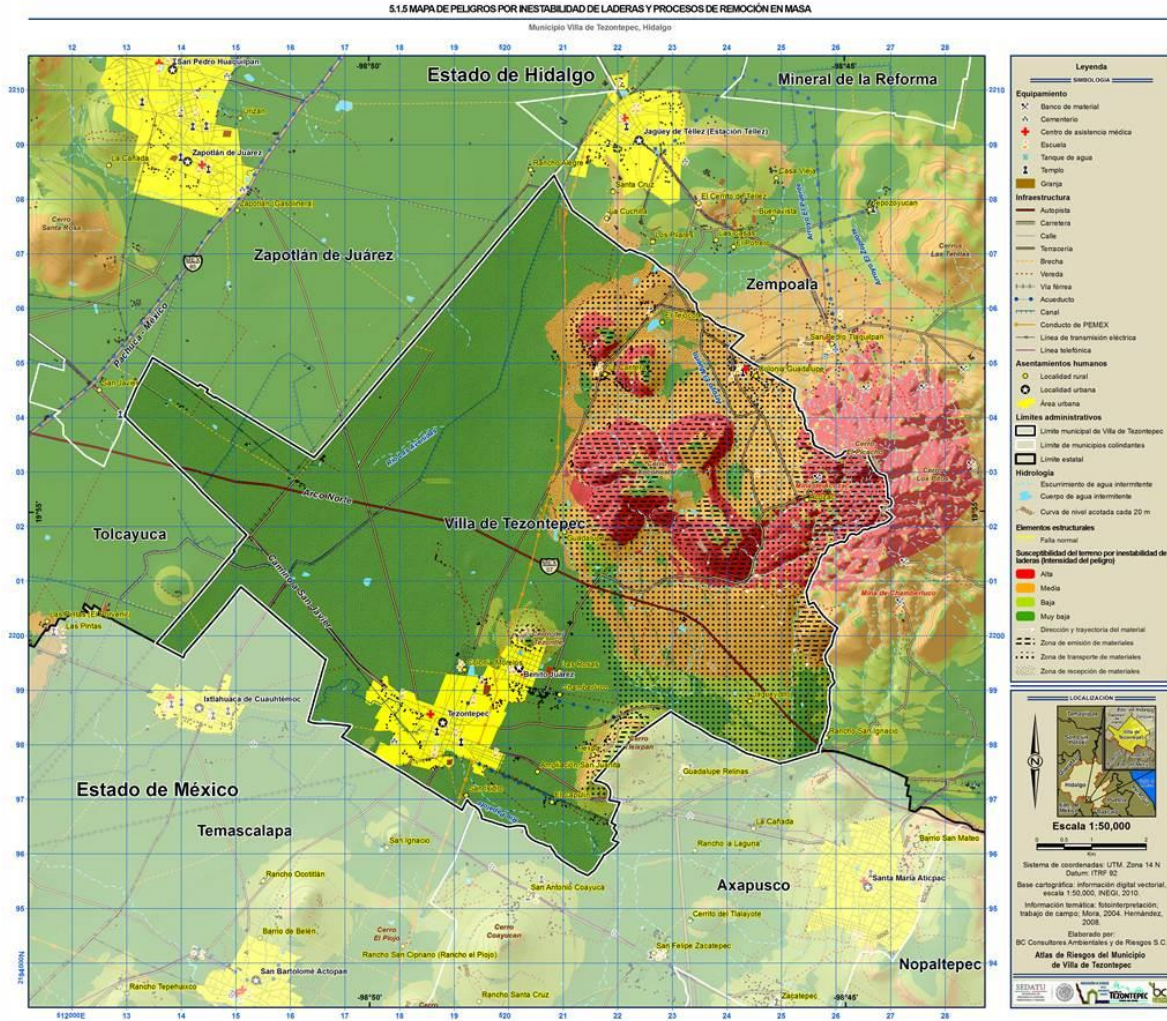
En la siguiente tabla, se muestran las localidades del municipio de Villa de Tezontepec con su respectivo grado de intensidad de peligro por inestabilidad de laderas, así como de otros atributos relevantes utilizados para determinar y cuantificar el mismo fenómeno.

Localidad	Número de habitantes	Litología	Precipitación máxima	Grado de peligro por inestabilidad de laderas
Acozac	94	Aluvión	100-200	Alta
Ampliación San Juanita	20	Aluvión	<100	Muy Baja
Benito Juárez	2792	Flujo de Lava Andesítica	<100	Baja
Chamberluco	257	Aluvión	<100	Muy Baja
Colonia Guadalupe	1233	Flujo Piroclástico	100-200	Media

Localidad	Número de habitantes	Litología	Precipitación máxima	Grado de peligro por Inestabilidad de laderas
Colonia Morelos	1284	Aluvión	<100	Muy Baja
El Capulín	90	Aluvión	<100	Muy Baja
El Tejocote	131	Flujo de Lava Andesítica	100-200	Muy Baja
Guadalupe	4	Flujo de Lava Andesítica	100-200	Baja
Jagüeycillo	1	Aluvión	<100	Media
La Cantera	298	Flujo de Lava Andesítica	100-200	Media
Las Rosas	27	Flujo de Lava Andesítica	<100	Muy Baja
San Isidro	5	Aluvión	<100	Muy Baja
Tezontepec	5214	Aluvión	<100	Muy Baja
Tlexpa	204	Flujo de Lava Andesítica	<100	Media

Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Mapa 19. Mapa de peligros por Inestabilidad de Laderas



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.1.6. Flujos (lahares / avalanchas)

Los flujos son movimientos continuos de una masa de suelo y fragmentos de roca pendiente abajo de una ladera, sobre una superficie de falla, en donde sus partículas tienen movimientos relativos dentro de la masa en la que se mueven. Los flujos se caracterizan en base a la proporción de agua y sedimentos que los componen. En orden de mayor a menor concentración de material sólido, los flujos se clasifican en: flujos de lodo, flujos hiperconcentrados y flujos de escombros.

Lahar, por otro lado, es una palabra indonesia que refiere a un flujo que se desliza por las laderas de un volcán. El agua que forma la mezcla puede tener varios orígenes, tales como lluvia intensa, fusión de nieve o glaciares por actividad volcánica, o simplemente inestabilidad morfológica.

Existen registros acerca de lahares en el municipio de Villa de Tezontepec, De Cserna *et al.* (1988) mencionan depósitos laháricos en el pie de monte del Cerro de los Pitos, al igual que Zamorano-Orozco *et al.* (2002), sin embargo no se conoce su composición, volumen y se encuentran mezclados con los flujos piroclásticos por que fue imposible modelar lahares o definir el peligro que pudiera ocasionar este fenómeno.

5.1.7. Caídas, Derrumbes y Deslizamientos

Los desprendimientos, caídos o derrumbes son movimientos en caída libre de cualquier tipo de material, ya sea roca, detritos o suelo. Este proceso se origina por el desprendimiento de material de una superficie inclinada, el cual posteriormente puede rodar, deslizarse o fluir (Alcántara, 2000).

Este fenómeno se explica a fondo en el apartado de inestabilidad de laderas.

5.1.8. Hundimientos

El término de hundimiento hace referencia al movimiento vertical y súbito del suelo, por acción y efecto de la gravedad, que afecta y desplaza el suelo, desde algunos centímetros hasta varios metros en un periodo de tiempo muy corto (Enríquez *et al.*, 2009 y CENAPRED, 2013).

Puesto que este fenómeno responde a factores tanto geológicos, como antrópicos, se dice que en general, este fenómeno se puede desarrollar bajo dos condiciones físicas del medio para considerar la probable ocurrencia de hundimientos en un área específica: 1) la presencia de formaciones calcáreas (karst) en la zona, de espesor importante (mayor a 20 metros) y altamente susceptibles a la erosión hídrica, y 2) la urbanización de áreas cubiertas por sedimentos aluviales y lacustres, principalmente en altitudes importantes por encima del nivel del mar, que potencien el socavamiento y en consecuencia, el hundimiento de la superficie, como sucede en la ciudad de México (Tomás *et al.*, 2009).

El municipio de Villa de Tezontepec se encuentra asentado sobre un sustrato aluvial compuesto de material poco consolidado, y rocas volcánicas densas y bien consolidadas con muy baja susceptibilidad a la erosión. Debido a ello no se consideró que el relieve del municipio de Villa de Tezontepec sea susceptible a presentar hundimientos, además de que mediante las encuestas realizadas la población no manifestó la ocurrencia de este fenómeno.

5.1.9. Subsistencia

La subsidencia es un fenómeno geológico que hace referencia al hundimiento paulatino de la corteza terrestre como consecuencia de los procesos morfotectónicos y de sedimentación o de los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos (González de Vallejo *et al.*, 2002; Tomás *et al.*, 2009). Dicho de otra forma, la subsidencia es un fenómeno visible en la superficie terrestre a través del asentamiento de un área extensa debido a una serie de mecanismos subsuperficiales de deformación que pueden ser de origen natural o antrópico (Corapcioglu, 1984; Tomás *et al.*, 2009).

Considerando la génesis de este fenómeno, Prokopovich (1979) define dos tipos de subsidencia: endógena, haciendo referencia a aquellos movimientos de la superficie terrestre asociados a procesos geológicos internos como pliegues, fallas y vulcanismo; y exógena, refiriéndose a los procesos de deformación superficial relacionados con la compactación natural o antrópica de los suelos.

Pese a que la subsidencia es un fenómeno que no suele ocasionar víctimas mortales, su estudio es de gran importancia ya que puede ocasionar cuantiosos daños materiales, específicamente en edificaciones, canales, conducciones y vías de comunicación en las zonas urbanas asentadas sobre el terreno donde se manifiesta. Así mismo, la monitorización de la subsidencia permite determinar la extensión de la zona afectada, las velocidades de asentamiento del suelo, los mecanismos que lo rigen, los instantes críticos de aceleración del proceso de consolidación del terreno, así como evaluar la efectividad de las medidas de corrección y/o mitigación adoptadas (Tomás *et al.*, 2006).

En el municipio de Villa de Tezontepec no se encontraron evidencias de procesos de subsidencia procesos de sedimentación del sustrato; aunado a ello, mediante las encuestas realizadas, la población no manifestó la presencia de este fenómeno.

5.1.10. Agrietamientos

Los agrietamientos hacen referencia a zonas de desplazamiento de dos planos de la superficie en un movimiento ya sea vertical u horizontal. Lugo-Hubb (2011) define un agrietamiento como la desmembración de las rocas en una serie de bloques por planos de fisuras debido a diferentes fenómenos, tales como movimientos tectónicos, desplazamiento por gravedad, compactación, congelación y deshielo, e intemperismo en general.

En lo que respecta al municipio de Villa de Tezontepec, no existe peligro derivado de agrietamiento debido a que el sustrato litológico no es propicio para su desarrollo; así mismo, es importante resaltar que durante el trabajo en campo no se observaron evidencias de este fenómeno, y en las encuestas aplicadas a la población, no se mencionó ningún evento asociado a él.

5.1.11. Erosión

Erosión Hídrica Villa de Tezontepec

La erosión hídrica se define como la remoción laminar o en masa de los materiales del suelo debido a la acción de la lluvia y del escurrimiento superficial. Actualmente, la erosión hídrica es uno de los fenómenos que se encuentra en aumento debido al cambio de uso de suelo sin planeación (SEMARNAT, 2013). A nivel nacional es el segundo proceso de degradación del suelo más severo, afectando un 11.9% de la superficie del país, principalmente en los estados de Guerrero, Puebla, Morelos, Oaxaca y estado de México, así como en las regiones montañosas de los estados de Veracruz y Chiapas (SEMARNAT, 2013).

La erosión hídrica es además un fenómeno asociado con otros peligros, como los movimientos de remoción en masa y las inundaciones, ya que el aumento de la erosión hídrica está relacionado con el aumento del escurrimiento superficial, provocado por la remoción de la vegetación o los cambios de uso de suelo en zonas de captación hídrica y con erosión hídrica potencial alta y muy alta (Gordon & Edwards, 2006). Así mismo, el aumento del suelo erosionado que son arrastrados por los escurrimientos superficiales, ocasionan eventualmente el azolve de ríos y cuerpos de agua, lo que afecta su calidad y los procesos hidrológicos de los ecosistemas (SEMARNAT, 2013). Por lo tanto, la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica es un paso fundamental para la planeación y uso de los recursos naturales (Shinde, Tiwari, & Singh, 2010).

La estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica se puede realizar a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en inglés), que es el modelo cuantitativo paramétrico de mayor aplicación para la estimación de la erosión hídrica. Este modelo plantea que la erosión hídrica está determinada principalmente por cinco factores: erosividad de la lluvia (R); erodabilidad del suelo (K); longitud e inclinación de la pendiente (LS), cobertura vegetal y uso del suelo (C); y prácticas de mecánicas de control de la erosión (P). A partir de estos factores se puede estimar la pérdida de suelo por unidad de superficie (Almorox Alonso, De Antonio García, Saa Requejo, Díaz Álvarez, & Gascó Montes, 1994) (Ramírez León, 2009) (Clérici & García Préchac, 2001).

Cuando a partir de la fórmula de la USLE se calculan sólo los factores R, K y LS, se estima entonces la erosión hídrica potencial, es decir, cuánto suelo se perdería si se mantiene el suelo en condiciones estándar del factor K. Es decir, sin cobertura vegetal (suelo desnudo), o con laboreo secundario y a favor de la pendiente (Wischmeier, 1976) (Wischmeier & Smith, Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning, 1978) (Laura-Ramírez, 2010).

El factor de erosividad de la lluvia o factor R, estima la pérdida del suelo en relación a la precipitación acumulada para un periodo de interés, con cierta probabilidad de ocurrencia, lo cual se expresa en MJ/ha*mm/hr (Almorox Alonso, De Antonio García, Saa Requejo, Díaz Álvarez, & Gascó Montes, 1994).

Relacionado con lo anterior, se define el factor de erosionabilidad del suelo, o factor K, que es la cantidad promedio de suelo perdido, en relación con la lluvia, cuando el suelo en cuestión es mantenido sin cobertura (suelo desnudo), con laboreo secundario y a favor de la pendiente (condiciones de máximas erosión posible), y que se expresa en Ton*ha*hr/ha*MJ*mm (Almorox Alonso, De Antonio García, Saa Requejo, Díaz Álvarez, & Gascó Montes, 1994).

Sin embargo, cabe resaltar que entre los factores más importantes para la erosión del suelo está el de longitud e inclinación de la pendiente o factor LS (Barrios, 2000). El factor de longitud de pendiente (L), es la relación entre la erosión con una longitud de pendiente dada, y la que ocurre en el estándar de 22.1 m de longitud (Almorox Alonso, De Antonio García, Saa Requejo, Díaz Álvarez, & Gascó Montes, 1994). Por otro lado, el factor de inclinación de pendiente (S), es la

relación entre la erosión con una inclinación de pendiente dada y la que ocurre en el estándar de 9% de inclinación (Almorox Alonso, De Antonio García, Saa Requejo, Díaz Álvarez, & Gascó Montes, 1994).

En base a lo anterior se estimó la erosión hídrica potencial para el municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo, con información de precipitación acumulada anual obtenida de la base de datos del ERIC III; tipo de suelos y textura obtenida de los datos vectoriales de edafología del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); y longitud e inclinación de pendiente calculada a partir de modelos digitales del terreno elaborados a partir de las curvas de nivel de los datos vectoriales topográficos del INEGI.

A partir de lo anterior se realizó el análisis de la distribución espacial de la erosión hídrica potencial y su mapeó, para representar de manera gráfica el comportamiento de este peligro a escala municipal. Como resultado se obtuvieron cuatro zonas con condiciones de erosión hídrica potencial, las cuales además se corroboraron con los datos de campo. Finalmente, en la tabla 1 se resumen los resultados de las zonas de pérdida de suelo por erosión hídrica, con sus respectivas extensiones en relación a la superficie total del municipio.

Tabla 1. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica potencial para el municipio de Villa de Tezontepec.

Pérdida de suelo	Superficie en km²	Porcentaje respecto al total municipal
Menos de 10 toneladas por hectárea al año	48.87	53.91%
De 10 a 50 toneladas por hectárea al año	27.26	30.07%
De 50 a 200 toneladas por hectárea al año	11.18	12.34%
De 200 a 1,000 toneladas por hectárea al año	3.32	3.66%

Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Pérdida de suelo de menos de 10 toneladas por hectárea al año

La estimación de la erosión hídrica potencial para el municipio de Villa de Tezontepec, indica que, en términos generales, aproximadamente el 53.91% (48.87 km²) del territorio municipal presenta condiciones de erosión hídrica potencial muy baja, con una pérdida potencial de suelo estimada de menos de 10 toneladas por hectárea al año. Esta condición de pérdida de suelo coincide con las unidades fisiográficas de planicie subhorizontal fluvial y llanura fluvial (Mapa Fisiográfico).

Esta zona presenta pendientes menores a 1 grado de inclinación (Mapa de pendientes); suelos de tipo Durisol vértico con textura fina, Vertisol dúrico con textura fina, Durisol háplico con textura media y Fluvisol háplico con textura fina, que en general presentan condiciones de erodabilidad media a alta; y una precipitación acumulada anual de 513.6 mm, que provoca una erosividad de aproximadamente 1,200 Mj/ha*mm/hr, lo cual se clasifica como un grado medio de erosividad de la lluvia (Antezana, 2001).

El principal uso de suelo en esta zona es el agrícola, pero además también se encuentran asentadas las zonas urbanas de Tezontepec y parte de Benito Juárez, así como las localidades de Colonia Morelos, San Isidro, El Capulín y Ampliación San Juanita.

Pérdida de suelo de 10 a 50 toneladas por hectárea al año

Las zonas con condiciones de pérdida de suelo por erosión hídrica estimada de 10 a 50 toneladas por hectárea al año, abarcan una superficie de 27.26 km², que representa el 30.07% del territorio municipal. Esta condición de pérdida de suelo se presenta principalmente en las unidades fisiográficas de planicie de piedemonte fluvial, planicie ondulada volcánica y planicie de piedemonte volcánico (Mapa Fisiográfico).

Las pendientes en esta zonas se encuentran entre 1 y 5 grados de inclinación; los tipos de suelos son Vertisoles háplicos, Regosoles háplicos y Durisoles háplicos principalmente, con textura media en general; y el grado de erosividad de la lluvia medio en general. Así mismo, los usos del suelo que dominan en esta zonas son el agrícola y algunos asentamiento humanos como la zona urbana de Benito Juárez y otras localidades rurales como El Tejocote, Colonia Guadalupe, La Cantera, Guadalupe, Jagüeycillo, Las Rosas y Chamberluco.

Pérdida de suelo de 50 a 200 toneladas por hectárea al año

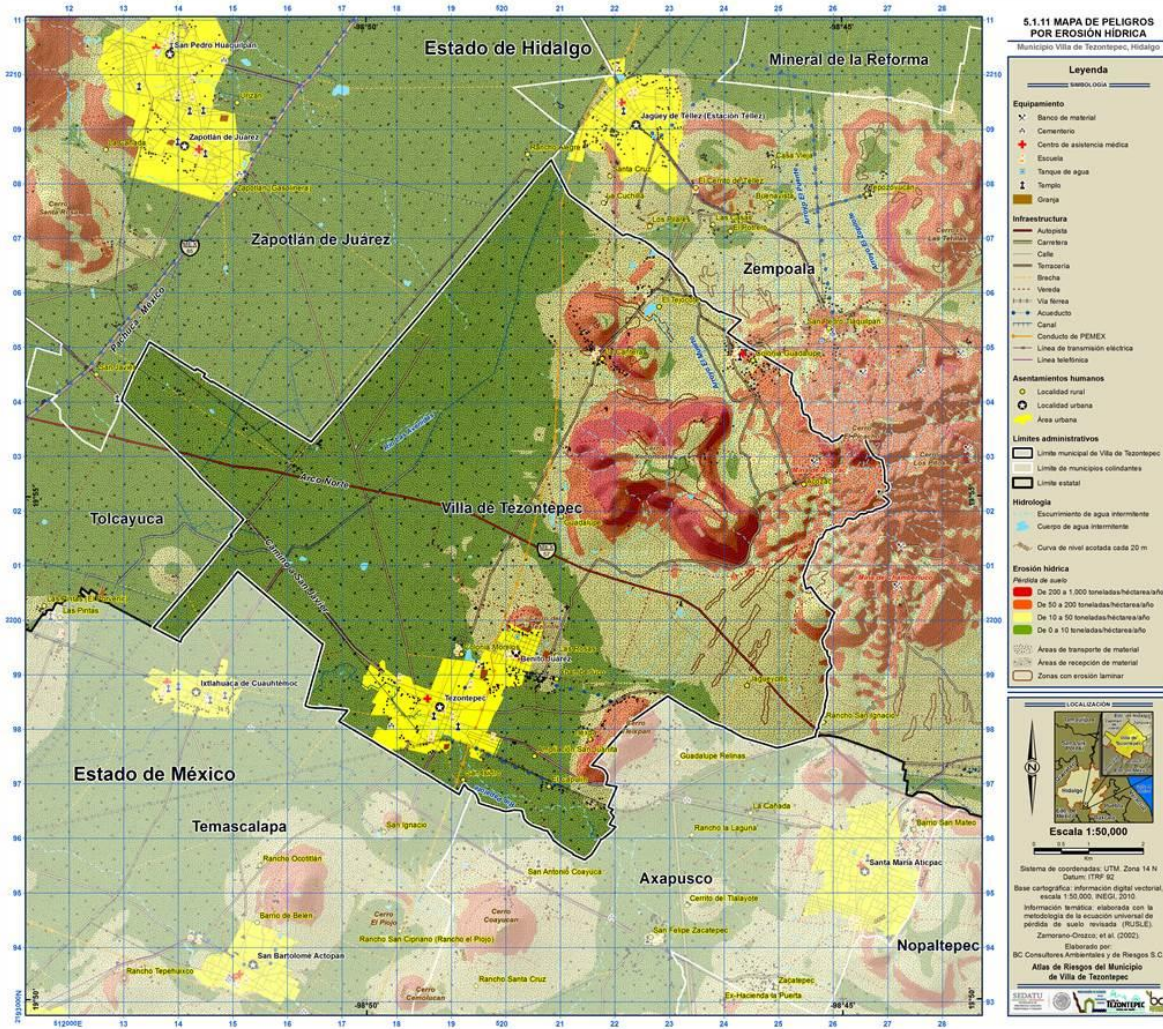
Esta condición de pérdida de suelo por erosión hídrica, abarca una superficie de 11.18 km² aproximadamente, que corresponde con el 12.34% del área municipal. Son zonas clasificadas como de peligro medio, y se ubican principalmente en paisajes o unidades fisiográficas de planicie de piedemonte volcánico, piedemonte fluvial, colina volcánica, lomerío volcánico, montaña volcánica y parte de planicie ondulada volcánica (Mapa Fisiográfico).

Las características de la pendiente en esta zona se encuentran entre 5 y 15 grados de inclinación, con suelos de tipo Regosol háplico, Durisol léptico, Regosol lítico, Leptosol lítico con texturas medias en general, y un grado medio de erosividad de la lluvia. El uso de suelo en esta zona es el agrícola, bancos de material y asentamientos humanos como La Colonia Guadalupe, La Cantera, Acozac y Tlexpa. Sin embargo, gran parte de la extensión de esta zona se encuentra cubierta por vegetación de matorral crasicaule.

Pérdida de suelo de 200 a 1,000 toneladas por hectárea al año

La zonas con esta estimación de pérdida de suelo son las que menor extensión ocupan en el municipio, abarcando alrededor de 3.32 km², que representa el 3.66% del área municipal. Sin embargo, estas zonas son las que presentan mayor atención debido a que se clasifican como de peligro alto. Esto es debido a que estas zonas se encuentran en las zonas de montañas, donde se presentan pendientes de 15 a 40 grados de inclinación, con suelos de tipo Regosol lítico con textura media y un grado medio de erosividad de la lluvia. El tipo de cobertura del suelo en esta zona es principalmente matorral crasicaule y no se encuentran asentamientos humanos u otros usos del suelo.

Mapa 20. Mapa de Erosión Hídrica



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.2. Peligros Hidrometeorológicos

5.2.1. Ondas cálidas y gélidas

Peligros por ondas gélidas

En algunos países, el fenómeno de las bajas temperaturas, o frío, como se le conoce comúnmente, es tan frecuente que la gente está acostumbrada a vivir con él; en cambio, en otros, sobre todo aquellos de latitudes tropicales, ocurren ocasionalmente, por lo que toma desprevenida a la población. Las bajas temperaturas y los fenómenos relacionados con ellas pueden causar varios problemas en los países afectados, principalmente en la salud de la población, así como para sus animales domésticos y cultivos; también puede tener efectos negativos en la infraestructura (CENAPRED, 2006).

La República Mexicana se caracteriza por una diversidad de condiciones de temperatura y humedad. Por su ubicación geográfica se encuentra entre dos grandes regiones climáticas, la temporada al norte del trópico de Cáncer y la tropical, al sur de éste. Debido a la forma del relieve, la altitud, extensión territorial y su localización entre dos océanos se producen diversos fenómenos atmosféricos, según la época del año; por ejemplo, en el invierno que es frío y seco, el país se encuentra bajo los efectos de las masas polares y frentes fríos, que ocasionan bruscos descensos de temperatura, acompañados generalmente de problemas en la salud de la población (CENAPRED, 2006).

El ser humano es vulnerable a ciertas temperaturas, tanto por arriba de un umbral, como por debajo de otro. Este documento se ocupa de aquellas temperaturas que están por debajo de un cierto umbral. Por otro lado, es de interés analizar aquellos eventos extremos, es decir, poco frecuentes, que pueden perjudicar, de manera excepcional a la población, y no el evento normal que se presenta cada mañana antes del amanecer. Adicionalmente es un hecho que junto con la presencia de bajas temperaturas debe analizarse su duración. Dos de las enfermedades que puede presentar la población de Villa de Tezontepec son las siguientes:

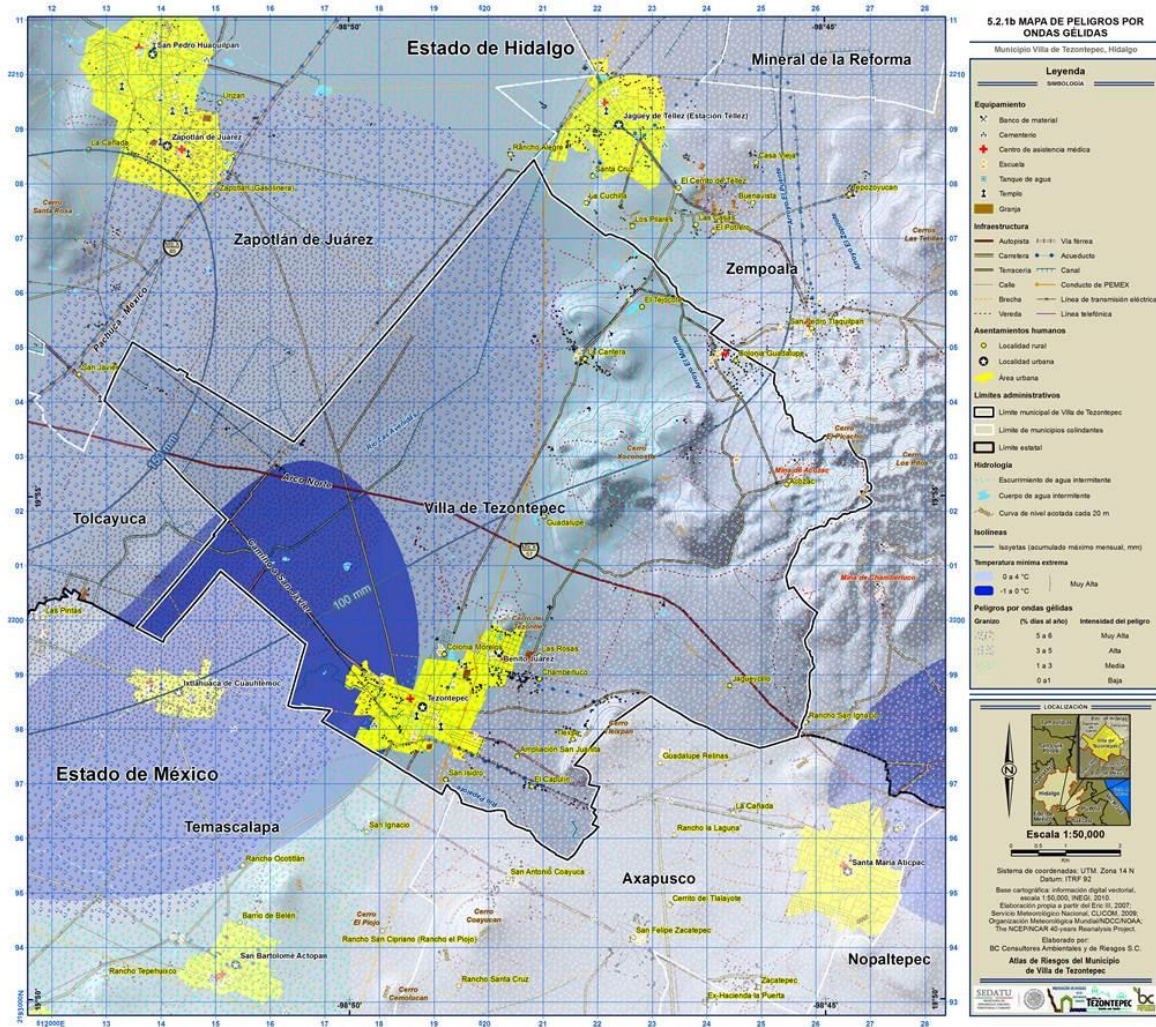
Dolor de cabeza: El frío provoca dolor de cabeza porque los músculos se contraen. Esto ocurre principalmente cuando hay viento. El dolor se presenta al reír, al toser, al estornudar, al levantar objetos pesados o por realizar grandes esfuerzos y puede ser corto e intenso.

Enfermedad de las vías respiratorias: en general, el mayor número de casos se registra durante las semanas de más bajas temperaturas. Los cambios bruscos de temperatura influyen mucho. Por ello, a partir de los primeros fríos, recrudecen otras infecciones de las vías respiratorias que no son virales, como el asma.

La tos, el catarro, la gripe, la bronquitis, la neumonía, la bronquiolitis, la rinitis, entre otras, forman parte de este tipo de dolencias que afectan alguna parte del sistema respiratorio. Así, el aire frío que se respira en el invierno es peligroso para los pulmones, los bronquios y la garganta. Además si éste es seco, provoca que las mucosas pierdan humedad. Por esta razón es conveniente fortalecer el sistema inmune durante el invierno.

En el municipio de Villa de Tezontepec la temperatura mínima va de un rango desde -1 a 5°C, la distribución espacial de las isotermas desciende de este a oeste del municipio. La superficie que ocupa una mayor porción en el municipio es el del rango que va de 0 a 4°C.

Mapa 21. Mapa de Peligros por Ondas Gélidas



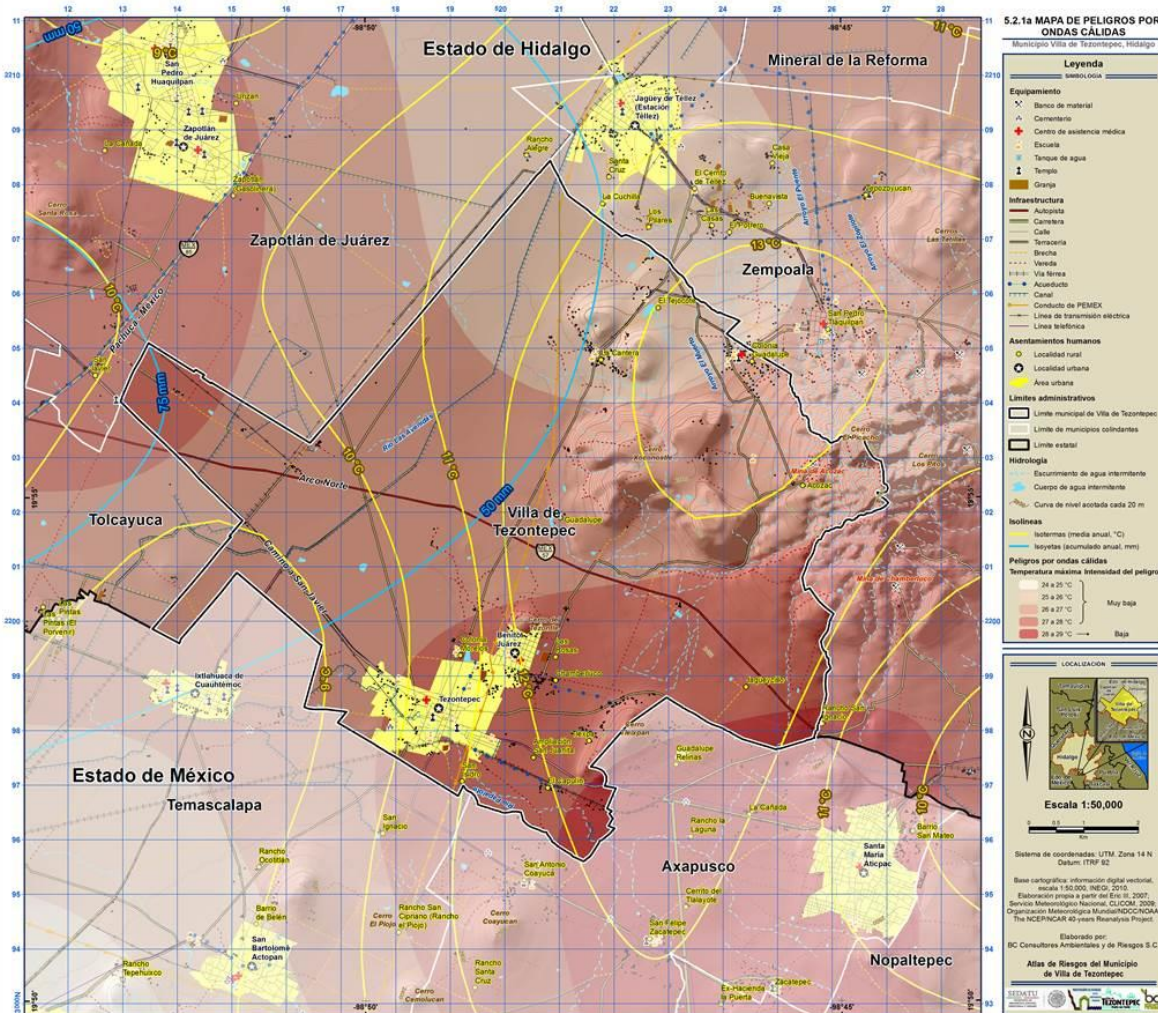
Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Peligros por ondas cálidas

Según el atlas climático digital de México, la temperatura máxima histórica del territorio nacional muestra valores más elevados hacia las zonas costeras del Océano Pacífico, donde alcanza a ser hasta de 35 °C para los estados de Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Chiapas descendiendo de hacia el centro y norte de la república mexicana en donde se observan valores de hasta 12 °C en la temperatura máxima, en el estado de Chihuahua.

Para el estado de Hidalgo la temperatura máxima histórica presenta valores desde los 18 hasta los 24 °C en su territorio, específicamente para el municipio de Villa de Tezontepec del mismo estado, la temperatura máxima climatológica presenta valores desde los 24 °C hasta los 29 °C. Los valores mínimos de la temperatura máxima climatológica, dentro del territorio municipal, tienen valores cercanos a los 25 o 26 °C, los cuales se observan en el norte del municipio, y va aumentando hasta llegar a ser valores parecidos a 26 ó 27 °C en el centro del territorio. Para el sur de Villa de Tezontepec la temperatura máxima climatológica presenta sus valores más altos en donde llegan a ser hasta de 29 °C, tal como lo marca el gradiente térmico del análisis, (mapa de ondas cálidas).

Mapa 22. Mapa de Peligros por Ondas Cálidas



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.2.2. Sequías

La sequía es un peligro natural que resulta de una deficiencia de la precipitación esperada o "normal" que, cuando se extiende por un período de tiempo prolongado, no es suficiente para satisfacer las demandas de las actividades humanas. A medida que aumenta la población mundial, las sociedades están ejerciendo cada vez mayor presión sobre los suministros de agua limitados, esto implica que podría aumentar la vulnerabilidad a los largos períodos de sequía. Los resultados de las investigaciones científicas indican que la frecuencia y la gravedad de la sequía pueden aumentar en algunas regiones en el futuro como consecuencia directa del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Wilhite, 2005).

Los efectos de esta deficiencia de precipitación son, en ocasiones, impactos económicos y ambientales significativos. Los impactos de la sequía parecen estar aumentando en los países desarrollados y en desarrollo, lo que indica que no existe un desarrollo sostenible en muchos casos. La disminución de los impactos de las sequías futuras requerirá del desarrollo de las políticas enfocadas a técnicas de gestión de riesgos, incluidos los sistemas de alerta temprana, planes de preparación para acciones y programas de mitigación apropiadas para mejorar el seguimiento de éstas (Wilhite, 2005).

Conceptos y definiciones de sequía

Existen múltiples definiciones de sequía, lo que refleja las diferentes características climáticas de una región a otra así como los distintos impactos sectoriales. A pesar de que las sequías se clasifican normalmente como meteorológica, agrícola, hidrológica o socioeconómica, todo tipo de sequía implica una deficiencia de la precipitación que se traduce en la escasez de agua para alguna actividad o algún grupo, en este sentido, la sequía debe ser considerada una condición relativa y no absoluta (Wilhite, 2005).

La sequía, a diferencia de otros fenómenos naturales, es de evolución lenta, es decir, es una amenaza natural progresiva, sus efectos se acumulan en un periodo considerable de tiempo y pueden persistir incluso años después de la finalización del evento, es por esto la dificultad para definir el inicio y final de una sequía. Además la falta de una definición precisa de la sequía limita determinar su grado de severidad y por lo tanto la cuantificación de los impactos así como propuestas para su mitigación. El riesgo asociado a la sequía tiene tanto un componente natural como un componente social. Los fenómenos climáticos asociados a la sequía son las altas temperaturas, fuertes vientos y la baja humedad relativa.

Características y severidad

Se pueden distinguir tres características principales que definen una sequía, éstos son su intensidad, duración y cobertura espacial. La intensidad se refiere al grado de déficit de la precipitación y/o severidad de los impactos asociados. En cuanto a duración, las sequías requieren un mínimo de dos a tres meses para establecerse y pueden continuar durante años o meses. La magnitud de los impactos de las sequías está estrechamente ligado al momento de la aparición de la escasez de precipitación, su intensidad y la duración del evento. En cuanto a sus características espaciales las zonas afectadas por las sequías se desarrollan gradualmente, como se planteaba anteriormente (Wilhite, 2005).

Las principales causas de las sequías están relacionadas con cambios en las presiones atmosféricas y alteraciones en la circulación general de la atmósfera, así como modificaciones en la cantidad de luz solar reflejada en la superficie de la Tierra, cambios en la temperatura de la superficie de los océanos e inclusive el incremento de la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera, que al mismo tiempo ocasionan variaciones espacio-temporales de las precipitaciones (CENAPRED, 2007).

Impactos de la sequía

Los impactos de la sequía son diversos, y fluctúan de acuerdo a la cantidad de grupos afectados y sectores relaciones con la sequía así como su extensión espacial, la dificultad de cuantificar los daños ambientales y sociales, es difícil determinar de manera precisa los costos financieros de la sequía.

Los impactos de la sequía se pueden clasificar en tres áreas, económica, ambiental y social. Las pérdidas económicas van desde pérdidas directas en los sectores agrícolas y pecuarios, pérdidas en las actividades de recreación, transporte y sector energético. Las pérdidas ambientales son el resultado del daño a las especies vegetales y animales, hábitat, degradación, degradación de la calidad del paisaje y erosión del suelo. Los impactos sociales se refieren a la seguridad pública, la salud, los conflictos entre usuarios del agua y las desigualdades en la distribución de impactos (Wilhite, 2005).

La sequía es una característica común en muchos países, pero a menudo es considerado como una anomalía desafortunada e irregular del medio ambiente. Sería más apropiado considerar la sequía como parte de una secuencia normal de acontecimientos. La sociedad debe estar preparada para hacer frente a los efectos de la sequía en cualquier momento. Impactos en el pasado se han visto exacerbados por la ausencia de mecanismos de supervivencia, con muy poca preparación en los períodos sin sequía (Hobbs, 2005).

Como daños secundarios por las sequías se consideran a los incendios forestales y aceleración de la erosión de los suelos. La falta de humedad en las plantas aumenta la materia orgánica potencialmente combustible y con la presencia de una fuente de ignición, provoca que se forme un incendio forestal. Cuando la capa vegetal se pierde por el fuego, el suelo queda desprotegido ante los agentes climáticos como son el viento o la lluvia, acelerando el proceso de erosión (CENAPRED, 2007).

En México, la ocurrencia de sequías de gran magnitud data desde tiempos antiguos, en el siglo XX, se registraron cuatro grandes periodos de sequías que son de 1948 a 1954, de 1960 a 1964, de 1970 a 1978 y de 1993 a 1996. No obstante, se tienen datos de daños por sequía en años subsecuentes. El año 1998 fue crítico en casi todo el territorio nacional debido a las sequías, ondas de calor y altas temperaturas registradas (CENAPRED, 2007).

En lo que respecta a la ocurrencia de sequías en el estado de Hidalgo, provocan fuertes pérdidas económicas a la ganadería y a la agricultura pero sobre todo se convierten en un grave riesgo para la población, que durante el estiaje padece la escasez de agua, situación que es generalizada en la entidad (Gobierno del estado de Hidalgo, 2005).

También se toma como referencia los datos publicados por el Consejo de Cuenca del Valle de México, en los que se señala que la sequía es un hecho común, sobre todo en la subregión Tula, donde la incidencia de este fenómeno es recurrente. Cabe señalar que en la mayor parte del territorio se practica una agricultura apoyada principalmente en el riego de temporal, lo que la hace aún más vulnerable a los efectos de la sequía. Además, las eventuales sequías en las cuencas de captación del Sistema Cutzamala, ponen en riesgo el abastecimiento del Valle de México (CCVM, 2013).

Con base a los resultados obtenidos en el análisis de sequía del municipio de Villa de Tezontepec, se tiene que la distribución espacial de la sequía meteorológica, referente a la anomalía de la precipitación con respecto a la precipitación promedio climatológica (Hernández, 2010), se obtuvo el índice de severidad de sequía meteorológica, que va desde 0.1 a 0.8, valores positivos que indican que no hay presencia de sequía meteorológica en este municipio.

Por otra parte, se llevó a cabo el análisis espectral de imágenes satelitales Landsat ETM+, con una fecha de 21 de marzo de 2010, acuerdo al climograma realizado, para la obtención del índice de severidad de sequía estandarizada (NDDI), este índice da como resultado una medida apropiada de la sequía en una zona determinada ya que combina información sobre vegetación y agua. En la figura 5.1 se tiene el climograma obtenido de la estación con clave 13035, que corresponde al municipio de Villa de Tezontepec.

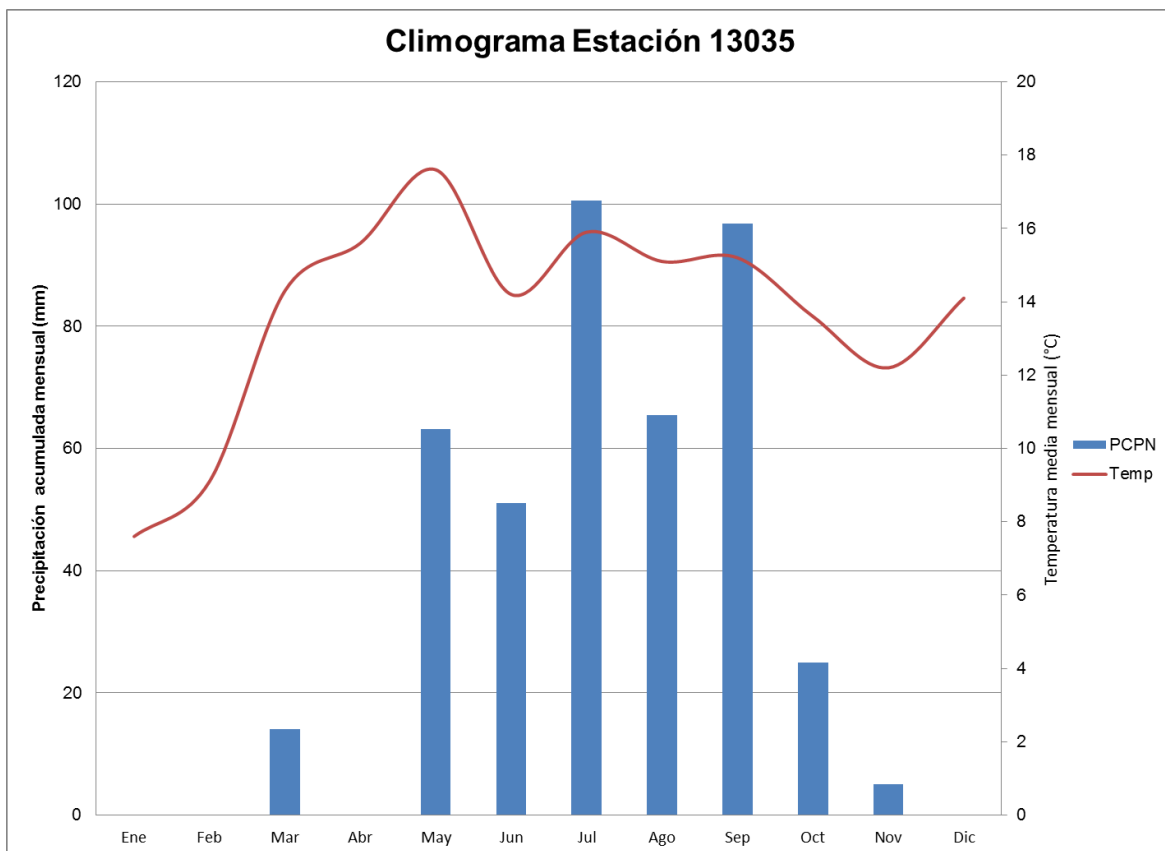


Figura 1. Climograma de la estación 13035, Villa de Tezontepec

Como se puede observar en la figura anterior, en el mes de marzo ocurre una precipitación acumulada menor a los 20 milímetros y una temperatura mayor a 12°C.

El resultado del NDDI tiene una escala de -1 a 1, en el que los números negativos representan superficies con mayor contenido de agua, mientras que los valores positivos representan superficies en los que el índice de vegetación es mayor que el del índice de agua, es decir, donde existe una sequía.

El índice de sequía con mayor superficie en el territorio municipal es el de intensidad media, que va desde 0.04 a 0.01 y ocupa el 77.8% del territorio, es decir, 7,050.66 hectáreas.

Asimismo, se llevó a cabo un análisis de la cobertura de uso de suelo con respecto al NDDI calculado, los resultados se observan en el gráfico de la figura 5.2.

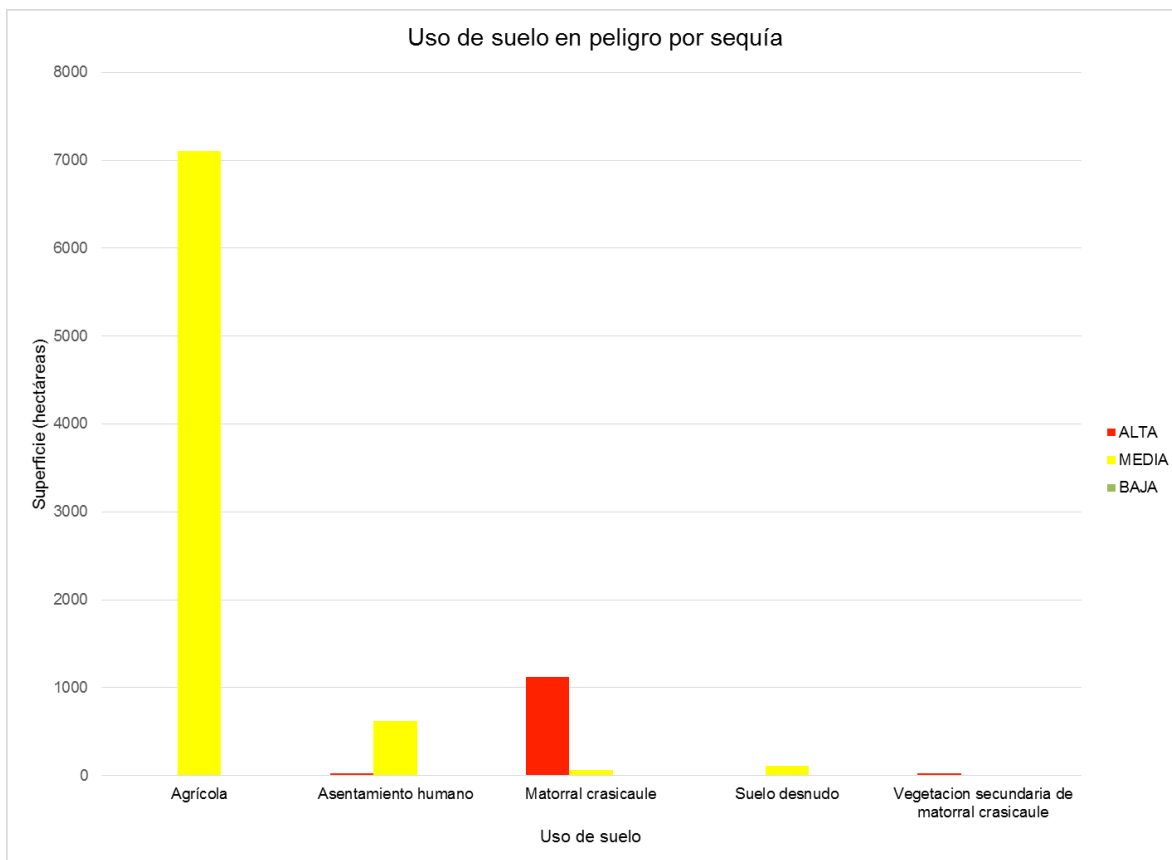


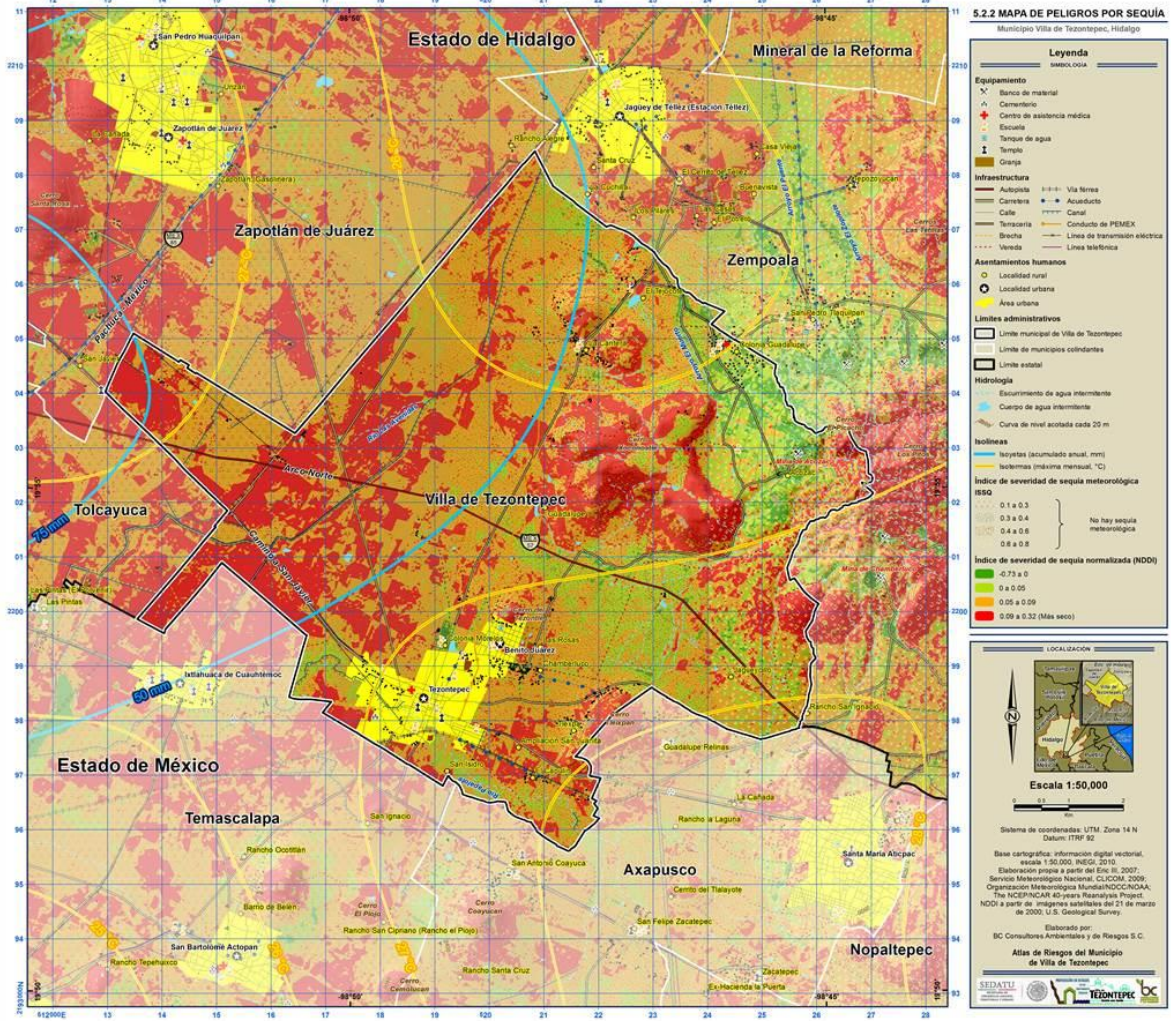
Figura 2. Gráfico de uso de suelo con respecto al NDDI

Como se observa en la figura anterior, el uso de suelo agrícola es el que se encuentra afectado en mayor medida por la sequía con una intensidad media que tiene un NDDI de 0.10 a 0.14, con 7,100.5 ha; asimismo, la mayor parte de la superficie de vegetación correspondiente a matorral crasicaule (65.3 ha) se encuentra en un peligro por sequía medio.

Es importante señalar que el principal cultivo en el municipio es la cebada (90% de la superficie sembrada), mientras que el (8%) de la superficie sembrada es avena y el (2%) de maíz y frijol, de acuerdo con datos señalados por el comisariado ejidal del municipio.

De acuerdo con el sistema de información para el seguimiento a la operación de los seguros agropecuarios catastróficos (SAGARPA, 2013), en el año 2009 se reportaron 321 hectáreas de cebada siniestradas por la sequía, mientras que en el 2011 se reportaron 154 hectáreas de cebada y 53 hectáreas de maíz afectadas por este fenómeno.

Mapa 23. Mapa de Peligros por Sequía



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.2.3. Heladas

El fenómeno de heladas consiste en el descenso de la temperatura cercana a la superficie del terreno a 0°C o menos durante un periodo mayor a cuatro horas, por lo general, la ocurrencia de este fenómeno es durante las madrugadas o cuando sale el sol. La severidad de una helada depende de la disminución de la temperatura del aire con respecto a la resistencia de los seres vivos a ésta (CENAPRED, 2001).

Las principales variables de tiempo que influyen en la formación de las heladas son el viento, la nubosidad, la humedad atmosférica y la radiación solar. La ausencia de viento favorece la ocurrencia de heladas y aumenta si existe una inversión térmica, es decir, que la temperatura incrementa conforme aumenta la elevación. Cuando la temperatura disminuye a 0°C o menos y el viento es escaso cerca de la superficie, el vapor de agua contenido en el aire se condensa, si la humedad es abundante se produce niebla y cuando tiene poco contenido de humedad se produce una helada. Cuando los días son más cortos y las noches más largas, aumenta la ocurrencia de heladas debido a que existe menos acumulación de calor en el suelo y más tiempo para que se transmita hacia el aire.

Las heladas se pueden agrupar en varias categorías de acuerdo a distintos criterios, en lo que respecta al efecto visual en los cultivos, se tienen dos tipos de heladas, la blanca y la negra. Las blancas forman una capa de hielo color blanco sobre la superficie de la planta u objetos expuestos, mientras que las negras se observan en las plantas que adquieren un aspecto negruzco debido a que se congela el agua contenida en las mismas.

A partir de su origen climatológico, existen heladas por advección y por radiación. Las heladas por advección, se forman cuando llegan grandes masas de aire frío de origen continental a una región ubicada en las partes bajas de las montañas, en las cañadas o valles; se presentan indistintamente en el día o la noche acompañadas de vientos moderados a fuertes, durante su ocurrencia no existe una inversión térmica. Las heladas por radiación se presentan por la pérdida de calor del viento durante la noche por lo que ocurren generalmente durante el invierno ya que las noches son más largas.

Por otra parte, las heladas también se clasifican por la época en la que ocurren heladas en primaverales, otoñales e invernales. Las primaverales afectan principalmente a los cultivos de ciclo natural como el maíz, cuando se encuentra en la etapa de brote de ramas o con pocos días de nacimiento. Las otoñales o también llamadas heladas tempranas, son perjudiciales para los cultivos ya que pueden interrumpir de manera intensa el proceso de formación de botones de flores y maduración de frutos. Las heladas invernales se forman durante el invierno si la temperatura ambiente disminuye notablemente, este tipo de heladas afecta sobre todo a árboles perennes con frutos y especies forestales (CENAPRED, 2001).

La forma del relieve donde se presentan con mayor frecuencia las heladas son los valles y depresiones, las heladas suelen afectar principalmente a las plantas que poseen frutos. En México, la ocurrencia de heladas es por lo general en el centro y norte del país durante los meses fríos del año (noviembre-febrero).

Las heladas en el mundo se distribuyen en ocho zonas, la primera, ubicada en los trópicos donde la ocurrencia de heladas es escasa; la zona dos se refiere a las regiones donde las heladas son ocasionales durante la estación de invierno; en la zona tres la ocurrencia de heladas es durante los 120 días de invierno; en la zona cuatro las heladas se presentan en un periodo de 125 a 185 días; en la zona ocho la ocurrencia de heladas asciende a más de 300 días, donde el desarrollo agrícola es muy limitado (CENAPRED, 2001).

En el país, las heladas ocurren sobre todo en el norte y centro de la república durante los meses fríos del año que corresponden al periodo noviembre-febrero. Éstas se presentan debido al ingreso

de aire polar continental, generalmente seco, proveniente de Estados Unidos. Las más intensas se asocian principalmente al desplazamiento de las grandes masas polares, que desde finales del otoño se mueven de norte a sur del país (CENAPRED, 2001).

En el año 2008 se reportaron pérdidas importantes debido a la ocurrencia de heladas en el mes de octubre, que afectaron principalmente la zona del altiplano del estado de Hidalgo un total de 692 hectáreas de cultivo de maíz, frijol y cebada en los municipios Chapantongo, Mineral del Chico, Omitlan y Villa de Tezontepec (El Universal, 2008).

En el municipio de Villa de Tezontepec la ocurrencia de heladas incide cada año sobre todo en los sistemas de cultivo, de acuerdo con datos de SAGARPA (2010), que hasta el mes de octubre del año 2010 se perdieron 960 hectáreas de cebada, 40 de maíz y 15 de frijol en una semana (El independiente de Hidalgo, 2010).

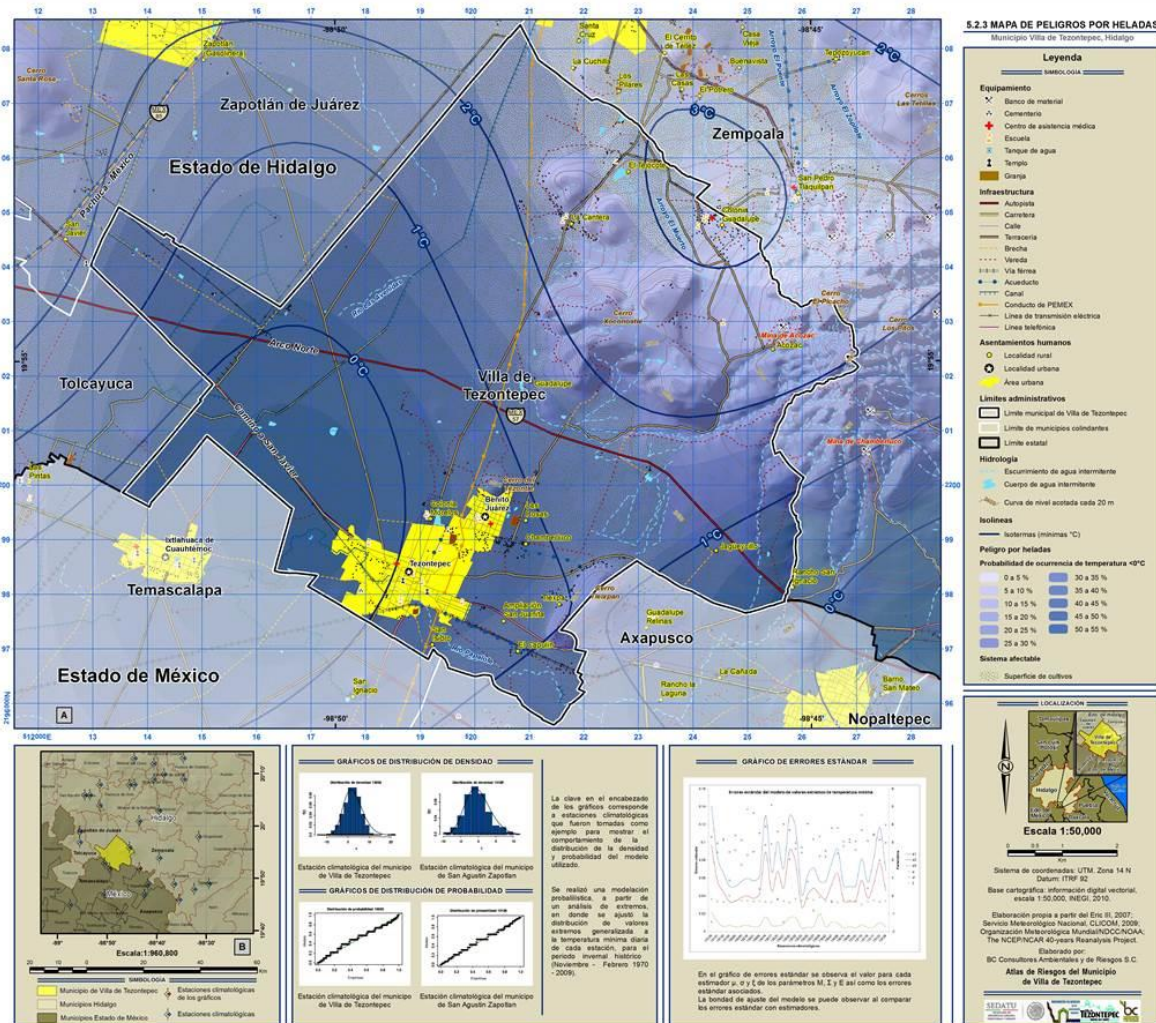
Por otra parte se consultó el sistema de seguros agropecuarios de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, donde se señala el número de hectáreas a las que se les proporcionó apoyo debido a heladas en los años 2008 y 2011 (ver siguiente tabla).

Tabla 2. Superficie afectada por heladas y granizo

AÑO	CULTIVO	FENÓMENO	SUPERFICIE (Has)
2011	CEBADA	HELADA	154
	MAÍZ	HELADA	53
2008	CEBADA	GRANIZO Y HELADA	56.5
	MAÍZ	GRANIZO Y HELADA	26.5

Fuente: Sistema de información para el seguimiento a la operación de los seguros agropecuarios catastróficos, SAGARPA, 2013.

Mapa 24. Mapa de peligros por Heladas



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.2.4. Tormentas de granizo

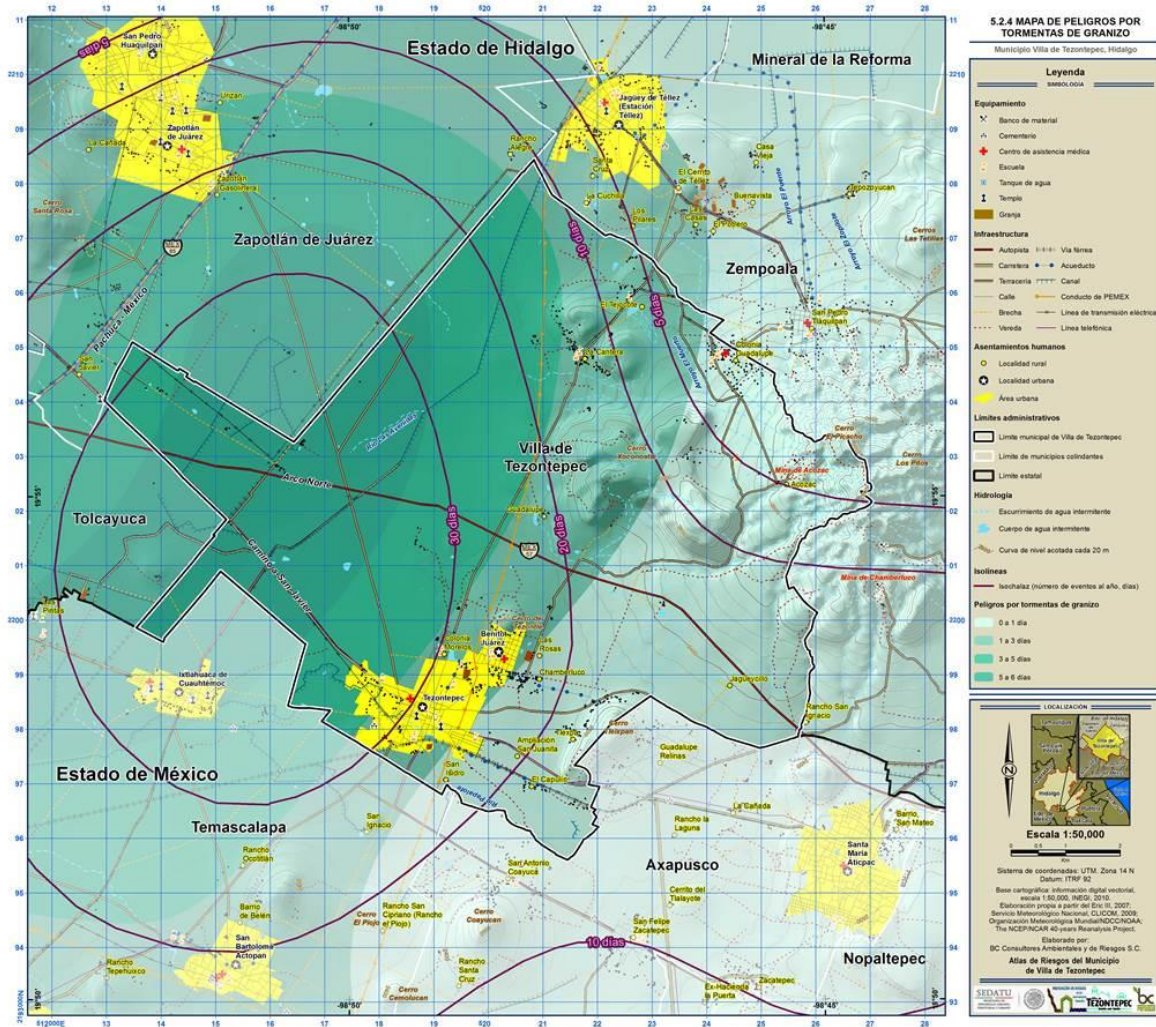
El granizo se forma durante las tormentas eléctricas, cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulonimbo son arrastrados verticalmente por corrientes de aire turbulento características de las tormentas. Las piedras de granizo crecen por las colisiones sucesivas de estas partículas de agua muy enfriada, esto es, de agua que está a una temperatura menor que la de su punto de solidificación, pero que permanece en estado líquido. Esta agua queda suspendida en la nube por la que viaja. Cuando las partículas de granizo se hacen demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire, caen hacia el suelo.

La estructura del hielo en el granizo depende de la velocidad de deposición. Si el granizo adquiere el agua demasiado rápido para congelar por completo, el resultado hielo será transparente, como se difunde y se escapa aire disuelto de la superficie de hielo relativamente de lenta de formación. Sin embargo, si multitudes burbujas de aire quedan atrapadas como pequeñas gotitas y congelar rápidamente el impacto, se formará hielo opaco de color blanco lechoso. (Oliver, 2004). Las zonas más afectadas de México por tormentas de granizo son el altiplano de México y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora.

En el Estado de Hidalgo, el 3 de Mayo de 1994 destruyó los techos de 60 hogares en Almoloya, además afectó 788 hectáreas de cultivo en Tula, también afectó 10 has listas para sembrar; fueron afectados 500 ejidatarios. El granizó alcanzó un espesor de 40cm. (CENAPRED, 2013)

Con la premisa que en todo el municipio de Villa de Tezontepec predomina una baja intensidad de peligro por niebla, en las localidades de Jagüeycillo, El Capulín, Chamberluco, Las Rosas, Acozac, Colonia Guadalupe la intensidad de peligro por granizo es baja. En las localidades El Tejocote, La Cantera y Guadalupe existe una intensidad media y hacia el oeste del municipio predominan las intensidades alta y muy alta con una precipitación máxima mensual de 100mm. La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo varía y depende de su cantidad y tamaño, es importante tener en cuenta que los granizos pueden destruir las siembras, los plantíos y en algunas ocasiones la pérdida de animales de cría. En las zonas urbanas puede ocasionar que su acumulación en grandes cantidades obstruya el paso del agua y generar inundaciones durante algunas horas.

Mapa 25. Mapa de peligros por Tormentas de Granizo



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.2.5. Tormentas de nieve

Las tormentas de nieve son una forma de precipitación sólida en forma de copos. Un copo de nieve es la aglomeración de cristales transparentes de hielo alrededor de polvo o de otras partículas diminutas de la atmósfera cuando el vapor de agua se condensa a temperaturas inferiores a la de la solidificación del agua.

La condensación de la nieve tiene la forma de ramificaciones intrincadas de cristales hexagonales planos en una variedad infinita de patrones.

Los fenómenos meteorológicos que provocan las nevadas son los que ocurren generalmente durante el invierno como las masas de aire polar y los frentes fríos, que en algunas ocasiones interactúan con corrientes de chorro, líneas de vaguadas y entrada de humedad de los océanos hacia la tierra.

Son escasas las regiones del país que padecen del fenómeno de tormentas de nieve, ocurren sobre todo en regiones altas como montañas o sierras. Las nevadas se forman comúnmente en el altiplano de México debido a las corrientes frías provenientes del norte del país. En las ciudades, los efectos negativos de las nevadas se manifiestan de distintas maneras como fallas en el servicio de energía eléctrica, taponamiento de drenaje, daños a estructuras, derrumbes de techos, entre otros, además de que puede causar decesos en la población.

En las zonas rurales las tormentas de nieve pueden ser tener efectos considerables sobre el cultivo de acuerdo a su tipo y la etapa de crecimiento en la que se encuentre.

En el municipio de Villa de Tezontepec no se tienen registros de tormentas de nieve, por lo tanto se puede deducir que no es propenso a la ocurrencia a este tipo de fenómenos, ya que tampoco se ha tenido registros sus alrededores, por lo tanto no se llevó a cabo el análisis de peligros ya que no es un agente perturbador que ponga en riesgo la calidad de vida y el desarrollo de las actividades humanas de sus habitantes.

5.2.6. Ciclones tropicales

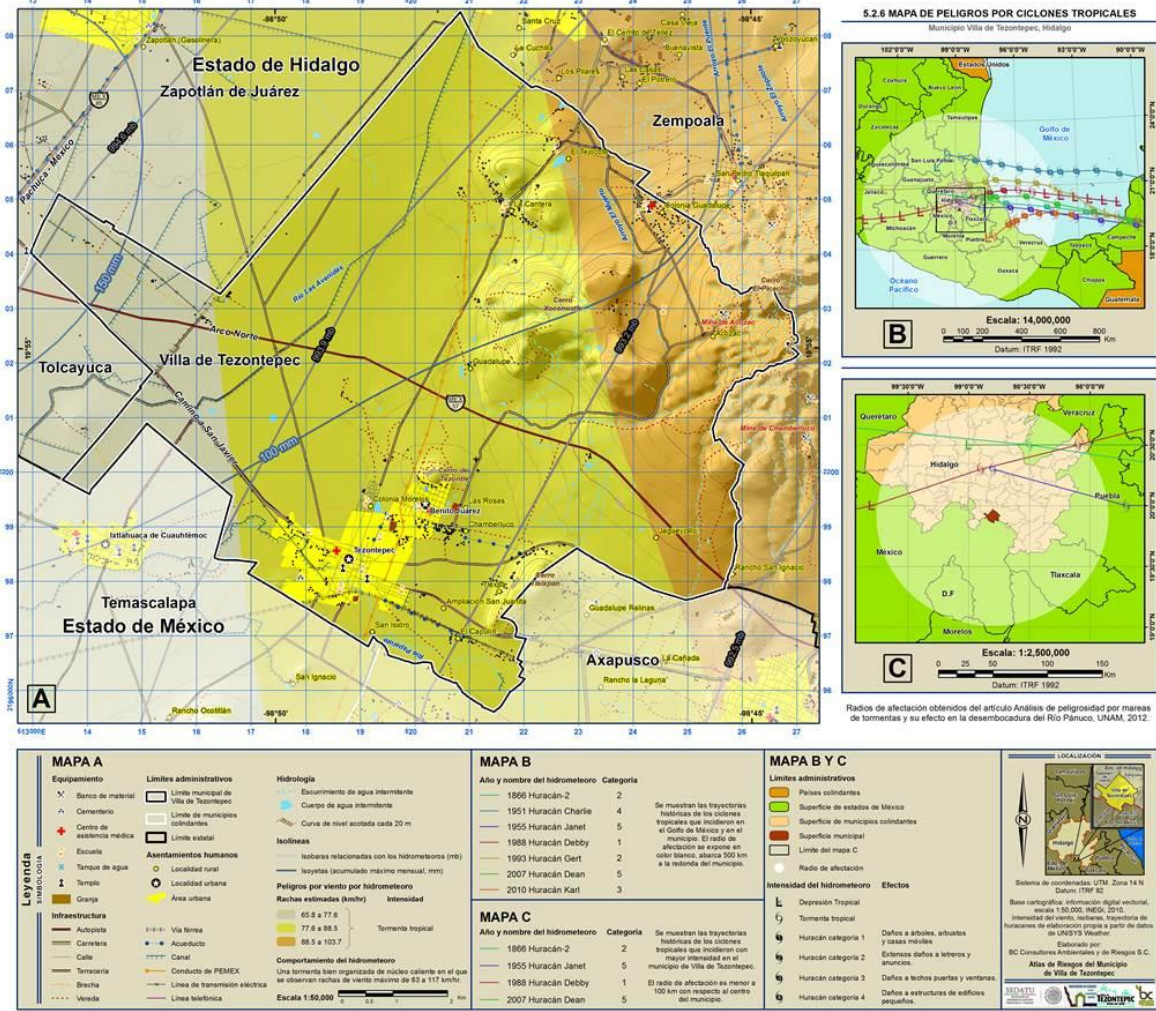
Los ciclones tropicales se forman a partir de conglomerados nubosos convectivos. Conforme evolucionan pasan por varias etapas, las cuales se clasifican de la siguiente manera: la primera se refiere a su génesis como la transición de una perturbación a una depresión, la formación inicial de una circulación rotacional con una escala de unos pocos cientos de km. La segunda es su desarrollo, es la transición de una depresión tropical a una tormenta tropical. Y la última, la intensificación, como la evolución de la etapa de tormenta tropical a un huracán (ciclón maduro). (G.Lizano & Fernández, 1996)

Los ciclones tropicales que han afectado frecuentemente a México en las costas del Golfo de México se generan en la zona ciclógena del Atlántico Norte, que es la cuna de los huracanes del Caribe. Se trata de fenómenos naturales que se originan y desarrollan en mares de aguas cálidas y templadas. Regularmente su diámetro supera los quinientos kilómetros, en una conformación de nubes en espiral con vientos violentos y lluvias torrenciales, algunas veces acompañados de tormentas eléctricas. Lo que se originan en la zona del Caribe observan con frecuencia un movimiento hacia el Noroeste, aunque sus trayectoria es difícil de predecir. (CENAPRED, 2001)

Diversos desastres de tipo meteorológico: huracanes, lluvias torrenciales, granizadas, heladas y sequías se registraron durante el período analizado. Los años en que ocurrieron fenómenos de mayor magnitud a este respecto fueron 1982, 1985, 1988, 1995, 1997 y 1998. El número de víctimas fatales acumulado derivadas de estos fenómenos es de alrededor de 2200 personas y una estimación aproximada de los daños directos generados por ellos conduce a una total acumulado de unos 4500 millones de dólares. (CENAPRED, 2001)

Considerando que los ciclones tropicales están asociados a las situaciones meteorológicas de variado carácter sobre la altiplanicie mexicana, muy rara vez afectan directamente. En el Estado de Hidalgo se aprecian cinco trayectorias de ciclones tropicales, estas han afectado el territorio como categorías de Depresión y Tormenta Tropical. En gran parte del territorio municipal se estiman rachas sobre los 77.6 a 88.5 km/hr, abarcando la localidad de Tezontepec, la Cantera y el cauce del Río Las Avenidas. Por otro lado, en la localidad de El tejocote hacia El Jagüeycillo, esto con rumbo hacia el sureste, se extiende una velocidad de viento por huracán de 88.5 a 103.7km/hr cubriendo el territorio restante hacia el este. De esta manera, no se observa una afectación directa de los meteoros sobre territorio municipal, esto no indica la ausencia de daños moderados en este espacio pues los remanentes de un ciclón tropical siempre ocasionan deterioros y pérdidas aunque sea en una mínima parte de la población, por otro lado pueden originarse ventajas como la recarga de acuíferos facilitando el suministro de agua para el consumo humano.

Mapa 26. Mapa de peligros por Ciclones Tropicales



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.2.7. Vientos

El viento es un movimiento de aire con relación a la superficie terrestre. En las inmediaciones del suelo predominan los desplazamientos de aire horizontales, por lo que se considera solamente la componente horizontal del vector velocidad, debido a que es una magnitud vectorial, se debe considerar su dirección y velocidad.

La dirección del viento no es constante, sino que oscila alrededor de una dirección media que es la que se toma como referencia. El origen del viento está en la diferencia de presión entre dos puntos de la superficie terrestre lo que ocasiona que exista una tendencia al equilibrio desplazando las masas de aire para rellenar las zonas de más baja presión, cuanto mayor sea la diferencia de presión mayor será la fuerza del viento (Protección Civil del Gobierno Español, 2013).

Los vientos de mayor intensidad en México son los que se producen durante los huracanes; sin embargo otros fenómenos atmosféricos son capaces de producir fuertes vientos, por lo que aún en el interior del territorio existen zonas con peligro de vientos intensos.

La regionalización del peligro por viento se usa para fines de ingeniería, en las normas para diseño de edificios y de otras estructuras. Se emplea como parámetro la velocidad máxima del viento para un cierto periodo de retorno, y con ella se preparan mapas de curvas llamadas isotacas que corresponden a líneas con una rapidez máxima de viento constante. El país se divide en cuatro zonas que representan bandas de velocidad máxima de viento que ocurren en promedio una vez cada 50 años.

Es importante destacar que la rapidez del viento fluctúa en forma continua y puede alcanzar picos superiores al promedio, debido a los efectos de ráfaga. Para fines de ingeniería se suele tomar como valor indicativo una velocidad media en un lapso de dos minutos. Por otra parte, la velocidad del viento varía con la altura sobre el terreno; es menor a nivel del suelo donde la fricción entre la masa de aire en movimiento y el terreno frena el flujo; la velocidad crece con la altura hasta volverse constante a una altura de algunos cientos de metros. Por esta razón la rapidez del viento es mayor en un terreno plano, en un campo abierto o en las costas expuestas al viento que viene del mar a diferencia de los terrenos irregulares como en un bosque o una ciudad.

En este sentido, el viento es afectado por la topografía del terreno, por ejemplo, la velocidad aumenta con los bordes anteriores de topografía abrupta y edificaciones, y al pasar por cañadas. En zonas urbanas, la periferia de la población resulta usualmente sujeta a velocidades de viento mayores.

El viento ejerce empujes y succiones sobre los objetos que se encuentran en su trayectoria, por lo que puede ocasionar daños importantes en las construcciones y en diversas instalaciones, principalmente las construcciones de madera con techos ligeros que son muy comunes en las zonas rurales.

La parte más vulnerable de una construcción es la techumbre, sobre todo cuando es lámina delgada que puede ser levantada por la succión ejercida por vientos de alta rapidez. Las cubiertas ligeras son comunes en las construcciones industriales o comerciales de grandes dimensiones que pierden en ocasiones su techo por vientos intensos. Aunque los edificios sean sólidos y robustos en sus estructuras, sus fachadas y revestimientos pueden ser relativamente frágiles y dañarse por el empuje del viento. Este es el caso de los grandes ventanales de vidrio que llegan a romperse por el empuje de los vientos extraordinarios asociados a los huracanes, además del evidente peligro que representa para los ocupantes el desprendimiento de trozos de vidrio, la ruptura de éstos permite la entrada del viento y de la lluvia que con frecuencia se asocia al primero, produciendo graves daños a los acabados e instalaciones.

Una causa de daños severos por vientos intensos es el impacto de objetos diversos que son levantados y desprendidos por el viento y puede golpear las fachadas y techos de los edificios y

romper vidrios y paredes delgadas. Por ejemplo, ramas de árboles, láminas y materiales desprendidos del revestimiento de las construcciones, se vuelven proyectiles peligrosos en los vientos intensos.

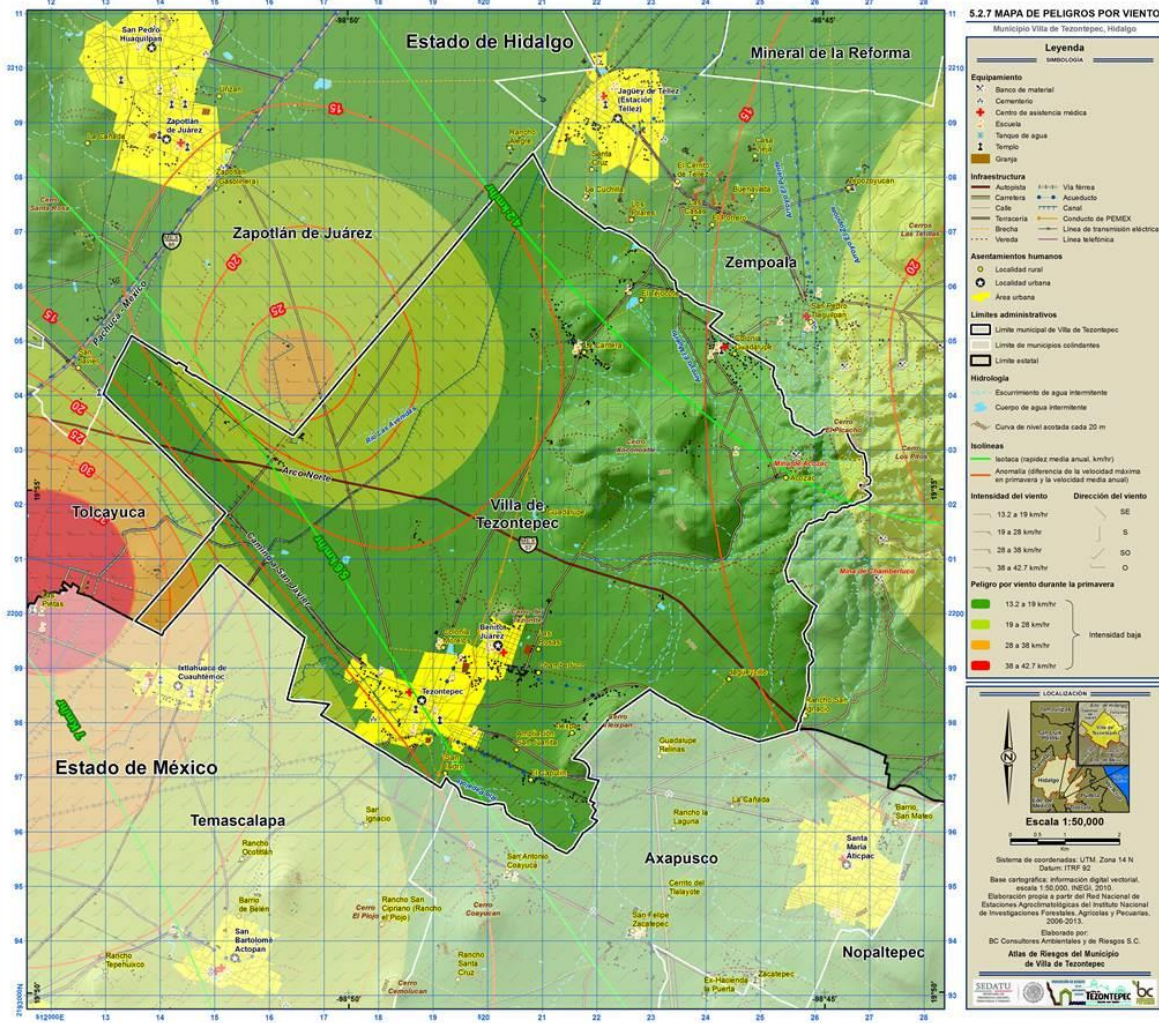
Los elementos urbanos más vulnerables a la acción del viento son los anuncios (como los espectaculares), que tienen una estructura metálica ligera y una superficie considerable expuesta a la presión del viento. Estos constituyen un peligro también para otras edificaciones y para otros transeúntes, ya que sus partes pueden ser transportadas a distancias considerables y golpear con violencia. Otras construcciones vulnerables son las torres de transmisión y antenas, los cables aéreos, que sobre todo son susceptibles a daños indirectos producidos por árboles derribados por el viento. Las principales precauciones contra este fenómeno son el correcto diseño y construcción de las edificaciones para evitar afectaciones por vientos intensos previsibles (CENAPRED, 2001).

Para estimar la intensidad del viento en el municipio, se llevó a cabo el cálculo de la rapidez media del viento y la rapidez máxima por temporada del año y se determinó que la temporada con mayor intensidad del viento es la primavera, debido a la diferencia de esta con respecto a la media.

En el municipio de Villa de Tezontepec, la intensidad del viento va desde 13.2 hasta 42.7 km/hr, lo que en la escala de Saffir-Simpson representa un peligro de intensidad baja, sin embargo, si se toma en cuenta la rapidez media del viento en el municipio, que oscila entre 4.6 y 5.2 km/hr, entonces se puede determinar cómo significativa la intensidad del viento máxima en la temporada de primavera. La distribución espacial de las isotacas asciende desde la zona montañosa hacia las zonas planas del área de estudio (ver mapa 5.2.7).

Por otra parte, la dirección del viento dominante es del sur que ocupa la mayor superficie del territorio municipal, aunque también se distribuyen vientos dominantes del suroeste, sureste y oeste. En el mapa se observa incluso la vorticidad que se genera en las zonas planas que se encuentran entre los cerros Xoconostle y Tleixpan donde los habitantes han observado la formación de remolinos de viento a pequeña escala.

Mapa 27. Mapa de peligros por Viento



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.2.8. Tornados

Un tornado es la perturbación atmosférica violenta en forma de vórtice que aparece en la base de una nube de tipo cumuliforme, debido a una gran inestabilidad, provocada por un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica alrededor de éste. También se puede decir que los tornados se forman cuando masas de aire chocan, con diferentes características físicas de densidad, temperatura, humedad y velocidad (CENAPRED, 2010).

Los tornados, según su origen se pueden clasificar en superceldas y no-superceldas. Los primeros se forman debido a una tormenta severa de larga duración cuyo viento se encuentra en rotación, cuando una nube comulnimbus genera corrientes ascendentes dentro de ella misma, puede llegar a extenderse algunos kilómetros de diámetro que originan un tipo de tormenta convectiva con ciertas condiciones que pueden generar vientos fuertes, granizadas y tornados violentos que pueden devastar sobre una larga trayectoria. Las no-superceldas suelen ser de menor magnitud, se forman cuando una nube *cumulus congestus*, en rápida formación, atrae aire que circula lentamente y de manera giratoria en los niveles inferiores de la superficie de la tierra.

Cuando se observa un tornado se puede distinguir una nube de color blanco o gris claro, mientras que el vórtice se encuentra suspendido de ésta; cuando el vórtice hace contacto con la tierra se presenta una nube color gris oscuro o negro debido al polvo y escombros que son succionados del suelo por la violencia del remolino (CENAPERD, 2013). Por otra parte, la temporada de ocurrencia de este fenómeno es entre los meses de febrero a octubre, sobre todo entre abril y agosto es cuando se observa una mayor actividad.

En México se presentan condiciones meteorológicas suficientes para la formación de tornados, en algunos lugares se presentan estacionalmente y en otros de manera esporádica (CENAPERD, 2013). En la actualidad existen pocos registros recabados para determinar la frecuencia e intensidad de este tipo de fenómenos, además de que los registros su localización geográfica son pocos. Sin embargo, se han hecho recopilaciones de información de testimonios históricos, notas periodísticas e información popular, es así que Avendaño (2006) proyectó una distribución de tornados aunque debe tomarse con las reservas necesarias debido a que no tienen validación.

En cuanto a su distribución, se consultó el Atlas Nacional de Riesgos, en donde se constata que la ocurrencia de estos fenómenos se ha observado en distintos municipios de todo el territorio nacional.

En el estado de Hidalgo, se tienen registro de este tipo de fenómeno en Ixmiquilpan, Tula de Allende, Acatlán y Apan. En el municipio de Villa de Tezontepec, no se han observado tornados, a pesar de que el municipio con observaciones más cercano se encuentra a 38 kilómetros hacia el sureste (CENAPRED, 2007).

5.2.9. Tormentas de polvo

Las tormentas de polvo se forman cuando el suelo de un desierto se calienta y existe un rápido descenso de la temperatura sobre la superficie de la tierra, lo que provoca condiciones inestables que crean rachas de viento turbulento. Esto tiene como consecuencia el levantamiento de partículas de la superficie (Vaughn, 2005).

La ocurrencia de este fenómeno provocan los patrones dinámicos de las dunas de arena e influyen en la erosión superficial, así como en la formación de tormentas de polvo y pequeños remolinos de polvo con menor tiempo de duración. Las partículas pesadas no permanecen mucho tiempo suspendidas en el aire, en cambio las partículas pequeñas se sostienen en el aire. La capa de polvo del Sahara, por ejemplo, se extiende a más de 5 kilómetros de altitud, lo que produce colores rojos vivos en las nubes a esta altura (Cullen, 2005).

Cuando una tormenta de polvo se produce en el desierto, sus efectos pueden ser devastadores. En tan sólo unos minutos, el aspecto de un día con sol brillante cambia al aspecto de un anochecer con neblina de color marrón rojizo y la temperatura puede bajar a más de 15°C (Nicholson, 2005).

Un tipo particular de tormenta de polvo, llamado haboob en el norte de África y el suroeste de Estados Unidos, se origina como una corriente descendente fuerte y turbulenta como se forma en una tormenta eléctrica, el polvo es impulsado, por lo que se llama corriente de densidad y el aire frío se hunde en la tierra, al llegar a la superficie, se extiende lateralmente, distribuyendo el polvo en violentas ráfagas que pueden exceder las 60 mph, lo que disminuye la visibilidad (Nicholson, 2005).

Derivado de lo anterior, se puede deducir que el municipio de Villa de Tezontepec no es propenso a este tipo de agente perturbador, ya que su paisaje bioclimático no corresponde a un desierto.

5.2.10. Tormentas eléctricas

Una tormenta eléctrica se forma por una nube convectiva profunda (cumulonimbus) en condiciones de inestabilidad atmosférica, que produce relámpagos y truenos, lluvias severas, corriente superficial de aire frío, granizo, y en raras ocasiones un tornado. Un rasgo característico de este tipo de tormentas, es que vistas a distancia, tienen una forma de reloj de arena, debido al aire divergente de la capa superior de la corriente ascendente (Brown, 2005).

La extensión vertical de las tormentas varía de una región climatológica a otra. En las regiones húmedas, la base de la nube puede estar a cientos de metros sobre la superficie, mientras que en regiones más áridas, la base de la nube puede tener kilómetros de altura (Brown, 2005).

El ciclo de duración de una tormenta es de sólo una o dos horas, empieza cuando una porción de aire está más caliente que el de su entorno, o bien, cuando el aire más frío penetra por debajo de ella (CENAPRED, 2010).

Mecanismos de formación

Una tormenta eléctrica se forma cuando una nube convectiva se desarrolla en una atmósfera inestable, ya que la energía potencial del calor latente es convertida en energía cinética en el movimiento vertical del aire. Una vez que esta masa de aire suspendida llega a su estado de equilibrio (donde la temperatura del aire es igual a la de su entorno), el aire se vuelve más frío que sus alrededores y desacelera rápidamente (Brown, 2005).

Si la tormenta es de tipo ordinario, lloverá y cesará poco después de alcanzar su máxima extensión vertical. Sin embargo, cuando el viento presenta fluctuaciones significativas de dirección del viento e incrementa su velocidad con la altura, pueden ocurrir tormentas severas de larga duración. El calor del sol durante el día provoca que este tipo de tormenta alcance su madurez durante la tarde y la noche (Brown, 2005)

Una característica geográfica que propicia la formación de nubes suspendidas son las cimas de las montañas o terrenos montañosos en general. Otro rasgo geográfico importante es la frontera agua-tierra, ya que durante el verano el efecto de la brisa marina y la brisa terral provocan una circulación localizada del flujo de aire y se favorece el desarrollo de tormentas sobre la tierra o el mar según sea el caso. Durante el otoño y principios de invierno, este tipo de tormentas se puede formar sobre lagos cálidos con masas de aire frío (Brown, 2005).

En lo que respecta a la energía de los rayos, de acuerdo con CENAPRED (2010), éstos alcanzan una temperatura en el aire de 30,000°C en una fracción de segundo aproximadamente. El aire caliente provoca que se expanda rápidamente, produciendo una onda de sonido que viaja en todas las direcciones a partir del rayo. Los rayos pueden ser del tipo nube-aire, en donde la electricidad se desplaza desde la nube hacia una masa de aire de carga opuesta; nube-nube, el rayo puede producirse dentro de una nube con zonas cargadas de signo contrario; nube-suelo, en el que las cargas negativas de las nubes son atraídas por las cargas positivas del suelo.

Principales daños por tormentas eléctricas

Las tormentas eléctricas, ya sea como células separadas, chubascos o líneas ordenadas, desarrollan corrientes de aire frío descendente con altas velocidades que son capaces de causar serios daños localizados.

Los chubascos de una tormenta eléctrica pueden generar ráfagas de hasta 185 km/hr, y sus efectos son a menudo agravados por las lluvias intensas, granizo o rayos. Las ráfagas de corriente fría descendentes son particularmente peligrosas debido a las tijeras de viento que se forman en la superficie (Hobbs, 2005).

Las tormentas individuales suelen afectar sólo áreas pequeñas, pero puede haber muchas tormentas de este tipo en un momento dado en una región particular, su asociación con inundaciones repentinas, ráfagas descendentes, vientos fuertes, tornados y relámpagos hacen que su prevención sea de carácter vital (Hobbs, 2005).

No obstante, las corrientes de conducción descendientes de las tormentas eléctricas son también un factor crítico de la propagación de incendios forestales, debido a la caída de rayos. Los rayos son considerados como un peligro para las actividades al aire libre durante su temporada de ocurrencia y de acuerdo con Hobbs (2005), es probable que las muertes y lesiones eléctricas se subestimen considerablemente e incluso la mayoría de las personas no saben cómo actuar durante estas tormentas ya que desconocen de las posibles implicaciones médicas por un rayo como puede ser una parálisis, quemaduras externas, fuertes dolores de cabeza, pérdida de la audición, entre otros (Shearman y Ojala, 1999 en Hobbs, 2005).

Además, los efectos de las tormentas eléctricas van desde herir o causar el deceso de una persona de forma directa o indirecta hasta dañar la infraestructura de la población, que puede provocar la suspensión de energía eléctrica y afectar algunos aparatos (radio, televisión, computadoras, refrigeradores, etc.). En ocasiones las descargas eléctricas pueden provocar la muerte del ganado y son la causa más común del retraso de aeronaves y de los accidentes aéreos (CENAPRED, 2010).

Durante el año 2009, las tormentas eléctricas provocaron un número considerable de decesos en el país, mismos que representaron el 35% del total de muertes por fenómenos naturales (CENAPRED, 2010). Desde el año 1985 hasta el 2007, se reportaron 4,848 defunciones en 31 estados del país, es decir, en promedio se llegan a presentar 220 pérdidas humanas por tormentas eléctricas al año, en el estado de Veracruz se han presentado alrededor de 200 decesos en el periodo señalado (CENAPRED, 2010).

Distribución de las tormentas eléctricas

Generalmente, las tormentas eléctricas ocurren con mayor frecuencia en los trópicos, en menor medida en las latitudes medias y rara vez son observados estos fenómenos en los polos (Brown, 2005).

El patrón de distribución de ocurrencia está influenciado por tres elementos principalmente: la zona de convergencia intertropical, la radiación solar acumulada en la superficie, y las corrientes oceánicas cálidas (Brown, 2005).

Fuera de los trópicos, la ocurrencia de las tormentas está relacionada con la incidencia solar. La ocurrencia de tormentas máximas se produce en el verano, mientras que las mínimas en invierno. En este sentido, América del Sur y África, situados en el ecuador, son los dos continentes con mayor ocurrencia de tormentas eléctricas. Las corrientes oceánicas también juegan un papel importante en la distribución mundial de las tormentas. La ocurrencia mínima de tormentas eléctricas se encuentra a lo largo de las costas del este, fuera de los trópicos, donde se producen las corrientes oceánicas frías (Brown, 2005).

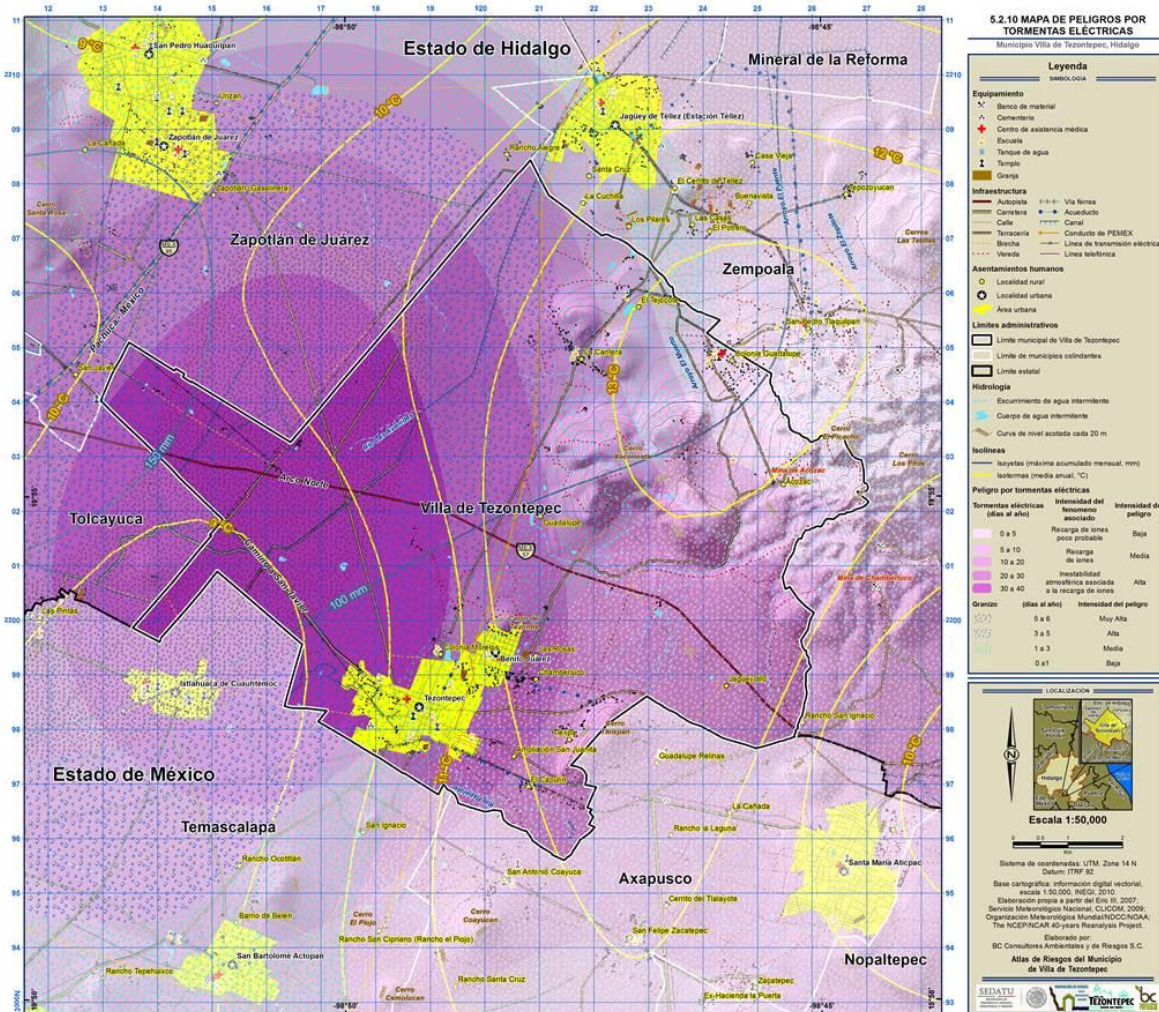
Las tormentas eléctricas en México ocurren entre mayo y octubre, se presentan generalmente durante la tarde o la noche, su ámbito es local y son intermitentes debido a la topografía del país. El promedio anual de ocurrencia de tormentas es de 30 hasta 100 al año en las sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre Sur, Madre Chiapas, Montañas del Norte de Chiapas y sistema Volcánico Transversal (CENAPRED, 2010).

En el municipio de Villa de Tezontepec, la distribución espacial de la ocurrencia histórica de las tormentas eléctricas está conformada por tres rangos de intensidad, la clasificada como alta, que va de 20 a 40 eventos de tormenta eléctrica al año está orientada hacia el oeste del municipio y ocupa una superficie de 4,634.01 hectáreas, que corresponde al 51.1% de la superficie total; el rango de intensidad media (de 10 a 20 ocurrencias de tormentas eléctricas al año) se distribuye en el centro del municipio, ocupa 3,845.6 ha y corresponden al 42.4% de la superficie total; por último, el rango de intensidad baja, que va de 0 a 5 eventos al año, ocupa una superficie del territorio municipal de 586.016 ha, que corresponden al 6.5% de la superficie total.

Es importante señalar que para determinar los rangos de ocurrencia de tormentas eléctricas en el municipio, se utilizaron 311 estaciones meteorológicas instaladas alrededor del municipio, se realizó un cálculo de la frecuencia de ocurrencia del fenómeno en un año, en un periodo de treinta años con el apoyo del lenguaje Fortran y el compilador Force, para este fin se consultaron las fuentes del Eric III (2007), CLICOM (2009) y bases de datos del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, por sus siglas en inglés).

Posteriormente se llevó a cabo la interpolación de los datos con el método de spline para obtener los rangos de ocurrencia del fenómeno.

Mapa 28. Mapa de peligros por Tormentas Eléctricas



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.2.11. Lluvias extremas

El mayor valor del promedio de la acumulación mensual en la república mexicana es en el estado de Oaxaca, con un valor que oscila los 900 mm, (UNAM, 2011).

El promedio histórico de precipitación, en el municipio de Villa de Tezontepec, se encuentra entre los 50 y 75 mm, en el acumulado mensual, y el máximo, de este acumulado, está entre los 100 y 150 mm (Mapa de peligros por ciclones tropicales), por lo que se puede concluir que las lluvias extremas en el territorio municipal son inexistentes.

5.2.12. Inundaciones

La ocurrencia de inundaciones en la localidad de Tezontepec es poco frecuente, sin embargo se tienen registros históricos de inundaciones en los años de 1969, 1970, 1984, la última ocurrencia de este fenómeno de este fenómeno fue el 19 de julio 2013. Se llevó a cabo el levantamiento de tirantes de inundación en las calles afectadas para determinar el peligro de inundaciones.

Se identificó que en el Camino a Tlexpa, localizado hacia el este de Tezontepec, se acumula el agua cuando existen fuertes precipitaciones, y afecta una superficie considerable de cultivo de cebada, además de afectar tres viviendas asentadas en el margen de la carretera. También se acumula el agua en la calle San Juan con Esquina Fresno, que escurre en dirección suroeste hasta confluir con el escurrimiento que tiene origen en el Camino a Tlexpa, además el jagüey localizado en el punto de confluencia se desborda debido al exceso de agua, ya que su diseño no es el adecuado para almacenar una cantidad de agua mayor a la que precipita. El agua entonces, de estos escurrimientos, se conduce principalmente a la calle Reforma, donde se registran los tirantes hasta de 60 centímetros de altura debido a la topografía de la localidad, a su vez, en esta calle se identificaron el mayor número de casas afectadas (figura 5.1)



Figura 3. Mecanismos de respuesta ante inundación en la calle Reforma

Como se observa en la figura 5.1, los habitantes de la localidad de Tezontepec utilizan costales con arena como mecanismo de respuesta ante los efectos durante la ocurrencia de inundaciones.

5.2.13. Vulnerabilidad física

Localidad de Tezontepec y Benito Juárez

La vulnerabilidad corresponde a la predisposición o susceptibilidad que tiene un elemento de ser afectado o de 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 sobre los mismos; 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, por ejemplo en pérdidas potenciales referidas de la segunda, que prácticamente sólo puede valorarse cualitativamente y forma relativa, debido a que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, ideológicos, etc., (Acosta, 2005).

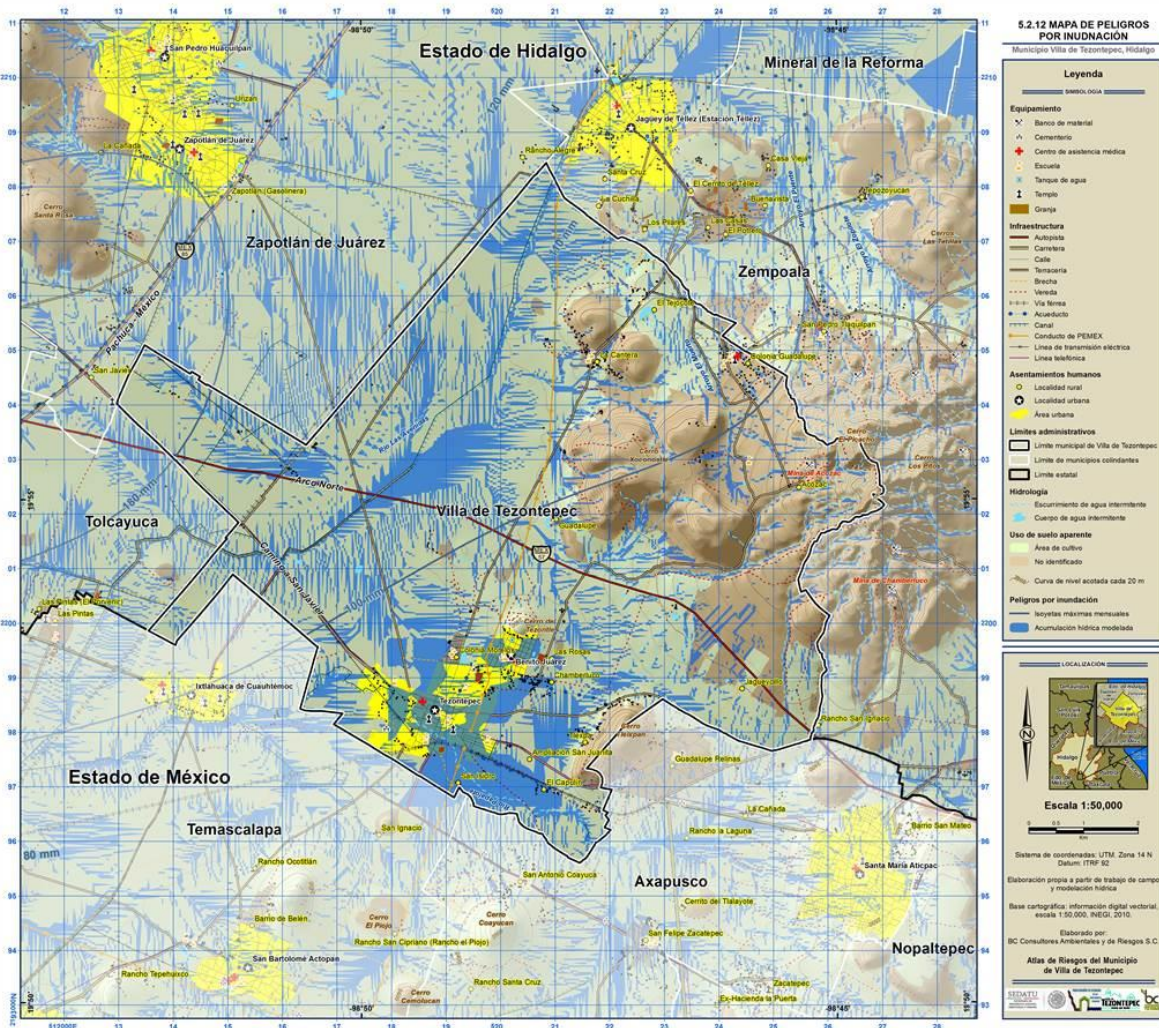
En México, acontecimientos como el del huracán Pauline en Acapulco (1997), los derivados de las lluvias intensas en Tijuana (1993 y 1998), en Pijijiapan y Valdivia en Chiapas (1998) y en Topochico en Monterrey (1999), también las inundaciones y deslaves ocurridos en octubre de 1999 en Tabasco, Veracruz, Puebla e Hidalgo, constituyen los ejemplos más recientes que ponen de manifiesto la gravedad de las consecuencias de los fenómenos hidrometeorológicos. (SEGOB, 2012). Entre las amenazas que han causado los mayores estragos en las áreas urbanas, destacan las de origen hidrometeorológico, debido a la intensidad y magnitud con que estas se presentan. Cabe destacar que las afectaciones repercuten en mayor proporción sobre la población vulnerable, que acorde a los factores físicos, sociales, económicos y ambientales incrementan la susceptibilidad ante los impactos (Cutter *et al.*, 2003; Cannon *et al.*, 2004).

En el Estado de Hidalgo, las fuertes precipitaciones pluviales pueden ocasionar que la población sea vulnerable a los eventos de inundación y afectaciones que esto provoca, si a esto, destacamos las problemáticas ambientales y sociales en las periferias, donde se observa la constante incorporación de tierras sin una vocación urbana, invadiendo suelo productivo, transformando ecosistemas y cambiando la habitabilidad de la población local. De la misma forma, estos espacios comúnmente son ocupados por población de bajos recursos económicos, que dadas sus necesidades de vivienda, se asientan sobre suelos inseguros y factibles a sufrir un desastre (Aguilar y Escamilla, 2009; Zulaica y Celemín, 2008; Bull-Kamanga *et al.*, 2003).

En lo que respecta a la vulnerabilidad física frente a inundaciones, el análisis realizado en el municipio de Villa de Tezontepec se basó estrictamente en la metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas de CENAPRED (2011), datos recabados en campo y trabajo de fotointerpretación, lo cual permitió conocer la susceptibilidad de las viviendas frente a este fenómeno, ya que los materiales que se han utilizado para construir las viviendas en las dos principales localidades: Tezontepec y Benito Juárez representan una variable muy importante en la estimación de la vulnerabilidad de dichas casas. Para el caso de la localidad Benito Juárez, el grado de vulnerabilidad física que se presenta ante inundaciones es bajo en la mayoría de la localidad aunque se observan pequeñas partes con un grado de vulnerabilidad media por contar con viviendas construidas con techo de lámina y otros puntos en los que, al no haber con una construcción con techo no hay datos para analizar el grado de vulnerabilidad. Esto se vincula directamente con la configuración urbana, ya que, en cierto sentido, las condiciones y situaciones humanas han incrementado la formación de inundaciones, siendo los asentamientos precarios los que comúnmente son más afectados, debido a la inestabilidad, transitoriedad, inseguridad, carencias y fragilidad en que se encuentran las viviendas, destacando como factores principales la materialidad, ubicación, servicios básicos y tenencia de la tierra. (Hernández & Vieyra, 2010)

Para la construcción de los mapas de vulnerabilidad física se tomó la referencia el tipo de material con el cual están construidas las viviendas; teniendo así que en la cabecera municipal (Mapa de vulnerabilidad física de la localidad de Villa de Tezontepec) las viviendas presentan una vulnerabilidad baja ya que tienen muros de tabique, ladrillo block, piedra, cantera, cemento y concreto; y sus techos son de losa de concreto, tabique, ladrillo y terrado con vigia.

Mapa 29. Mapa de peligros por Inundación



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.3. Vulnerabilidad Social

La vulnerabilidad social ante los desastres naturales se define como: *una serie de factores económicos, sociales y culturales que determinan el grado en que un grupo social está capacitado para la atención de la emergencia, su rehabilitación y recuperación frente a un desastre* (CENAPRED, 2013).

La vulnerabilidad social es consecuencia directa del empobrecimiento, el incremento demográfico y de la urbanización acelerada sin planeación. Asimismo, la vulnerabilidad social ante los desastres naturales se define como: una serie de factores económicos, sociales y culturales que determinan el grado en el que un grupo social está capacitado para la atención de la emergencia, su rehabilitación y recuperación frente a un desastre (CENAPRED, 2013).

Para poder obtener el grado de vulnerabilidad social se tomaron en cuenta tres factores:

- Indicadores Socioeconómicos
- Capacidad de Respuesta
- Percepción Local

El primer apartado se centra en identificar la cantidad de personas con necesidades básicas insatisfechas en los rubros de: Salud, Educación, Vivienda, Empleo e Ingreso y otras características de la Población; respecto al segundo apartado, se busca conocer la capacidad de respuesta de los órganos de protección civil en el caso de los municipios; y finalmente, en obtener la percepción de la población sobre los peligros a que ha estado o podría estar expuesta en su comunidad.

A continuación, se presentan los resultados de cada uno de los indicadores socioeconómicos del municipio de Villa de Tezontepec. Posteriormente, se muestran los resultados de la evaluación de la capacidad de respuesta de las autoridades de dicho municipio, la cual fue aplicada al Director de Protección Civil. Finalmente, se expresan los resultados obtenidos de la encuesta que fue aplicada a una muestra de la población que habita en las localidades seleccionadas con algún tipo de peligro en el municipio; con la finalidad de obtener la percepción que tienen los habitantes sobre los peligros a los que están expuestos y que pueden originar un desastre.

Indicadores socioeconómicos

Los resultados de los indicadores socioeconómicos, según su tipo son:

Salud

El resultado obtenido para este indicador es de **0.097**

Educación

El resultado obtenido para este indicador es de **0.1388**

Vivienda

El resultado obtenido para este indicador es de **0.0486**

Empleo e Ingresos

El resultado obtenido para este indicador es de **0.2638**

Población

El resultado obtenido para este indicador es de **0.2777**

Una vez que se obtuvieron las calificaciones de cada rubro: Salud, Educación, Vivienda, Empleo e Ingreso y Población; se procedió a obtener su promedio y determinar el impacto de los mismos en el índice municipal de vulnerabilidad social.

Para la obtención de la calificación final de las características socioeconómicas, se sumaron los resultados ponderados de cada rubro y compararon su resultado con una tabla de valores. Para el municipio de Villa de Tezontepec, la suma de los factores socioeconómicos arrojó un valor de **0.8263**, mismo que al dividirlo entre 5, que es el número total de rubros que se han analizado, da como resultado una calificación de **0.1652**. Esta cantidad será ponderada nuevamente cuando se calcule el índice de vulnerabilidad del municipio. Estos cálculos se muestran más adelante.

Capacidad de respuesta

Con el objetivo de reducir el riesgo, y así evitar desastres provocados por la presencia de fenómenos naturales, se aplicó un cuestionario para evaluar la capacidad de las autoridades para implementar actividades de prevención, respuesta y mitigación, así como ejecutar tareas para atender las emergencias.

Esta parte consta de un cuestionario cuya importancia radica en el conocimiento de los recursos, programas y planes con los que dispone la Unidad de Protección Civil Municipal en caso de una emergencia, por lo que va dirigido al responsable de ésta (CENAPRED, 2006).

En lo que respecta al municipio de Villa de Tezontepec, el resultado obtenido de la encuesta, arrojó un valor de **9**. De acuerdo a los valores establecidos por la Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, en su apartado de Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social (CENAPRED, 2006), corresponde a un grado de vulnerabilidad de **0.50**, indicando esto una capacidad de prevención y respuesta **Media** por parte de las autoridades.

Las actividades que realiza normalmente el personal de protección civil son: acciones preventivas o de emergencias para dar atención a las necesidades prioritarias de la población, coordinar acciones contra los peligros que pudiera presentar la población en la eventualidad de un desastre.

Percepción local

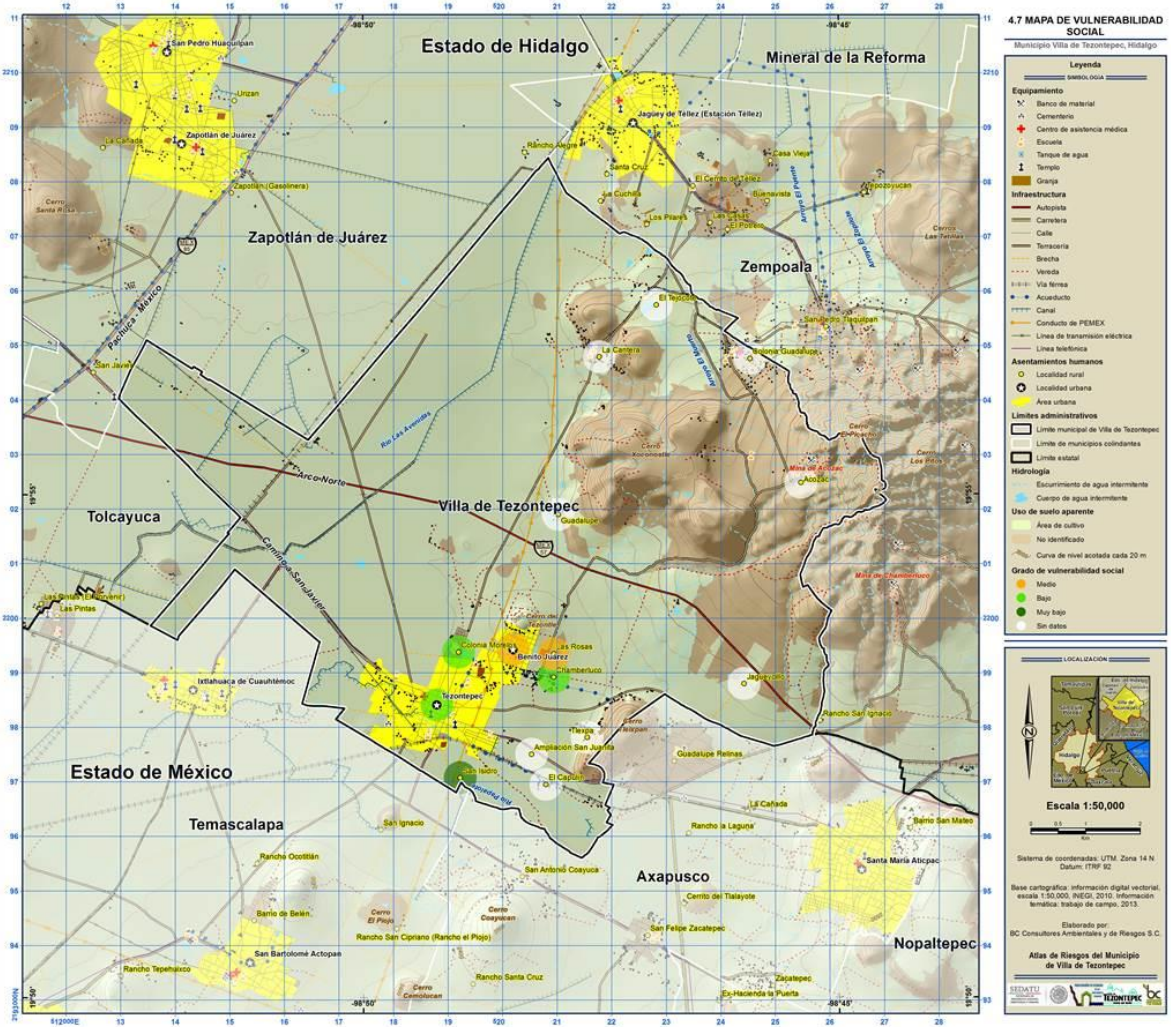
Para identificar la percepción que tiene la población de las localidades más afectadas por la presencia de fenómenos perturbadores de origen natural, se realizó una encuesta mediante un muestreo no probabilístico y con una encuesta categórica.

Las localidades en estudio fueron: Tezontepec, Benito Juárez, Colonia Morelos, . Chamberluco, Las Rosas y San Isidro. La Tabla 16 del apartado de anexos muestra los resultados de cada localidad

Grado de vulnerabilidad social

Una vez obtenida la calificación final de los tres aspectos a evaluar (características socioeconómica, capacidad de respuesta y percepción local de riesgo), se procedió a ponderar cada uno de los rasgos considerados; en donde las características socioeconómicas determinaron un 50%, la capacidad de respuesta un 25% y la percepción local de riesgo un 25%. La Tabla 16 muestra detalladamente los resultados para cada uno de los factores que se ponderan para obtener el índice de vulnerabilidad social. Derivado de esta tabla se puede identificar que las localidades con mayor grado de vulnerabilidad son Benito Juárez y Las Rosas.

Mapa 30. Mapa de Vulnerabilidad Social



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

5.4. Mapa de riesgos por inundación localidad Tezontepec y Benito Juárez

El discurso del riesgo empieza donde la confianza en nuestra seguridad termina, y deja de ser relevante cuando ocurre la potencial catástrofe. El concepto de riesgo delimita, por tanto, un peculiar estado intermedio entre seguridad y destrucción, donde la percepción de riesgos amenazantes determina pensamiento y acción. (Beck, 2001); En algunas investigaciones (Narváez, Lavell, & Pérez Ortega, 2009) se plantea que la definición de “riesgo de desastre” ha tomado dos rumbos: En primera instancia están las definiciones que se derivan de las ciencias de la tierra y que tienden a definir el riesgo como “la probabilidad de la ocurrencia de un evento físico dañino”. Esta definición pone énfasis en la amenaza o el evento físico detonador del desastre. En segunda instancia, están las definiciones de riesgo de desastre que rescatan lo social y lo económico y tienden a plasmarse en definiciones del siguiente tipo: “el riesgo de desastre comprende la probabilidad de daños y pérdidas futuras asociadas con la ocurrencia de un evento físico dañino”. O sea, el énfasis se pone en los impactos probables y no en la probabilidad de ocurrencia del evento físico como tal. El riesgo es una condición latente que, al no ser modificada o mitigada a través de la intervención humana o por medio de un cambio en las condiciones del entorno físico-ambiental, anuncia un determinado nivel de impacto social y económico hacia el futuro, cuando un evento físico detona o actualiza el riesgo existente.

Se acepta que es necesario profundizar, también, el conocimiento acerca de la percepción individual y colectiva del riesgo e investigar las características culturales, de desarrollo y de organización de las sociedades que favorecen o impiden la prevención y la mitigación; aspectos de fundamental importancia para poder encontrar medios eficientes y efectivos que logren reducir el impacto de los desastres en el mundo (Cardona, 2001). El riesgo está definido como la ponderación de la vulnerabilidad con el peligro del fenómeno estudiado y el valor de los bienes expuestos. Dado que la vulnerabilidad así como el peligro son variables adimensionales, las unidades del riesgo serán las mismas que las del valor de los bienes expuestos, que generalmente están dadas en unidades monetarias, en nuestro caso pesos, (CENAPRED, 2011).

Para efectuar la evaluación del riesgo por inundación de la localidad de Tezontepec se realizó a nivel de manzana con base en la metodología desarrollada por CENAPRED (2011) la cual, es útil para evaluar escenarios de peligro y riesgo a los que está expuesta la población, empleando para ello toda la información y las herramientas disponibles. Esta metodología plantea cuatro pasos: 1) La identificación del peligro por inundación; 2) la identificación de la vulnerabilidad de la vivienda ante inundaciones, 4) la probabilidad de que un evento extremo ocurra nuevamente y 3) la evaluación del riesgo de acuerdo al menaje.

La elaboración de los mapas de riesgo por inundación de las localidades de Tezontepec y Benito Juárez se llevaron a cabo a partir de los mapas de peligro por inundación y de vulnerabilidad física; tomando como principal parámetro el tirante de inundación y el menaje, entendiendo a este último como la cuantificación del porcentaje de los daños ocasionados en muebles y enseres menores existentes en la vivienda antes de la ocurrencia de la inundación (CENAPRED, 2011).

Se calculó el riesgo a partir de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno con base a una modelación probabilística, a partir de un análisis de extremos en donde se ajustó la distribución de valores extremos generalizada a la precipitación máxima mensual de 30 estaciones, para los meses de mayor ocurrencia de lluvias (junio a octubre).

Localidad de Tezontepec

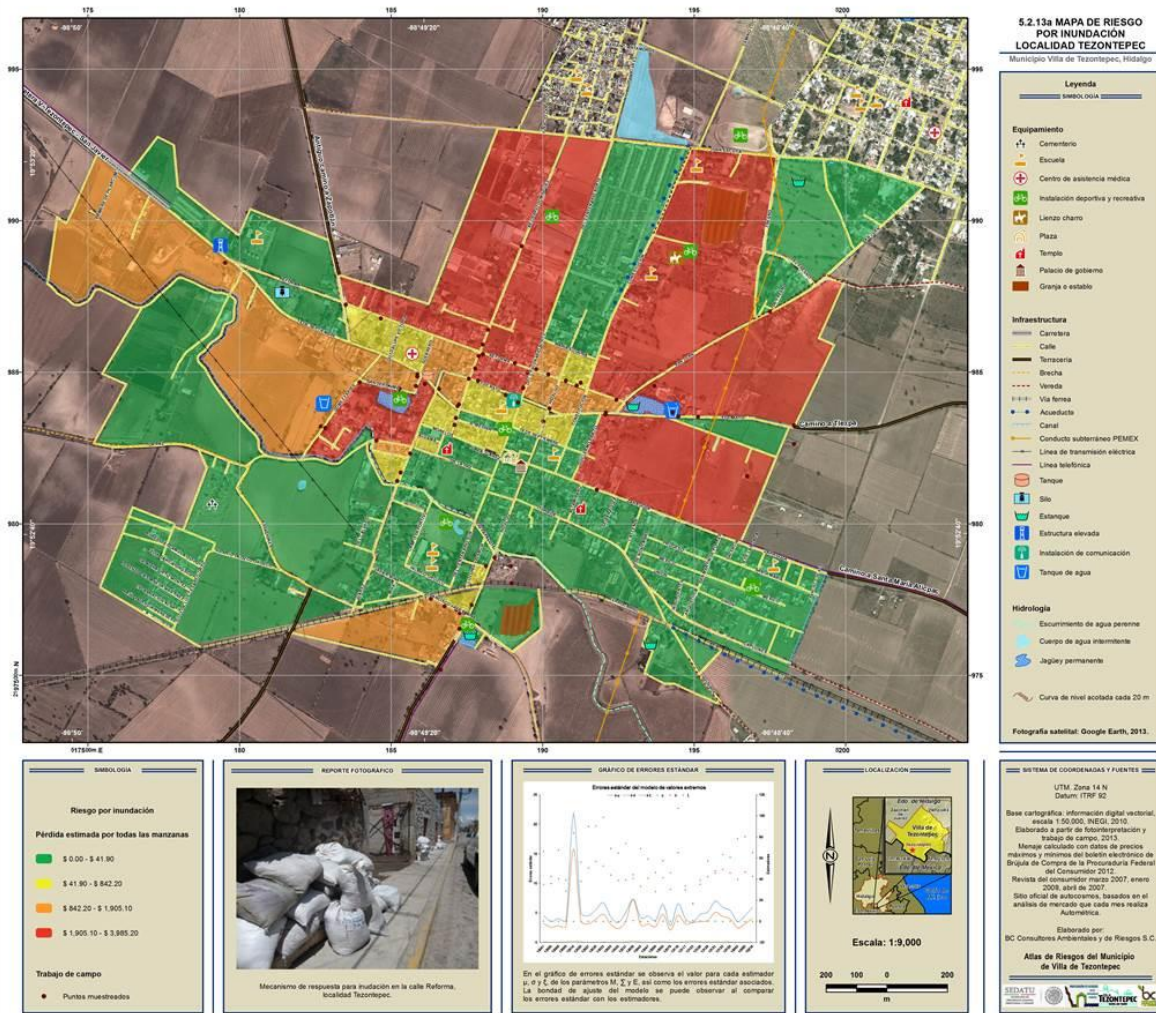
De esta manera, el análisis de la distribución espacial del riesgo en la localidad de Villa de Tezontepec está realizado a nivel de vivienda y muestra que los valores máximos (\$1, 905.10 a \$3,

985.20) representados en polígonos de color rojo ubicados en la parte central y noreste del mapa tiene un porcentaje de 67.7% de las manzanas.

Con respecto al intervalo de \$842.20 a \$1, 905.10, denotado por el color naranja dentro de la localidad, se observa que tiene el menor número de manzanas o viviendas con un porcentaje de 13.3% de manzanas.

El intervalo de \$41.90 a \$842.20 representa el 11.1% del total de manzanas, mientras que el intervalo de \$0.00 a \$41.90 es el 7.7%.

Mapa 31. Mapa de peligros por Inundación localidad Villa de Tezontepec



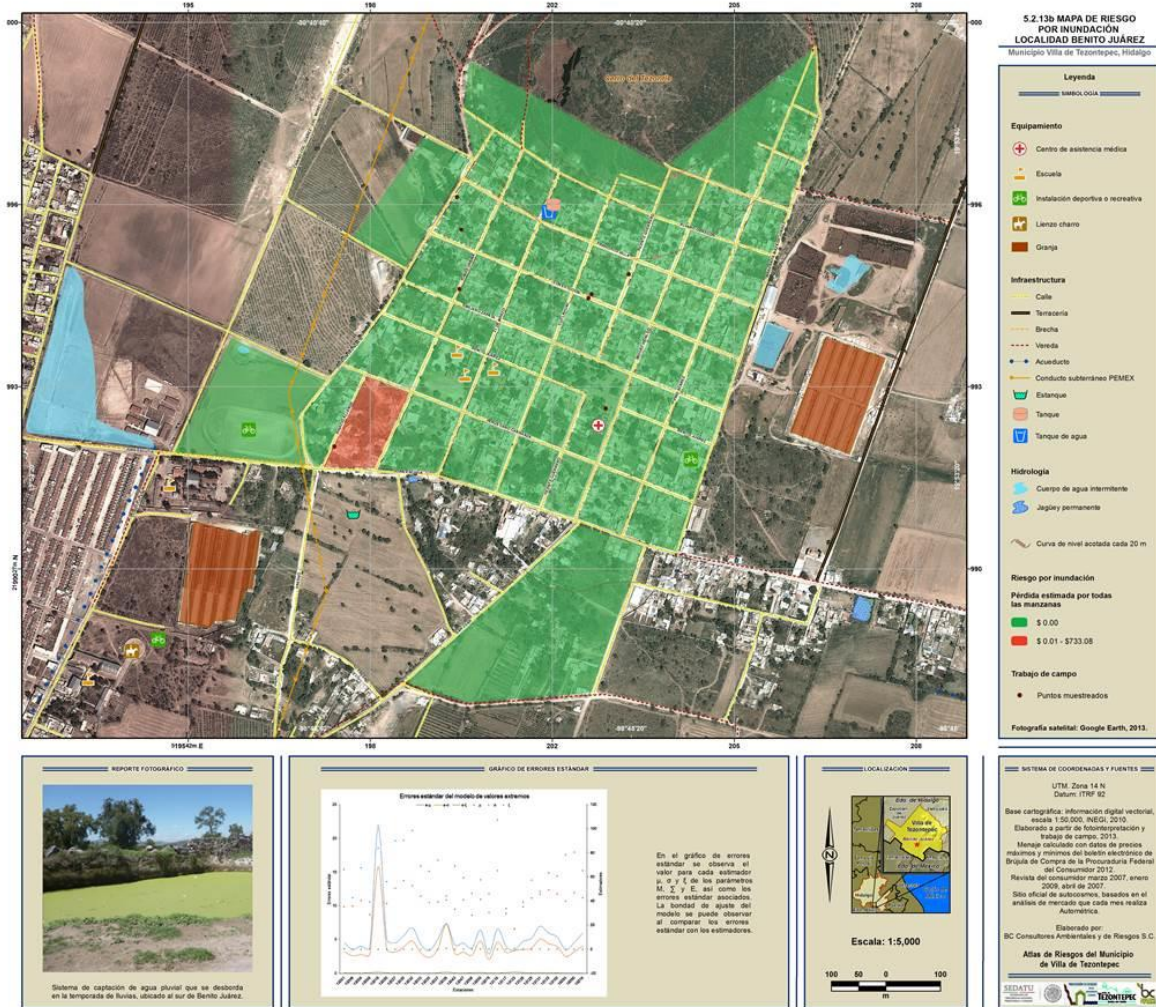
Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

Localidad de Benito Juárez

Para la localidad de Benito Juárez, el análisis de la distribución espacial del riesgo también está basado a nivel de vivienda y muestra como único valor máximo a (\$0.01 a \$733.08) representado en un sólo polígono de color rojo ubicado en la parte suroeste del mapa, con un porcentaje de 0.96% de las manzanas.

De esta manera, los polígonos de color verde que se observan corresponden al intervalo \$0.00 observándose que tiene el mayor número de manzanas o viviendas en esta localidad y presentando un porcentaje de 99.03% de manzanas.

Mapa 32. Mapa de peligro por Inundación localidad Benito Juárez



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

6. Medidas de mitigación (obras) para riesgos geológicos e hidrometeorológicos

Acciones de mitigación social

Las presentes acciones que se proponen, se realizan con base a los resultados que se determinaron en el desarrollo del Atlas de Riesgo municipal.

Protección civil

- Llevar a cabo un programa de capacitación periódica para la Unidad Municipal de Protección Civil que incluya talleres, diseño de estrategias de difusión, educación y sensibilización para la prevención de desastres naturales.
- Llevar a cabo una campaña de difusión del Atlas Municipal de Riesgos en las dependencias públicas y centros educativos del municipio. La campaña deberá contener una explicación clara sobre el manejo y utilidad del Atlas de Riesgos.
- Realizar cursos, talleres y estrategias de difusión y sensibilización para la prevención de desastres entre la población en general.
- Establecer un esquema de alertamiento y comunicación que permita enlazar a la cabecera municipal con las localidades.
- Elaborar planes de emergencia ante los distintos peligros que pueden embestir el territorio municipal.
- Ubicar mediante cartografía y un documento formal las rutas de evacuación, helipuertos, refugios temporales y albergues que puedan ser utilizados en caso de desastre.
- Establecer brigadas de protección civil en cada colonia y/o localidad del municipio, con el objetivo de apoyar a la difusión de información sobre prevención de riesgos a la comunidad.
- Desarrollar un esquema de alerta temprana ante la aparición de peligros de origen natural.
- Llevar a cabo simulacros entre la población, estableciendo parámetros de medición que permitan evaluar el grado de aprendizaje de la población y desarrollar estrategias de mejora ante dicho aprendizaje.
- Elaborar un documento que formalice la participación ciudadana en conjunto con la autoridad municipal para las labores de protección civil.
- Establecer esquemas de cooperación y coordinación con dependencias como la Comisión Nacional del Agua, la Secretaría de Salud del Estado, el Servicio Meteorológico Nacional, el Servicio Geológico Mexicano y otras que permitan tener conocimiento oportuno de los fenómenos naturales que puedan embestir el territorio municipal y llevar a cabo las labores de prevención correspondientes.
- Firmar convenios de colaboración con los municipios vecinos con la intención de emprender estrategias regionales de protección civil.
- Elaboración de estudios especiales para la identificación, evaluación, análisis de peligros y evaluación de vulnerabilidad ante los peligros identificados de forma específica y por localidad en particular.
- Elaboración de reglamentos de construcción que establezcan la tipología y técnica constructiva que deba utilizarse de acuerdo a los peligros y características del suelo del territorio municipal.

- Realizar estudios para la reubicación de asentamientos humanos hacia zonas aptas.

Equipamiento de la unidad municipal de Protección Civil:

- Equipar a la Unidad de Protección Civil con el equipo necesario para realizar sus labores. Entre los utensilios necesarios se encuentran:
 - Cuerdas especiales para rescate con capacidad de hasta 4 toneladas.
 - Chalecos salvavidas y boyas de flotación.
 - Equipo de radiocomunicación base y portátiles.
 - Botiquín de primeros auxilios equipado para dar atención en situaciones de emergencia y rescate ante los diferentes peligros identificados.
 - Adquirir una lancha con motor que permita realizar labores de prevención, monitoreo y rescate en los ríos que se encuentran en el territorio municipal.

Acciones de mitigación social para peligros Geológicos e Hidrometeorológicos

Dada la heterogeneidad de formas de relieve que existen en México, la combinación de distintos factores que determinan la inestabilidad de laderas es muy frecuente, principalmente en las zonas montañosas o contiguas a ellas, tal es el caso para el municipio de Villa de Tezontepec. De acuerdo con observaciones de campo y análisis cartográfico, diversas áreas afectadas por la inestabilidad de laderas del municipio se caracterizan por haber sufrido un cambio del uso del suelo y en particular por la deforestación y la extracción de materiales de los cerros Xoconostle, Picacho y Los Pitos, lo que aceleró la ocurrencia e intensificó la magnitud del impacto de dichos procesos.

De acuerdo con la SEMARNAP, la deforestación es la eliminación de la vegetación forestal, o el cambio de uso del suelo hacia usos no forestales, siendo el cambio de uso de suelo, la principal causa de la deforestación en nuestro país, aún cuando existen otras causas tales como el crecimiento demográfico y la actividad económica forestal, ocasionando la pérdida de suelos, extinción de especies, la recarga de los cuerpos de agua, entre otros procesos de deterioro ambiental. Así mismo la cabecera municipal Tezontepec se halla fuera del peligro por inestabilidad de laderas, sin embargo la porción este y noreste del municipio en dirección a los cerros es la más propensa a dicho fenómeno.

Las zonas más susceptibles a inestabilidad de laderas, así como también a los procesos de remoción en masa activos, coinciden con las áreas más propensas a erosión, deforestadas, asentadas sobre laderas de pendiente pronunciada, generalmente mayor a 25° de inclinación, con visibles geoformas que evidencian previos desprendimientos de masa (coronas de desprendimiento), y afectadas significativamente por la falta de vegetación. Destacan las localidades de Acozac y La Cantera, como las que se encuentran a mayor peligro por inestabilidad de laderas. Así mismo, la erosión constituye un factor, aunque no determinante, sí magnificador en la frecuencia de deslizamientos y procesos de remoción en masa, de la mano con la acción natural de la gravedad.

Por lo tanto se recomienda emprender las siguientes acciones de mitigación en el municipio de para la prevención de amenazas por inestabilidad de laderas:

- Reforestación y conservación:

Reforestación, limitando el suelo a un uso forestal, principalmente en zonas de pendiente mayor a 20° de inclinación, y donde existan claras evidencias de inestabilidad de laderas y/o procesos de remoción en masa.

Conservación de comunidades con vegetación natural, así como estrategias para promover su desarrollo y crecimiento.

Obras de control y mitigación de inundaciones de las localidades Tezontepec y Benito Juárez

La mayor parte de los alcantarillados en las localidades medianas y grandes se diseña y construye para funcionar en una red unitaria, es decir, en forma combinada se consideran las aguas residuales y las aportaciones pluviales (CONAGUA, 2012). En las localidades urbanas de Villa de Tezontepec se utiliza este tipo de sistema convencional, además las escorrentías superficiales que no se conducen por este, fluyen por las calles o por terrenos dedicados a la agricultura o ganadería, lo que provoca inundaciones y por lo tanto se ocasionan pérdidas de bienes materiales de viviendas así como de producción agropecuaria.

El continuo crecimiento de Tezontepec y las zonas que se están urbanizando alrededor de la localidad, implica una progresiva impermeabilización del suelo que altera de manera significativa el ciclo hidrológico natural del agua, en este sentido, con Perales y Doménech (2008), señalan que el desarrollo urbano desorganizado conlleva una serie de impactos que generan, entre otras problemáticas, excesos en la cantidad de agua que escurre sobre áreas impermeabilizadas, así que cuando el índice de urbanización supera la proyección inicial, en consecuencia la infraestructura no cubre la demanda para la que se diseñó y por lo tanto se da lugar a las inundaciones.

Para atender la problemática por inundaciones en el municipio, se proponen obras enfocadas al uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), en los que se afronta la gestión del agua pluvial desde una perspectiva que combina aspectos hidrológicos y de desarrollo urbano para minimizar impactos en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía y así, maximizar su integración paisajística (Perales & Doménech, 2008). A continuación se describen las obras propuestas para el municipio, con base en el SUDS se toman en cuenta tanto la adopción de medidas no estructurales que están orientadas a la prevención, como medias estructurales, enfocadas al control y mitigación de inundaciones.

Medidas no estructurales

Este tipo de medidas se refieren a cualquier decisión que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o acuerdos existentes en una sociedad para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través políticas y leyes, una mayor sensibilización pública, la capacitación y la educación (UNISDR, 2009). Con estas medidas se evita, en cierta medida, el tránsito de las escorrentías aguas abajo y su contacto con agua residual, es así que se hace la propuesta de las siguientes medidas no estructurales para el municipio Villa de Tezontepec.

- Planes de regulación urbana y rural en la zona donde se acumula el agua.
- Captación y reutilización de agua de lluvia.
- Control de conexiones ilegales al sistema de drenaje.
- Elaboración de planes de contingencia.
- Educación y programas de participación ciudadana para la sensibilización del problema y soluciones, identificación de factores implicados y cambio de hábitos.
- Limpieza frecuente de superficies impermeables (concreto) para reducir acumulación de objetos en sistemas de alcantarillado.
- Controlar las zonas en obras para evitar sedimentos, sobre todo en los sitios de explotación minera.

- Reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos

Medidas estructurales

Éstas se refieren a cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o a la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a amenazas (UNISDR, 2009). De acuerdo a las características físicas del municipio y en base al estudio de riesgo por inundaciones, se determinaron las medidas de mitigación y control estructurales que se describen a continuación.

- **Franjas de infiltración**

Son canales sin desnivel que se construyen en laderas, cuyo objetivo es captar el agua que escurre con el objetivo de disminuir los procesos erosivos, ya que aumentan la infiltración de agua en el suelo. Pueden ser construidas de forma manual o mecanizada y se sitúan en la parte superior o media de una ladera para capturar y almacenar escorrentía proveniente de las cotas superiores (Pizarro, Flores, Sangüesa, & Martínez, 2004).

Las franjas de suelo vegetadas, anchas y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía, propician sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración y disminución de la escorrentía (Perales & Doménech, 2008).

Las franjas de infiltración que se proponen para el municipio están sobre todo en la ladera del Cerro del Tezontle para proteger a la localidad de Benito Juárez y a su vez el noreste de la localidad de Tezontepec, también se proponen estas franjas hacia el oeste del cerro mencionado para proteger una zona de cultivo de cebada importante en el municipio. Por otra parte, se proponen la instalación de este tipo de obra hacia el este del municipio, donde se localiza un cerro que también aporta escorrentías a la localidad y cultivos.

Cunetas verdes

Las cunetas verdes son estructuras lineales cubiertas de vegetación, generalmente de pasto, con una base superior a 0.5 m y taludes con poca pendiente. Se diseñan para capturar y tratar el volumen de agua que escurre por la superficie. Existen tres tipos de cunetas, las tradicionales, que consisten en canales recubiertos de césped para transportar el agua de escorrentía; las vegetales secas con un filtro con material permeable que permite que el agua se infiltre; las vegetales húmedas, que retienen el agua permanentemente (DUS, 2013). En el municipio es recomendable se utilicen las vegetales secas, ya que la mayor parte del tiempo este tipo de cunetas no contienen agua.

La instalación de cunetas se propone sobre todo en la carretera ubicada hacia el noreste de la localidad de Tezontepec, ya que de acuerdo con el trabajo de campo realizado, ésta es una zona de acumulación de la escorrentía, de esta forma se minimizaría el impacto que provoca en viviendas abajo y también se minimizarían las aportaciones del jagüey Buenos Aires que se desborda cuando ocurren eventos de lluvias extremas. Asimismo, se propone la instalación de estas cunetas en la carretera que va hacia el este de la localidad mencionada, ya que se determinaron acumulaciones de flujos en los tramos señalados en el Mapa de Obras de Mitigación de las localidades Tezontepec y Benito Juárez.

Tragatormenta

Esta infraestructura es un sistema auxiliar de la red de alcantarillado, su función es la captación y evacuación de las aguas pluviales y que escurren sobre las calles y avenidas, con el fin de evitar su acumulación. El agua recolectada es conducida al sistema de atarjeas, los tragatormentas se ubican a cierta distancia en las calles con el fin de interceptar el flujo superficial, especialmente aguas arriba del cruce de calles y avenidas de importancia, también se colocan en los puntos bajos del terreno donde pudiera acumularse el agua (CONAGUA, 2007).

Se plantea la instalación de un tragatormentas en la calle 16 de septiembre entre Benito Juárez y Cuahutémoc, así como una serie de estos en entronques de la calle Reforma y en la calle Hidalgo;

también es necesario este tipo de infraestructura en la Colonia Morelos, donde se han registrado acumulaciones de agua.

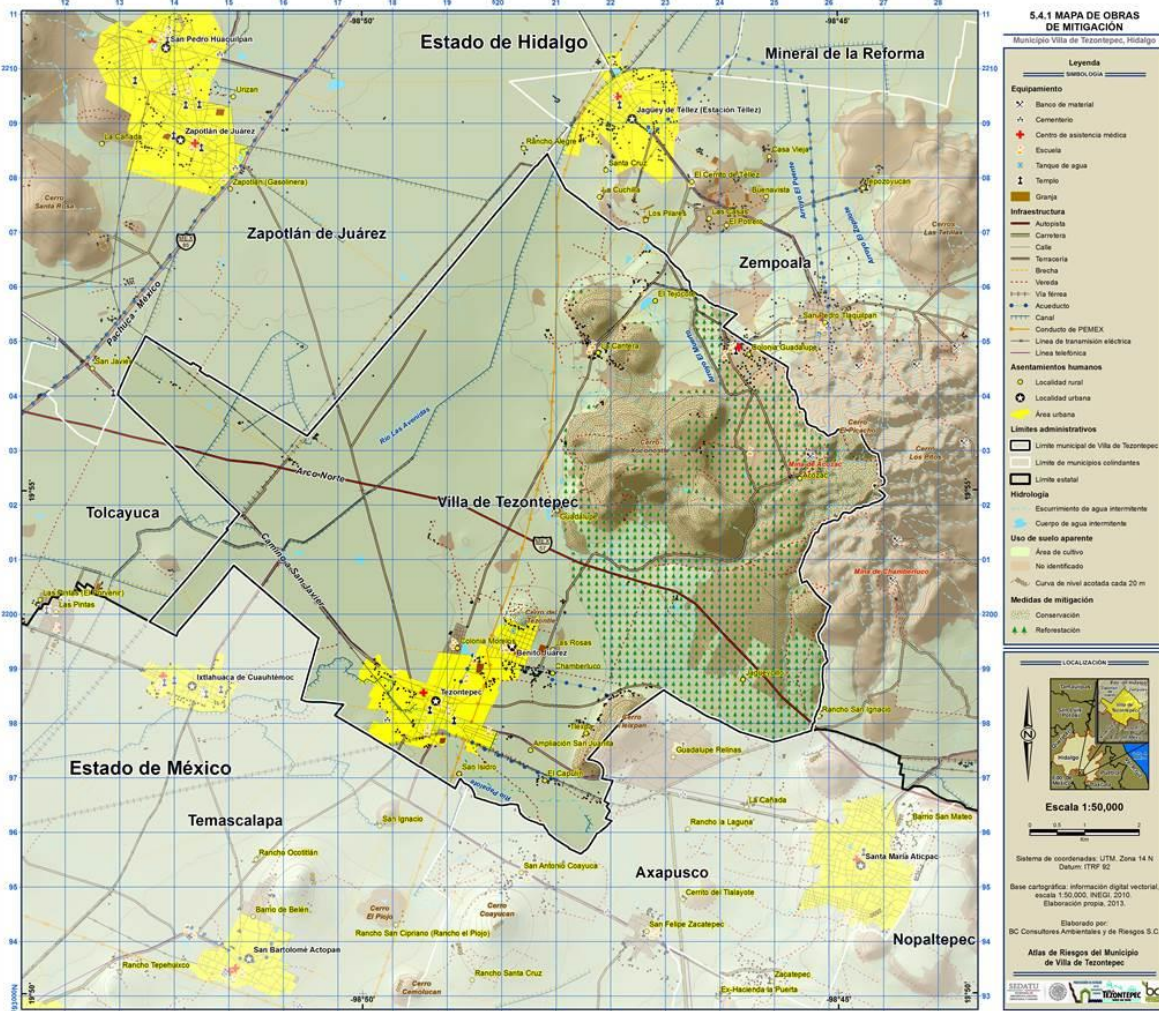
Mantenimiento de sistemas de captación de agua de lluvia (Jagüey)

Se identificó que los sistemas de captación de agua de lluvia no tienen la capacidad de almacenamiento de agua suficiente cuando ocurren eventos de lluvias extremas, por lo tanto es necesario realizar un ajuste de diseño, con el fin de mejorar su operación.

En este sentido de acuerdo con SAGARPA (2009), los jagüeyes deben diseñarse bajo técnicas ingenieriles, considerando elementos como seguridad y estabilidad de la obra, así como un vertedor y controlar los niveles máximos de agua.

Este tipo de infraestructura se construya donde hay una recarga relativamente constante de agua de lluvia, alrededor de 400 mm de lluvia. En áreas con precipitación inferior pueden ocurrir evaporaciones excesivas y que el resto de agua se salinice o eutrofice, por lo que se deberá recurrir a un sistema de almacenamiento cerrado (SAGARPA, 2009).

Mapa 33. Mapa de Obras de Mitigación



Fuente: Elaborado por BC Consultores Ambientales y de Riesgos S.C.

7. Anexos

7.1. Bibliografía

- AgroRural. (1 de Julio de 2013). *Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural*. Obtenido de <http://www.agrorural.gob.pe/conservacion-de-suelos/conservacion-de-suelos/conservacion-de-suelos.html>
- Alcántara A., I. (2003). *Valoración Económica del Servicio de Ecosistemas (Prevención de Desastres)*. México: UNAM.
- Alfredo Ruiz Barradas, Adalberto Tejeda Martínez, Saúl Miranda Alonso y Rodrigo Humberto Flores Zamudio. (2007). *Climatología*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Almorox Alonso, J., De Antonio García, R., Saa Requejo, A., Díaz Álvarez, M. C., & Gascó Montes, J. M. (1994). *Métodos de estimación de la erosión hídrica*. España: Agrícola Española, S. A.
- Alva, L. (1996). *Propiedades geofísicas de la Tierra*. Cuadernos del Instituto de Geofísica, Instituto de Geofísica, UNAM: Plaza y Valdés.
- Antezana, J. (2001). *Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de perfiles de suelo revisado RUSLE en sistemas de producción agrícola de la Cuenca Taquiña*. Cochabamba, Bolivia: Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS).
- Arias, D., Dorado, O., & Maldonado, B. (2002). Biodiversidad e importancia de la selva baja caducifolia: de la Reserva de la biósfera Sierra de Huautla. *Biodiversitas*, 7-12.
- Arzate F., J. (2006). Estudio Geológico-Geofísico para la evaluación de los hundimientos y agrietamientos en el área metropolitana San Luís Potosí-Soledad de Graciano Sánchez. México.
- ATL. (20 de Septiembre de 2013). *Atl el portal del agua desde México*. Obtenido de http://www.atl.org.mx/coloquio/index.php?option=com_content&view=article&id=56:iq-e-es-una-cuenca&catid=7:slidertrip&lang=es
- Banco Mundial. (20 de Septiembre de 2009). *El Banco Mundial, trabajamos por un mundo sin pobreza*. Obtenido de Indicadores del desarrollo mundial, emisiones de CO2.: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC/countries/MX-XJ-XT?display=graph>
- Barrios, A. (2000). Distribución espacial del factor LS (RUSLE) usando procedimientos SIG compatibles con IDRISI. Aplicación en una microcuenca andina. *Revista Forestal Venezolana*, 44(1), 57-64.
- Baxter, P. (1999). Impacts of eruptions on human health. En H. Siggurdson, *Encyclopaedia of Volcanoes* (págs. 1035-1043). New York: Academic Press.
- Beck, B. (1986). A generalized genetic framework for the development of sinkholes and karst in Florida, U.S.A. *Environmental Geology and Water Sciences*, 8, 5-18.
- Beck, B. (1988). Environmental and Engineering effects of sinkholes- The processes behind the problems. *Environmental Geology and Water Sciences*, 12, 71-78.
- Benito, G. (1987). Karstificación y colapsos kársticos en los yesos del sector central de la Depresión del Ebro. *Cuaternario y Geomorfología*, 1, 61-76.

- Brown, R. (2005). Thunderstorms. En J. Oliver, *Encyclopedia of world climatology* (págs. 719-724). London: Springer.
- Campbell, K. (1981). Near source attenuation of peak horizontal acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2039-2070.
- Capra, L., & Macías, J. (2000). Pleistocene cohesive debris flows at Nevado de Toluca Volcano, central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 149-168.
- Carrasco-Núñez, G. (1999). Holocene block-and-ash flows from summit dome activity of Citlaltepétl volcano, eastern México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 88, 47-66.
- Carrasco-Núñez, G., & Gómez-Tuena, A. (1997). Volcanogenic sedimentation around Citlaltépétl Volcano (Pico de Orizaba) and surroundings. *Magmatism and tectonics in the Central and Northwestern México - a selection of the 1997 IAVCEI General Assembly excursions*, 131-151.
- Carrasco-Núñez, G., & Rose, W. (1995). Eruption of a major Holocene pyroclastic flow at Citlaltepétl volcano (Pico de Orizaba), México, 8.5-9.0 ka. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 69, 197-215.
- Carrasco-Núñez, G., Richter, K., Chesley, J., Siebert, L., & Aranda-Gomez, J. (2005). Contemporaneous eruption of calc-alkaline and alkaline lavas in a continental arc (Eastern Mexican Volcanic Belt): chemically heterogeneous but isotopically homogeneous source. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150(4), 423-440.
- Carrasco-Núñez, G., Vallance, J., & Rose, W. (1993). A voluminous avalanche-induced lahar from Citlaltépétl volcano, Mexico: implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59, 35-46.
- CCVM. (29 de Octubre de 2013). *Consejo de cuenca del Valle de México*. Obtenido de <http://cuencavalledemexico.com/cultura-del-agua/>
- CENAPERD. (19 de Noviembre de 2013). *Atlas nacional de riesgos*. Obtenido de Tornados, riesgos hidrometeorológicos: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=115&Itemid=223
- CENAPRED. (2001). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México, Atlas nacional de riesgos de la República Mexicana*. México: Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2001). *Fascículo de Heladas*. México: Secretaría de Gobierno.
- CENAPRED. (2006). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. México: Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social*. México.
- CENAPRED. (2007). *Atlas nacional de riesgos*. México: Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2007). *Serie de fascículos, sequías*. México: Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2009). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social*. México.
- CENAPRED. (2010). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2009*. México: Secretaría de Gobierno.
- CENAPRED. (2010). *Fascículo de tormentas severas*. México: Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2010). *Tormentas severas*. México: Secretaría de Gobernación.
- CENAPRED. (2012). *Heladas y Nevadas*. México D.F.: SEGOB.

- CENAPRED. (01 de Enero de 2013). *Atlas Nacional de Riesgos*. Obtenido de CENAPRED: http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=61&Itemid=215
- CENAPRED. (29 de octubre de 2013). *CENAPRED*. Obtenido de Atlas Nacional de Riesgos: [http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=221]
- CENAPRED. (3 de Julio de 2013). <http://www.cenapred.unam.mx/>. Obtenido de <http://www.cenapred.unam.mx/>: <http://www.cenapred.unam.mx/es/Investigacion/RHidrometeorologicos/FenomenosMeteorologicos/TormentaGranizo/>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres, C. (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. D.F., México: CENAPRED.
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad.*, 87-108.
- Clérici, C., & García Préchac, F. (2001). Aplicaciones del Modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la Región Sur de la Cuenca del Río de la Plata. *Agrociencias*, 5(1), 92-103.
- CONABIO. (2010). *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. México: CONABIO.
- CONAGUA. (2002). *Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero zona metropolitana de la ciudad de México*. México D.F.: Subdirección general técnica.
- CONAGUA. (2005). Mapa Hidrológico, escala 1:1 000 000. *Sistema de Información Geográfica del Agua, Subgerencia de Programación de la Gerencia Regional Golfo Centro de la Comisión Nacional del Agua*.
- CONAGUA. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Alcantarillado pluvial*. México: Secretaría del medio ambiente y recursos naturales.
- CONAGUA. (2011). *Reporte del Clima en México*. México, D.F.: Servicio Meteorológico Nacional.
- CONAGUA. (2012). *Manual de instalación de tubería para drenaje sanitario*. México: Secretaría de Gobernación.
- CONAPO. (15 de 02 de 2013). *Índice de Marginación por Entidad Federativa y Municipio 2010*. Obtenido de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio
- CONEVAL. (1 de Marzo de 2013). *Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social*. Obtenido de http://www.coneval.gob.mx/rw/resource/Estados_y_Municipios.xls.zip
- Corapcioglu. (1984). Land subsidence a state of the art review. *Fundamentals of Transport Phenomena in Porous Media. Bear and M. Y. Corapcioglu (Ed.), NATO ASI Series E.82*, 369-444.
- Córdoba-Avález, A., Alcántara-Carbajal, J. L., Guzmán-Plazola, R., Mendoza-Martínez, G. D., & González-Romero, V. (2009). Desarrollo de un índice de integridad biológica avifaunístico para dos asociaciones vegetales de la reserva de la biosfera Pantanos de Centla, Tabasco. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*, 1-22.
- Corona-Baca, M. (2011). *Estratigrafía de secuencias de la cuenca Cenozoica de Veracruz. Tesis de licenciatura*. México D.F.: UNAM.

- Cuaupio-Pérez, C. (2007). Evaluación geológica de una sección de la Formación Guzmantla aflorante en Cerro Peñuela, Córdoba, Ver.; porosidad, facies sedimentarias y registros de imágenes de resistividad. *Geos*, 109-110.
- Cullen, H. (2005). Asia, climate of sothwest. En J. Oliver, *Encyclopedia of world climatology* (págs. 120-125). Springer.
- Del Amo, S. (1999). Manejo y Enriquecimiento de los Acahuals. En S. d. Pesca, *Cuadernos por la Tierra No. 7. Programa de Acción Forestal Tropical. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza* (pág. 30). México.
- Desastres, C. N. (2010). *Tormentas Severas*. México D.F.: Secretaría de Gobernación.
- Díaz, A. (2004). *Manejo de cuencas y gestión del riesgo a desastres naturales, en el área de la mancomunidad de los municipios del centro de Atlántida, Honduras*. Turralba, Costa Rica: CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Domínguez M., L., & Mendoza L., M. J. (2006). *Estimación de la Amenaza y el Riesgo de Deslizamientos en Laderas*. México: CENAPRED.
- Domitilo Pereyra Diaz, Quintiliano Angulo Cordoba, Beatriz E. Palma Grayeb. (1994). Effect of ENSO on the mid-summer drought. *Atmosfera*, 111-219.
- Dourojeanni, e. a. (2002). *Gestión de agua a nivel de cuencas: teórica y práctica. Serie Recursos Naturales e Infraestructura*. Santiago de Chile: CEPAL.
- DUS. (12 de Diciembre de 2013). *Drenaje urbano sustentable*. Obtenido de <http://drenajeurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/cunetas-verdes/>
- El independiente de Hidalgo. (5 de Octubre de 2010). *Heladas acabaron con 960 hectáreas de cebada en Villa de Tezontepec*. Obtenido de <http://www.elindependientedehidalgo.com.mx/2010/10/14987>
- El Universal. (20 de Octubre de 2008). <http://www.eluniversal.com.mx/notas/548607.html>. Obtenido de <http://www.eluniversal.com.mx/notas/548607.html>
- Ellis, E., & Martínez, M. (2009). Vegetación y Uso de Suelo.
- Enríquez, C., Oropeza, O., & Ortíz, M. (2009). Peligros geológico- geomorfológicos en cuencas hidrográficas. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)*, 38-45.
- FAO. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Guía FAO conservación 13/6*. FAO.
- FAO. (2007). *Base referencial mundial del recurso suelo*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/011/a0510s/a0510s00.htm>
- FAO. (2008). *Apoyo a la rehabilitación productiva y el manejo sostenible de microcuencas en municipios de Ahuachapán a consecuencia de la tormenta Stan y la erupción del volcán Ilamatepec*. El Salvador: FAO.
- FAO. (26 de junio de 2013). *Depósito de documentos de la FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/DOCREP/006/X8234S/X8234S00.HTM>
- Gama-Castro, J., Solleiro-Rebolledo, E., Flores-Román, D., Sedov, S., Cabadas-Báez, H., & Díaz-Ortega, J. (2007). Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental: el caso del Glacis de Buenavista, Morelos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 1(59), 133-145.
- García Cueto, R. O., Santillán Soto, N., Ojeda Benítez, S., & Quintero Núñez, M. (2012). Escenarios de temperaturas extremas en Mexicalli, México bajo condiciones de Cambio Climático. Universidad Autónoma de Baja California.

- Gobierno del estado de Hidalgo. (2005). *Programa estatal de protección civil 2005-2011*. Hidalgo.
- Gobierno del Estado de Veracruz. (11 de 06 de 2013). *Secretaría de Finanzas y Planeación*. Obtenido de Cuadernillos Municipales: <http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/files/2013/04/Tlacotalpan.pdf>
- Godínez, J. (1994). Desarrollo económico y deterioro ambiental: una visión de conjunto y aproximaciones al caso México. *Gestión y estrategia, departamento de administración, edición internet*.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall: Madrid, España.
- Gordon, W. S., & Edwards, P. J. (2006). Concepts about forest and water. *Northern Journal of Applied Forestry*, 23(1), 11-19.
- H. Unzón, A., Bravo, C., & Días, J. (2010). *Reseña del Huracán "Karl" del Océano Atlántico*. México D.F.: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.
- Hobbs, J. (2005). Climate Hazards. En J. Oliver, *Encyclopedia of world climatology* (págs. 233-243). Londres: Springer.
- Hobbs, J. (2005). Climate Hazards. En J. Oliver, *Encyclopedia of world climatology* (págs. 233-243). London: Springer.
- Hoskuldsson, A., Robin, C., & Cantagrel, J. (1990). Repetitive debris avalanche events at Volcano Pico de Orizaba, México, and their implications for future hazard zones. *IAVCEI International Volcanological Congress*.
- IMTA. (2007). Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. *Gaceta del IMTA*, 3,4 y 5.
- Indiana State University. (2004). *ENCYCLOPEDIA OF WORLD CLIMATOLOGY*. Indiana: Springer.
- INE. (2010). Sistema de consulta de las cuencas hidrográficas de México. *Cuenca de México*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- INE. (2013). *Sistema de Consulta de las Cuencas Hidrográficas de México*. Obtenido de Instituto de Ecología: <http://cuencas.ine.gob.mx/cuenca>
- INE, INEGI, CONAGUA. (2007). *Delimitación de las cuencas hidrográficas de México a escala 1:250,000*. México: INE.
- INECOL. (2009). *Vegetación y Uso de suelo*. INECOL.
- INEGI. (1990, 1995, 2000, 2005 y 2010). Censos y conteos de población y vivienda, principales resultados por localidad. México.
- INEGI. (2007). *Censo agrícola, ganadero y forestal 2007*. México: INEGI.
- INEGI. (2009). *Guía para la Interpretación de Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación*. México: INEGI.
- INEGI. (2010). *INEGI*. Obtenido de Servicio Meteorológico Nacional: <http://smn.cna.gob.mx>
- INEGI. (2012). *Clima*. México D.F.: SEP.
- INEGI. (2013). *Escurrimiento superficial en milímetros*. Obtenido de INEGI: http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/hidrologia/rios/regiones_hidrologicas.cfm
- INEGI. (05 de Marzo de 2013). *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática*. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=30>
- INEGI. (05 de Marzo de 2013). *Secretaría de Finanzas y Planeación*. Obtenido de <http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/anuario-estadistico-2012/>

- Instituto de Geografía; UNAM. (2007). *Programas Estatales de Ordenamiento Territorial. Caracterización y Diagnósticos Sectoriales del Estado de Yucatán*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007*. Roma: Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO.
- Iverson, R., Schilling, S., & Vallance, J. (1998). Objective delineation of lahar inundation hazard zones. *Geological Society of America*, 110, 972-984.
- Jachens, C. R., & Holzer, L. T. (1979). Geophysical investigations of ground failure related to ground water withdrawal Picacho basin, Arizona. *Ground Water*.
- Jáuregui, E., & Zitácuaro, I. (1985). El impacto de los ciclones tropicales del Golfo de México, en el estado de Veracruz. *La Ciencia y el Hombre*, 75-119.
- Juárez Cerillo, S. F. (2011). *Análisis estadístico histórico de variabilidad climática. Programa de Estudios sobre Cambio Climático de la Universidad Veracruzana*. Universidad Veracruzana.
- Kover, T. (1995). *Application of a digital terrain model for the modelling of volcanic flows: a tool for volcanic hazard determination*. State University of New York at Buffalo, Tesis de maestría.
- Laura-Ramírez, L. (2010). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta. Tesina. Universidad Nacional de Salta.
- Laverde-Barajas, M. Á., Pedrozo-Acuña, A., & González-Villareal, F. J. (2012). ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD POR MAREA DE TORMENTA Y SU EFECTO EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO PANUCO. *XXII CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA*, 1-7.
- Leff, E. (2002). *Saber ambiental*. México: Siglo XXI editores S.A. de C.V.
- Lugo-Hubp, J. (2011). *Diccionario geomorfológico*. México: UNAM, Instituto de Geografía.
- Macías, J. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen Conmemorativo del Centenario*.
- Macías, J. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen Conmemorativo del Centenario. Temas Selectos de la Geología Mexicana. Tomo LVII, Núm. 3*, 379-424.
- Macías, J., & Capra, L. (2005). *Los volcanes y sus amenazas: La ciencia para todos* (Vol. 210). Distrito Federal, México: Fondo de Cultura Económica.
- Magaña, V.O., J.L. Pérez y J.B. Pérez . (2003). Impacto of El Niño on Precipitation in México. *Geografía*, 42, 3:313 - 330.
- Mallamex. (1 de Julio de 2013). *Mallamex*. Obtenido de <http://mallamex.com.mx/mtriple.html>
- María, P. A. (1999). Agentes erosivos y tipos de erosión. *INIA*, 23-66.
- Medina, A., Salazar, T., & Álvarez, J. (2007). Fisiografía y Suelos. En G. Benítez, & C. Welsh, *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural de Veracruz. Tomo I* (págs. 31-42.). Gobierno del Estado de Veracruz - Universidad Veracruzana.
- Mooser, F., Meyer-Abich, H., & McBirney, A. (1958). Catalogue of the active volcanoes of the world including solftara fields. Part IV. *Central America: Napoli International Volcanology Association*, 1-36.
- Moreno-Casasola, P., & Paradowska, K. (2009). Especies útiles de la selva baja caducifolia en las dunas costeras del centro de Veracruz. *Madera y Bosques*, 21-4.
- Naciones Unidas. (2005). *Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres*. Hyogo, Japón: Naciones Unidas.

- Naciones Unidas. (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres". Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres*. Naciones Unidas.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2010). *Thunderstorms, Tornadoes, Lightning..Nature's Most Violent Storms*. U.S.A: U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE.
- Nations, U. (1998). *Understanding urban seismic risk around the world: "Radius Project"*. Switzerland: United Nations Publication.
- Nicholson, S. (2005). Deserts. En J. Oliver, *Encyclopedia of world climatology* (págs. 324-333). Springer.
- Organización Mundial de Meteorología. (1996). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológica*.
- Ortiz, I., & Fernández, E. (1995). Morfología exokárstica. En E. Fernández, N. Herrero, J. Lariio, I. Ortiz, R. Peiro, & C. Rossi, *INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA KÁRSTICA* (págs. 111-119). Federación Española de Espeleología.
- PAHO. (2012). *Salud en las américas*. Washington DC: Secretaría de la Organización Panamericana de Salud.
- Palma, B., Morales, R., & Díaz, D. (2012). Actualización de envolventes de probabilidad empírica de impactos de ciclones a cuatro puertos del Golfo de México y antelación al riesgo. *Las inundaciones del 2010 en Veracruz: La biósfera escenarios y herramientas*, 70-89.
- Palma, I. (2000). Elementos para una estrategia de intervención en el proceso de ordenamiento territorial en la subcuenca del río las tinajas. Universidad del Valle de Guatemala. Facultad de Ciencias Sociales. Maestría en desarrollo. *Curso de ordenamiento territorial. Guatemala*. Guatemala.
- Pedraza, J. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Madrid, España: Rueda.
- Peiro. (1995). Procesos de karstificación. En E. Fernández, N. Herrero, J. Lario, I. Ortiz, R. Peiro, & C. Rossi, *INTRODUCCIÓN A LA GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA* (págs. 43-49). Federación Española de Espeleología.
- Perales, S., & Doménech, I. (2008). *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. España.
- Pereyra, D., & A., P. (2006). *Hidrología de Superficie y Precipitaciones intensas 2005 en el Estado de Veracruz*. Obtenido de Inundaciones en el estado de Veracruz. 2006. 1ª Ed.: www.uv.mx/eventos/inundaciones2005/
- Pierson, T. (1985). Initiation and flow behavior of the 1980 Pine Creek and Muddy River lahars, Mount St. Helens, Washington,. *Geological Society of America Bulletin*, 96, 1056-1069.
- Pizarro, R., Flores, J., Sangüesa, C., & Martínez, E. (2004). *Monografías Zanjas de infiltración*. Chile: Impresora Contacto Ltda.
- Prokopovich, N. (1979). Genetic classification on land subsidence. En: Saxena, S.K. (ed.). Evaluation and prediction of subsidence. Proc. of the Int. Conf., Pensacola Beach, Florida, January 1978. *Am. Soc. Civil Eng*, 389-399.
- Protección Civil del Gobierno Español. (29 de Octubre de 2013). *Dirección general de protección civil y emergencias*. Obtenido de Vientos fuertes: <http://www.proteccioncivil.org/vientos-fuertes>
- R. Barradas, A., T. Martínez, A., Miranda, S., & Flores, R. H. (2007). *Climatología*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Ramírez León, J. M. (2009). *Producción de sedimentos en cuencas: Revisión de criterios y aplicabilidad a la cuenca del río Apulco*. Jiutepec, Morelos: Tesis. UNAM.

- Rojas, E., Arzate, J., & Arroyo, M. (2002). A method to predict the group fissuring and faulting caused by regional groundwater decline. *Engineering geology*, 245-260.
- Rosengaus, M. (2010). IMPACTO DE LOS CICLONES TROPICALES EN LAS CUENCAS DE MÉXICO. *LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO*, 32-37.
- Rossotti, A. (2005). *Reconstrucción de la historia eruptiva de la "Pómez Citlaltépetl" (volcán Pico de Orizaba)*. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.
- SAGARPA. (2009). *Ollas de agua, jagüeyes, cajas de agua o aljibes*. México: Colegio de Posgraduados.
- SAGARPA. (1 de Octubre de 2013). *Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación*. Obtenido de CADENA. Componente de atención a desastres naturales: http://pacc.sagarpa.gob.mx/sac/covert_h/indemnizacionesh.asp
- Santamaría, L. (2011). Modelación Hidrológica de la Cuenca del Río Jamapa, Veracruz. *Ingeniería hidrológica, Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa*, 63.
- Secretaría de Gobernación. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. México, D.F.: Gobierno Federal.
- Secretaría de Gobernación. (2003). *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-003-SEGOB/2002 Señales y Avisos para Protección Civil.-colores, formas y símbolos a utilizar. México, D.F.: Gobierno Federal.
- Secretaría de Gobernación. (2005). *Diario Oficial de la Federación*. Norma Oficial Mexicana NOM-034-SCT2-2003, señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas. México, D.F.: Gobierno Federal.
- Secretaría de Gobernación. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. México, D.F.: Gobierno Federal.
- Secretaría de Gobernación. (2012). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-CONAGUA-2011, la cual hace referencia a Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba*. México, D.F.: Gobierno Federal.
- Secretaría de Gobernación. (2013). *REGLAS de Operación para los Programas de Infraestructura Hidroagrícola y de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a cargo de la Comisión Nacional del Agua, aplicables a partir de 2013*. México, D.F.: Gobierno Federal.
- Secretaría de Gobierno. (2008). *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. Norma Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2008, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad. México, D.F.: Gobierno Federal.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *NOM-011-CNA-2000*. México: Diario Oficial de la Federación.
- Seegerstrom, K. (1961). Geología del suroeste del estado de Hidalgo y noreste del Estado de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 147-168.
- SEMARNAT. (2012). Capítulo 3. Suelos. En *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental*. México, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2012). *Informe de la Situación Ambiental en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y Desempeño Ambiental*. México: SEMARNAT.

- SEMARNAT. (2013). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición 2012.* México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (17 de Septiembre de 2013). *Página oficial de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.* Obtenido de Sistema Nacional de Indicadores Ambientales: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/clave_2010/clave/indicadores/ibi_apps/ind_clave_01.html
- Servicio Geológico Mexicano. (2002). *Carta Geológico-Minera de Veracruz E14-3, 1: 250 000.* Servicio Geológico Mexicano.
- SEV. (28 de Enero de 2013). *Secretaría de Educación de Veracruz.* Obtenido de Anuario Estadístico: <http://www.sev.gob.mx/servicios/anuario/2013/buscar.php?mm=23>
- Sheridan, M., Carrasco-Núñez, G., Hubbard, B., Siebe, C., & Rodríguez-Elizarrarás, S. (2002). *Mapa de peligros del Volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba), escala 1:25 000.* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1 mapa.
- Shinde, V., Tiwari, K., & Singh, M. (2010). Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, 2(3),* 130-136.
- Siebe, H., Abrams, M., & Sheridan, M. (1993). Major Holocene block-and-ash fan at the western slope of ice-capped Pico de Orizaba volcano, México: implications for future hazards. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 59,* 1-33.
- Smith, G., & Fritz, W. (1989). Volcanic influences on terrestrial sedimentation. *Geology, 17,* 375-376.
- SMN. (2012). *Normales Climatológicas.* México D.F.: SEMARNAT.
- Sparks, R., & Walker, G. (1973). The ground surge deposit: a third type of pyroclastic rock. *Nature, 241,* 62-64.
- Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud. (2008). *Manual para la Atención a la salud ante Desastres.* México, D.F.: Gobierno Federal.
- Sun, C., & Chung, C. (2008). Assessment of site effects of a shallow and wide basin using geotechnical information-based spatial characterization. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28,* 1028-1044.
- Tejeda Martínez, A., Betancourt Trevedhan, L., Montes Carmona, E., Arenas Fuentes, V., & Sarabia Bueno, C. (2011). *Inundaciones 2010 en el Estado de Veracruz. Veracruz, México: Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico-Universidad Veracruzana.* Universidad Veracruzana.
- Toledo, V., & Ordoñez, M. d. (2009). *Zonas ecológicas de México.* México, D.F.: UNAM.
- Tomás R., H. G. (2009). Subsistencia del terreno. *Enseñanza de ciencias de la Tierra, 295-302.*
- Tomás R., H., G., D., & J. y Peña, F. (2009). Subsistencia del terreno. *Enseñanza de ciencias de la Tierra, 295-302.*
- Tomás, R., Márquez, Y., López-Sánchez, J., Delgado, J., Blanco, P., Mallorqui, J. J., . . . Mulas, J. (2006). Monitorización de la subsidencia del terreno en la Vega Media del río Segura mediante interferometría SAR diferencial (DInSAR). *Geogaceta, 107-110.*
- Torres Pérez-Negrón, M. A., López López, E. E., & Castañeda Robles, L. M. (2012). *Análisis de metodologías para el cálculo de coeficientes de escurrimiento.* Acapulco, México: XXI Congreso Nacional de Hidráulica.

- Trejo, I. (1995). Características le medio físico de la selva baja caducifolia en México. En I. d. UNAM, *Investigaciones Geográficas. Num.4*. México: UNAM.
- UAM. (2011). *La gestión de cucllos del agua en el Valle de México*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- UNAM - Instituto de Geografía. (2007). *Nuevo Atlas de México*. México D. F.: UNAM.
- UNAM. (2011). *ATLAS CLIMÁTICO DIGITAL DE MÉXICO*. Obtenido de http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/Docs/f_var_terrestres.html
- UNAM. (12 de Abril de 2011). <http://atlasclimatico.unam.mx>. Obtenido de <http://atlasclimatico.unam.mx>: <http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/>
- UNE. (1996). *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado*. Publicado: Junio, 1996. Aplicado por Protección Civil del estado de Veracruz. Obtenido de http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=1945,4320900&_dad=portal&_schema=PORTAL
- UNISDR. (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastre*. Suiza: Estrategia internacional para la reducción de desastres de las Naciones Unidas.
- United Nations Environment Programme. (2003). *Ecosistema y bienestar humano: marco para la evaluación*. Reino Unido.
- Universidad Veracruzana - Gobierno del Estado de Veracruz. (2010). *Atlas del Patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Tomo 1: Patrimonio Natural*. México. Xalapa. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM30veracruz/regionalizacion.html>.
- Vaughn, D. (2005). Arid climates. En J. Oliver, *Encyclopedia of world climatology* (págs. 85-89). Springer.
- Villegas, G. p. (1995). *LA ENERGIA DEL VIENTO COMO RECURSO APROVECHABLE EN MÉXICO*. México D.F.: UNAM.
- White, E., Gert, A., & White, W. (1986). The influence of urbanization on sinkhole development in central Pennsylvania. *Environmental Geology and Water Sciences*, 8, 91-97.
- Wilhite, D. (2005). Drought. En E. Oliver, *Encyclopedia of world climatology* (págs. 338-341). Londres: Springer.
- Williams, L. G. (2007). *El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. México: INECOL- CONABIO.
- Wischmeier, W. (1976). Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*(31), 5-9.
- Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning* (Vol. Agriculture Handbook). Washington, USA: U.S. Department of Agriculture.
- WRB, I. G. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007* (Vol. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103). Roma: FAO.
- Yong, A., Hough, S., Abrams, & Wills, C. (s.f.). Preliminary results for a semi-automated quantification of site effects using geomorphometry and ASTER satellite data for Mozambique, Pakistan and Turkey. *Journal of Earth System Science*, 117(S2), 797-808.
- Yuan, D. (1988). Environmental and engineering problems of karts geology in China. *Environmental Geology and Water Sciences*, 12, 79-87.

7.2. Tablas de información sociodemográfica

Tabla 3. Evolución Demográfica

Año	1990	1995	2000	2005	2010
Población total	7,394	8,817	8,982	10,723	11,654
Hombres	3,670	4,425	4,493	5,291	5,732
Mujeres	3,724	4,392	4,489	5,492	5,922

Fuente: Censos y Conteos de población y vivienda 1990 a 2010 INEGI

Tabla 4. Tasa de Crecimiento de la Media Poblacional

Tasa de crecimiento media	
Periodo	Tasa (%)
2005-2010	8.68
2000-2005	19.38
1995-2000	1.87
1990-1995	19.25

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Tabla 5. Tabla de mortalidad

Mortalidad		
Periodo	Defunciones	Índice de mortalidad
2011	65	5.57

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Tabla 6. Niveles de marginación en el municipio.

Nombre de la Localidad	Índice de Marginación	Grado de Marginación
Tezontepec	-1.265757188	Bajo
Acozac	0.764554361	Muy alto
La Cantera	-0.559756459	Alto
El Capulín	-0.947842192	Medio
Chamberluco	-1.107500233	Bajo
Benito Juárez	-0.970464151	Medio
El Tejocote	-0.535731593	Alto
Tlexpa	-0.835365402	Medio
Las Rosas	-0.436743397	Alto
Colonia Guadalupe	-0.724342716	Alto
Ampliación San Juanita	-0.850599519	Medio
Colonia Morelos	-0.916062991	Medio

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO

Tabla 7. Población por tipo de discapacidad

Tipo de marginación	Población
Población con limitación en la actividad	651
Población con limitación para caminar o moverse, subir o bajar	334
Población con limitación para ver, aún usando lentes	228
Población con limitación para hablar, comunicarse o conversar	64
Población con limitación para escuchar	105
Población con limitación para vestirse, bañarse o comer	40
Población con limitación para poner atención o aprender cosas sencillas	25
Población con limitación mental	53

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Tabla 8. Características de la vivienda

Viviendas particulares habitadas, 2010	2,751	(%)
Viviendas particulares que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda, 2010.	2,610	94.87%
Viviendas particulares que disponen de energía eléctrica, 2010.	2,690	97.78%
Viviendas particulares que disponen de drenaje, 2010.	2,591	94.18%
Viviendas particulares que disponen de excusado o sanitario, 2010	2,647	96.21%
Viviendas particulares habitadas, con piso diferente de tierra.	2,622	95.31%

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Tabla 9. Bienes con los que cuentan los hogares.

Viviendas particulares habitadas, 2010	2,751	(%)
Viviendas particulares que disponen de computadora, 2010	386	14.03%
Viviendas particulares que disponen de lavadora, 2010	1,680	61.06%
Viviendas particulares que disponen de refrigerador, 2010	1,982	72.04%
Viviendas particulares que disponen de televisión, 2010	2,576	93.63%

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Tabla 10. Fuentes de abastecimiento

Municipio	Pozo profundo	Manantial	Otro	Total
Villa de Tezontepec	2		5	7

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Anuario Estadístico 2012. Fuentes de abastecimiento.

Tabla 11. Sistemas de agua potable

Municipio	Sistemas	Tomas domiciliarias Instaladas			Localidad con red de distribución	
		Total	Domésticas	Comerciales		Industriales
Villa de Tezontepec	7	ND	ND	0	0	4

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Anuario Estadístico 2012.

Tabla 12. Sistemas y localidades con el servicio de drenaje y alcantarillado

Municipio	Sistemas de drenaje y alcantarillado	Localidades con el servicio
Villa de Tezontepec	1	1

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Anuario Estadístico 2012.

Tabla 13. Tomas instaladas y localidades con el servicio de energía eléctrica

Municipio	Tomas instaladas de Energía Eléctrica		Localidades con el servicio
	Domiciliarias	No Domiciliarias	
Villa de Tezontepec	2,800	6	ND

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Anuario Estadístico 2010.

Tabla 14. Centros educativos por nivel y número de alumnos

Periodos	Nivel académico	Número de escuelas por nivel académico	Número total de estudiantes
2012-2013	Preescolar	14	559
	Primaria	12	1,703
	Secundaria	3	617
	Educación Media Superior	1	233
	Educación Superior	1	6
	Total	31	3,318

Fuente: Anuario Estadístico de la Secretaría de Educación Pública 2013

Tabla 15. Unidades médicas del municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo.

Institución	Unidades de Consulta Externa	Consultas Externas Otorgadas
ISSSTE	0	0
IMSS-Oportunidades	0	0
IMSS	0	0
Secretaría de Salud de Hidalgo (SSH)	29,301	29,301
Total	29,301	29,301

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Anuario Estadístico 2012.

Tabla 16. Cuadro de personal médico en operación en el municipio.

Municipio	Total	ISSSTE	IMSS-oportunidades	SSH	IMSS
Villa de Tezontepec	12	0	0	12	0

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Anuario Estadístico 2012.

Tabla 17. Población usuaria de los servicios médicos de las instituciones del sector público de salud en el municipio de Villa de Tezontepec, Hidalgo

Institución	Usuarios
Total	6,944

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Anuario Estadístico 2012.

Tabla 18. Valor de Vulnerabilidad por localidad

ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL A NIVEL DE LOCALIDADES EN EL MUNICIPIO DE VILLA DE TEZONTEPEC, HIDALGO					
LOCALIDAD	INDICADORES SOCIODEMOGRÁFICOS	CAPACIDAD DE RESPUESTA	PERCEPCIÓN LOCAL	VALOR DE VULNERABILIDAD	GRADO DE VULNERABILIDAD
TEZONTEPEC	0.133333333	0.5	0.75	0.379166667	BAJA
BENITO JUÁREZ	0.166666667	0.5	1	0.458333333	MEDIA
COLONIA MORELOS	0.183333333	0.5	0.75	0.404166667	BAJA
CHAMBERLUCO	0.166666667	0.5	0.5	0.333333333	BAJA
LAS ROSAS	0.341666667	0.5	0.5	0.420833333	MEDIA
SAN ISIDRO	0	0.5	0.25	0.1875	MUY BAJA

7.3. Glosario de Términos

Afluente: corresponde a un curso de agua que desemboca en otro río más importante.

Altimetría: parte de la Topografía que se encarga de estudiar los métodos e instrumentos necesarios para determinar la situación de puntos del terreno sobre la vertical y con respecto a una superficie de comparación.

Antropogénico: de origen humano o derivado de la actividad del hombre.

Biodiversidad: variedad de especies animales y vegetales en su medio ambiente.

Brisa Marina: este tipo de circulación consta de dos flujos contrarios uno en la superficie y uno en la altura, ambos generados por la diferencia de presión atmosférica entre la tierra y el mar generado por la energía recibida del sol.

Ciclón tropical: un ciclón tropical es un fenómeno meteorológico que se caracteriza por vientos fuertes, marejadas y tormentas acompañadas de fuertes lluvias. Es un sistema de bajas presiones que se origina sobre aguas oceánicas templadas, generalmente entre las latitudes 30° N y 30°S.

Conglomerado polimíctico: compuesto por fragmentos de rocas y minerales diversos.

Costas de emersión: se forman por elevación de la costa con respecto al nivel del mar.

Cuenca exorreica: cuenca cuya corriente principal descarga al mar.

Cuenca hidrográfica: espacio geográfico que contiene los escurrimientos de agua y que los conduce a un punto de acumulación terminal.

Deslizamiento: movimiento de una masa de roca, detritos o tierra pendiente abajo, bajo la acción de la gravedad.

Depósito: conjunto de materiales sólidos acumulados. De acuerdo a las características del tipo de deposición se les puede llamar depósitos aluviales, glaciares, coluviales, fluviales, etc.

Depósitos aluviales: son materiales transportados y depositados por el agua. Su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Las facies más gruesas presentan bordes redondeados.

Depocentro: área o lugar de una cuenca sedimentaria en la que una unidad estratigráfica concreta alcanza el máximo espesor.

Derrubios: acumulación de fragmentos de roca desplazados de su localización inicial debido a la gravedad, corrientes de agua, viento, etc.

Detritos: término colectivo para rocas y materiales minerales fragmentarios sueltos, tales como arenas, limos y arcillas, derivadas de rocas anteriores por medios mecánicos, principalmente abrasión y desintegración.

Diorita: roca ígnea intrusiva de composición química intermedia, formada por cristales de plagioclasa, hornblenda, biotita y piroxeno. Su equivalente volcánico es la andesita.

Dunas: resultan de la acumulación de material previamente erosionado por acción del viento.

Edafización: procesos de intemperismo y erosión mediante los cuales las rocas o sedimentos se convierten en suelo.

Edafología: ciencia que estudia la composición y la naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea.

Energía térmica: es la energía liberada en forma de calor por un medio físico.

El Niño-Oscilación del sur: comportamiento inusual del clima e incluso una disminución infinitesimal en la rotación de la tierra, asociado a desastres alrededor de el mundo.

Epicentro: es el punto de la superficie terrestre, directamente arriba del hipocentro, donde se origina un temblor.

Erosión: es la degradación y el transporte de material o sustrato del suelo, por medio de un agente dinámico, como son el agua, el viento y el hielo.

Escala de Richter: esta escala logarítmica asigna un número para cuantificar la magnitud de un terremoto. Mide los terremotos en términos de la energía liberada y la intensidad crece de forma exponencial de un número al siguiente. Está numerada del 1 al 9 y la potencia aumenta conforme la numeración.

Escala de Saffir Simpson: es una escala que clasifica los ciclones tropicales, en una escala de cinco niveles, basada en la velocidad del viento y la presión atmosférica.

Escarpes de falla: pendiente o acantilado desarrollado directamente por el movimiento de un bloque a lo largo de la falla, y representa la superficie expuesta de la falla antes de ser modificada por la erosión y el intemperismo.

Esquisto: roca metamórfica derivada, generalmente, de la transformación de arcillas y en menor medida, de rocas ígneas de grano fino. Puede estar formado por minerales de mica, clorita, anfíbol y grafito intercalados con cuarzo y feldespato, alargados y aplanados hasta obtener una foliación escamosa, de manera que el esquisto puede separarse en láminas.

Fallas: una falla geológica es una fractura en la corteza de la tierra que separa dos masas de roca y donde una de las masas se ha desplazado con respecto a la otra.

Falla lateral: desplazamiento lateral entre dos masas de la corteza, debido principalmente a esfuerzos tectónicos horizontales y en menor medida verticales, sin que las dos porciones desplazadas en cuestión se encimen o interpongan. Un ejemplo de este tipo de falla es la "Falla de San Andrés" en California, EUA.

Falla normal: desplazamiento vertical o de caída de una masa con respecto a otra, en un ángulo de inclinación o buzamiento dado, ocasionado por esfuerzos extensionales que debilitan la corteza y que son perpendiculares al plano de falla.

Fluvial: se utiliza para referirse a los procesos asociados a los ríos y arroyos, y a los depósitos y relieves creados por ellos.

Fracturas: rompimiento generado por intenso plegamiento a fallamiento.

Fisiografía: ciencia que estudia las modificaciones y evolución de los relieves terrestres.

Flujos de detritos: se componen de una mezcla de materiales clásticos, incluyendo grandes piedras, troncos, etc,

Fractura: rotura o abertura producida por esfuerzos.

Fragmentos volcanosedimentarios: relativo a los materiales de origen volcánico cuyo medio de transporte y sedimentación presenta gran similitud con los depósitos de origen detrítico.

Frente polar: Masa de aire frío que se caracteriza por tener ascenso de aire y provocar lluvias con temperatura bajas.

Geoforma: se refiere a cualquier componente o rasgo físico de la superficie terrestre que ha sido formado por procesos naturales y que tiene una forma o cuerpo diferente.

Gneis: roca metamórfica producida por la transformación de una roca ígnea (ortogneis) o una roca sedimentaria (paragneis), debido a cambios en la presión y la temperatura originados en la corteza. Está compuesta por minerales de cuarzo, feldespato y mica orientados en bandas, que se alternan entre minerales claros y oscuros.

Gradiente: Intensidad de aumento o disminución de una magnitud variable, y curva que lo representa.

Granodiorita: roca ígnea intrusiva de composición intermedia-ácida, similar al granito pero con cristales de menor tamaño. Se encuentra principalmente formada por minerales de cuarzo, feldespato, plagioclasa, ortosa en menos cantidad que el granito, y minerales secundarios de biotita, hornblenda y piroxeno.

Granulometría: es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Hidrología: ciencia que estudia la distribución, cuantificación y utilización de los recursos hídricos que están disponibles en el planeta.

Hipocentro: zona profunda de la corteza terrestre donde se inicia un sismo.

Holoceno: última y actual época geológica del período Cuaternario. Periodo interglaciar que abarca desde finales del Pleistoceno hasta la actualidad (aproximadamente últimos 11,000 años).

Interpolación: se denomina interpolación a la obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos. Consiste en hallar un dato dentro de un intervalo en el que conocemos los valores en los extremos.

Isobaras: líneas con igual presión barométrica.

Isolínea: curva que conecta los puntos en que la función tiene un mismo valor constante.

Isotacas: líneas que unen puntos donde el viento sopla con la misma intensidad.

Isoterma: líneas de igual temperatura en el aire.

Isoyeta: es una línea trazada sobre un plano cartográfico con la que se unen puntos donde se registra igual cantidad de precipitación.

Loma: pequeña elevación del terreno, de altura relativa de algunos metros a 300 m, con una configuración suave de sus laderas y base ancha.

Mioceno: primera época del período Neógeno. Comenzó hace 23,03 millones de años y terminó hace 5.32 millones.

Niebla: es la presencia de nubes que se encuentran en la superficie de la tierra o muy cerca de ésta.

Nubes convectivas: también llamadas cumulonimbos, nubes de tipo cumulo, las cuales son formadas por fuertes corrientes ascendentes.

Oligoceno: época final del Paleógeno y comprende entre los 33.9 a 23 millones de años.

Placa Norteamericana: placa tectónica que cubre América del Norte, los archipiélagos de Cuba y las Bahamas en el mar Caribe, la parte occidental del océano Atlántico Norte, una parte del océano Glacial Ártico y el territorio siberiano al este de la cordillera Verjovansk.

Perenne: que dura indefinidamente o se mantiene completo o con vida durante un periodo de tiempo largo.

Permeabilidad: capacidad de un cuerpo de permitir el flujo de un fluido a través de él.

Periodos de retorno: también llamado de recurrencia, intenta explicar, en términos de un determinado período habitualmente expresado en años, una idea de hasta qué punto un suceso puede considerarse raro.

Planicie: espacio o accidente geográfico con poca o ninguna variación en la altura de la superficie o terreno con respecto al nivel del mar

Pleistoceno: época geológica que comienza hace aproximadamente 2.5 millones de años y estuvo caracterizado por la presencia de diversas glaciaciones.

Procesos endógenos: se originan en el interior de la Tierra debido a las altas temperaturas y presiones que ahí se generan.

Procesos exógenos: la Tierra está sometida a una serie de procesos que tienden a allanar relieves, a destruir rocas creando cosas nuevas, etc. Los ríos, las aguas subterráneas, los glaciares, el viento y los movimientos de masas de agua son agentes geomorfológicos primarios. Puesto que se originan en el exterior de la corteza, estos procesos se llaman exógenos.

Procesos sedimentarios: básicamente, corresponden a erosión (mecánica, química y biológica) en áreas fuente continentales; transporte por corrientes de agua (ríos), hielo (glaciares), o atmósfera (viento), depósito en cuencas deprimidas (lagos, deltas, estuarios, plataformas marinas relativamente someras, fosas y cuencas abisales), y compactación y diagénesis durante la formación en estas cuencas de pilas sedimentarias estratificadas que pueden llegar a tener miles de metros de espesor.

Rocas detríticas: todas las rocas detríticas presentan textura clástica, esto es, formadas por clastos embutidos en una matriz de grano más fino, y pueden estar cementadas o no por material ortoquímico y/o diagenético (formado con posterioridad al depósito del sedimento). El cemento suele estar formado por material carbonatado, silíceo o ferruginoso como casos más generales.

Rocas ígneas intrusivas: rocas formadas por el enfriamiento y solidificación de magma al interior de la corteza. También se conocen como rocas plutónicas y se encuentran formadas por cristales grandes, en el orden de los centímetros, en comparación con las rocas volcánicas, en el orden de las micras y milímetros.

Rocas metamórficas: rocas formadas por la transformación de rocas ígneas o rocas sedimentarias, cuando han sido sometidas a altas presiones (aprox. 1.5 Kbar), a altas temperaturas (mínimo 150-200°C), o han sido afectadas por fluidos que alteran la composición inicial (metaformismo hidrotermal).

Sensación térmica: es la sensación aparente que las personas tienen en función de los parámetros que determinan el ambiente en el que se mueven (p. ej., temperatura, velocidad del aire)

Sismo: movimiento vibratorio que se origina en el interior de la Tierra y se propaga por ella en todas direcciones en forma de ondas

Sistemas de baja presión: sistema de isobaras (curvas de igual presión) cerradas concéntricas en el cual la presión mínima se localiza en el centro. La circulación es en sentido contrario a las manecillas del reloj. Este fenómeno provoca convergencia y convección por lo que se asocia a la presencia de gran nubosidad y chubascos.

Subducción: la subducción de placas es un proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite convergente. La causa de la subducción es la diferencia de densidad entre la litósfera oceánica, de mayor densidad, la que subduce y se introduce por debajo de la continental, menos densa.

Tonalita: roca ígnea intrusiva de composición silícica, formada por cristales de cuarzo, plagioclasa, hornblenda y biotita.

Topografía: ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de puntos sobre la superficie terrestre, por medio de medidas según los tres elementos del espacio. Estos pueden ser: dos distancias y una elevación o una distancia, una dirección y una elevación.

Orogénesis: sistema montañoso edificado sobre una porción inestable de la corteza terrestre que ha sufrido un importante acortamiento y presenta pliegues y mantos de corrimiento.

Orografía: parte de la geografía física que describe y clasifica las formas de la superficie terrestre y las sistematiza según los rasgos extremos, con independencia de su origen.