Soyaniquilpan de Juárez
Ayuntamiento Constitucional 2013 - 2015

Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez 2014

SEDATU
SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

sigema

Fecha: Diciembre 2014
Entrega Final (3.0)
Número de Contrato:
AS/DA/IR001/14
-
Municipio de Soyaniquilpan de Juárez
Estado de México
₪
SIGEMA SA de CV
Av. Paseo de la Reforma 342, piso 26
Col. Juárez, México DF, CP 06600.
Tel: 01.55.28.81.68.39
Web: sigema.com.mx
Email: contacto@sigema.com.mx

ESTE PROGRAMA ES DE CARÁCTER PÚBLICO, NO ES PATROCINADO NI PROMOVIDO POR PARTIDO POLÍTICO ALGUNO Y SUS RECURSOS PROVIENEN DE LOS IMPUESTOS QUE PAGAN TODOS LOS CONTRIBUYENTES. ESTA PROHIBIDO EL USO DE ESTE PROGRAMA CON FINES POLÍTICOS, ELECTORALES, DE LUCRO Y OTROS DISTINTOS A LOS ESTABLECIDOS. QUIEN HAGA USO INDEBIDO DE LOS RECURSOS DE ESTE PROGRAMA DEBERÁ SER DENUNCIADO Y SANCIONADO DE ACUERDO CON LA LEY APLICABLE Y ANTE LA AUTORIDAD COMPETENTE.

ÍNDICE

Capítulo 1 Antecedentes e Introducción 5
1.1 Introducción 5
1.2 Antecedentes 5
1.3 Objetivos 6
General 6
Particulares 6
1.4 Alcances 6
1.5 Metodología 6
1.6 Contenido del Atlas de Riesgo 7
Capítulo 2 Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica 9
Capítulo 3 Caracterización de los elementos del medio natural 11
3.1 Fisiografía 11
3.2 Geomorfología 13
3.3 Geología 15
3.4 Edafología 17
3.5 Hidrografía 19
3.6 Cuencas y Subcuencas 22
3.7 Clima 23
3.8 Uso de suelo y vegetación 27
Capítulo 4 Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos 29
4.1 Elementos demográficos 29
4.1.1 Dinámica demográfica 29
4.1.2 Distribución de población 32
4.1.3 Mortalidad 34
4.1.4 Densidad de población 34
4.1.5 Discapacidad 36
4.2 Características sociales 38
4.2.1 Educación 38
4.2.2 Vivienda y hacinamiento 40
4.2.3 Marginación y Pobreza 43
4.3 Principales actividades económicas en la zona 45
4.4 Características de la población económicamente activa 48

4.5 Área de Reserva 48
4.6 Estructura urbana 49
4.6.1 Equipamiento de transporte 49
4.5.2 Equipamiento de servicios 49
4.5.3 Equipamiento de salud 49
Capítulo 5 Identificación de riesgos, peligros y vulnerabilidad ante fenómenos perturbadores de origen natural 51
5.1 Vulcanismo 52
Peligro por vulcanismo 53
Vulnerabilidad y riesgo por vulcanismo 56
5.2 Sismos 57
Peligro por sismicidad 57
Vulnerabilidad sísmica de viviendas en la zona urbana 67
Riesgo asociado a Sismicidad 70
5.3 Tsunamis 70
5.4 Inestabilidad de laderas 71
Peligro por Inestabilidad de laderas 72
Vulnerabilidad y riesgo por deslizamiento de laderas 77
5.5 Flujos 77
Peligro por Flujos 77
Vulnerabilidad y riesgo por Flujos 81
5.6 Caídos y Derrumbes 81
Peligros por Caídos y Derrumbes 82
Vulnerabilidad y riesgo por caídos y derrumbes 85
5.7 Hundimientos y Subsidencia 85
5.8 Agrietamientos 87
5.9 Erosión 87
Peligro por Erosión 88
Vulnerabilidad y riesgo por Erosión 93
5.10 Ondas cálidas y gélidas 93
5.10.1 Ondas Cálidas 93
5.10.2 Ondas Gélidas 98
5.11 Sequías 102
Peligro por Sequías 102
Vulnerabilidad y Riesgo por Sequías. 109

5.12 Heladas 109
Peligro por Heladas 110
Vulnerabilidad y Riesgo por Heladas 112
5.13 Tormentas de Granizo 113
Peligro por granizadas 114
Vulnerabilidad y Riesgo por Granizadas 116
5.14 Tormentas de Nieve 117
5.15 Ciclones Tropicales 119
5.16 Tornados 119
5.17 Tormentas de Polvo 120
5.18 Tormentas Eléctricas 120
Peligro por Tormentas Eléctricas 121
Vulnerabilidad y Riesgo por Tormentas Eléctricas 124
5.19 Lluvias extremas 125
Peligro por Lluvias Extremas 125
Vulnerabilidad y Riesgo por Lluvias Extremas 127
5.20 Inundaciones Pluviales, Fluviales y Lacustres 127
5.20.1 Modelación hidráulica 127
Capítulo 6 Anexos 143
6.1 Medidas preventivas para mitigación de riesgos 143
6.1.1 Obra Civil de Drenaje en San Francisco Soyaniquilpan 143
6.1.2 Reparación de la cortina de la Presa Del Arco 145
6.1.3 Incrementar capacidad puente calle 16 de Septiembre 146
6.1.4 Plan Municipal de Ordenamiento Territorial 147
6.2 Propuestas de obras y acciones 147
6.3 Glosario 148
6.4 Bibliografía 150

Capítulo 1 Antecedentes e Introducción

1.1 Introducción

Los fenómenos naturales de carácter destructivo siempre han aparecido de forma recurrente, impredecible e inevitable. A lo largo de la historia, en el territorio del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, los fenómenos naturales han provocado variaciones al paisaje y en algunos casos pérdidas económicas por daño a infraestructura. Sin embargo, en los últimos años, estos fenómenos aunados con procesos de expansión urbana y crecimiento poblacional, han incrementado la magnitud de los daños causados. De ahí la importancia de tomar consciencia de que los ciclos naturales no son ajenos a los habitantes del municipio y que pueden ser perjudiciales si no existe un pleno conocimiento de su dinámica. Así mismo, cuando las personas se exponen a los fenómenos naturales extremos sin tomar precauciones dan como resultado impactos negativos tanto a la economía como a la salud humana.

Soyaniquilpan de Juárez es un municipio que está expuesto a los desastres naturales por su ubicación geográfica y consecuente dinámica geológica y climática. De esta manera, a lo largo de la historia reciente se han presentado diversos desastres naturales como inundaciones y lluvias extremas.

Por ello, en la agenda municipal de protección civil, la prevención de desastres ha tomado una gran relevancia, debido principalmente a la diversidad de fenómenos que pueden causar catástrofes en nuestro territorio. Así, se ha reconocido la importancia de establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos, y no sólo focalizar recursos para la atención de las emergencias y la reconstrucción. Esta estrategia debe lograr que la sociedad sea capaz de afrontar los peligros naturales asegurando al mismo tiempo que el desarrollo no incremente la vulnerabilidad y por ende el riesgo. Sólo así se podrá garantizar un municipio menos vulnerable y una población más preparada y segura.

Es por lo anterior que se debe de contar con un Atlas de Riesgos a fin de contar con instrumento de prevención, mitigación y respuesta más eficientes y precisas. Para ello es importante en primera instancia actualizar y completar el diagnóstico de las zonas más susceptibles a padecer daños, es decir, conocer las características de los eventos que pueden tener consecuencias desastrosas y determinar la forma en que estos eventos inciden en el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez.

Es así que el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, ha dado un gran paso hacia una política responsable en materia de prevención de desastres, con la elaboración de su Atlas de Riesgos, una iniciativa del Ayuntamiento que cuenta con el apoyo del programa “Prevención de Riesgos en Asentamientos Humanos” de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano del Gobierno Federal. Mediante este documento, el Municipio tendrá la certeza de contar con un instrumento de identificación de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos que ayude a fortalecer la orientación de políticas públicas a fin de prevenir o mitigar los daños a la población, causados por fenómenos perturbadores de origen natural.

Los estudios realizados para integrar el presente documento se elaboraron de conformidad a las metodologías establecidas por la SEDATU en las “Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2014”.

1.2 Antecedentes

El municipio de Soyaniquilpan es afectado por varios tipos de fenómenos hidrometeorológicos que pueden provocar daños materiales de importancia: principalmente está expuesto inundaciones y a lluvias extraordinarias. Acontecimientos como las inundaciones de 1984, 1985 y 2004, constituyen los ejemplos más recientes que ponen de manifiesto la gravedad de las consecuencias de esta clase de fenómenos. Este tipo de riesgo, además de la emergencia humanitaria que desencadena, acarrea problemas sociales, económicos y de salud.

En temporada de lluvias, el agua proveniente de las partes altas del municipio escurre por la calles Estación, Emiliano Zapata, Capilla, Gustavo Baz de la Colonia Centro con un flujo que invade las vialidades con un tirante de hasta 30 cm, el cual desemboca en el Centro Recreativo Ojo de Agua, donde también se encuentra la primaria Gustavo Baz; en 2008 la corriente derribo la barda de la primaria y en septiembre de 2013 el agua alcanzo un metro de profundidad en esta zona. Este es el punto de mayor riesgo para el municipio, en el que además, hay un manantial que emana 18 litros de agua por segundo y abastece de agua a la cabecera municipal; sin embargo cuando ocurren las inundaciones, las aguas negras se mezclan con el agua de manantial contaminando la fuente de abastecimiento del municipio.

Las anteriores no son las únicas zonas: en 2004 se desbordo el arroyo frente a la Preparatoria No. 80, arrastrando varios vehículos, esta fue la segunda vez que se registró un evento similar ya que anteriormente ya había ocurrido en 1989. En el Centro de Salud San Francisco Soyaniquilpan, tienen que poner costaleras para que el agua no se introduzca a la unidad médica. En la comunidad Palos Altos se ha desbordado el Arroyo Colorado una en 1985 y otra en 2004, pasando sobre la vialidad, actualmente se encuentran viviendas en torno al punto. La Presa El Arco, se ha desbordado en 2 ocasiones, en 1957 y en 1993, apenas en julio 2014, se emitió una declaratoria de alerta por parte de Conagua, ya que había alcanzado su máxima capacidad y el flujo rompió parte de la cortina; actualmente se encuentra agrietada y en caso de desborde estarían en alto riesgo las localidades de San Agustín, El Tejón, El Capulín y Zona Centro.

El conocimiento de los principales aspectos de los fenómenos hidrometeorológicos, la difusión de la cultura de Protección Civil en la población y la aplicación de las medidas de prevención de desastres pueden contribuir de manera importante en la reducción de los daños ante esta clase de fenómenos. A continuación, se analizan los principales fenómenos hidrometeorológicos que se presentan en el municipio. El H. Ayuntamiento Constitucional de Soyaniquilpan de Juárez, en cumplimiento con lo establecido en la Ley General de Protección Civil y en coparticipación con la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano del Gobierno Federal, por medio del programa “Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos”, elaboró el Atlas de Riesgos del Municipio de Soyaniquilpan para diagnosticar, ponderar y detectar los riesgos, peligros y/o vulnerabilidad a los que está expuestos los habitantes del municipio, para que los resultados obtenidos sean la base para tomar las medidas necesarias en políticas públicas en cuestión de prevención y mitigación de los riesgos.

1.3 Objetivos

General

Diagnosticar, ponderar y detectar los riesgos, peligros y/o vulnerabilidad en el espacio geográfico del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez.

Particulares

- Contar con un documento cartográfico y escrito que representa y zonifica cada uno de los fenómenos naturales perturbadores de manera clara y precisa.
- Desarrollar y fundamentar una base de datos homologada para cada uno de los fenómenos naturales perturbadores presentes.
- Sentar las bases para definir un esquema de prevención, planeación y gestión del riesgo.

1.4 Alcances

Se entregarán Mapas de Zonas de Riesgo (ZR) por cada uno de los fenómenos de riesgo establecidos por la SEDATU, con su respectivo texto descriptivo de las ZR para cada uno de los fenómenos, desarrollado a partir del análisis de todos los factores identificados.

El atlas permitirá:

1. Contar con un documento cartográfico y escrito que represente y zonifique cada uno de los fenómenos naturales perturbadores de manera clara y precisa.

2. Desarrollar y fundamentar una base de datos homologada para cada uno de los fenómenos naturales perturbadores presentes.

3. Sentar las bases para definir un esquema de prevención, planeación y gestión del riesgo.

1.5 Metodología

Las bases teóricas y sistémicas para la elaboración del Atlas de Riesgos del Municipio de Soyaniquilpan se derivan de lo establecido en las “Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2014”, la cual a su vez se conformó de acuerdo con los criterios de clasificación y los términos de referencia establecidos por el CENAPRED en materia de riesgos.

En general, se procedió a realizar una recopilación e investigación documental de datos primarios, en las principales instituciones nacionales de información del territorio, tales como INEGI, CONAGUA, SEGOB, SMN, SGM, INE, CONABIO, u organismos equivalentes estatales y municipales, particularmente de las áreas de Protección Civil. Posteriormente los datos se procesaron en función de la guía metodológica de la SEDATU, con base a los niveles aplicables de cada caso, zonificando las áreas de incidencia de los fenómenos, las áreas de vulnerabilidad, así como el grado de riesgo predominante.

Se llevaron a cabo estudios técnicos y documentales del territorio municipal para determinar las zonas de riesgo por fenómenos naturales y antropogénicos.

Con base a la identificación de peligros y/o vulnerabilidad, se realizó la zonificación de los mismos por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para generar cartografía digital y mapas impresos, en la que se determinarán las Zonas de Riesgo (ZR) ante los diferentes tipos de fenómenos.

Una vez obtenida dicha cartografía se realizó un análisis completo de riesgos, señalando qué zonas son las más propensas a sufrir procesos destructivos, cuantificando población, áreas, infraestructura, equipamiento con probable afectación y señalando puntualmente qué obras o acciones se proponen para mitigar el riesgo.

El análisis delimitará con precisión las ZR, hará referencia a los mapas de riesgos, peligros y/o vulnerabilidad e interpretará sus resultados, procurando hacer vinculaciones entre fenómenos perturbadores cuando estos se sobrepongan.

Los mapas finales representan el grado o nivel de riesgos, peligros y/o vulnerabilidad ante cada uno de los fenómenos naturales. Los mapas se presentan en un anexo aparte, en el orden asignado por las Guías de la SEDATU; en caso de no existir algún fenómeno en la zona, éste no se desarrolló, asentando en el documento las razones por las cuales dicho mapa no se realizó.

Las propuestas de acciones y obras están enfocadas a la reducción y mitigación de riesgos; están basadas en la detección y localización de zonas de riesgo o peligro y están ubicadas en la cartografía entregada.

1.6 Contenido del Atlas de Riesgo

El presente Atlas de Riesgos se conforma de seis capítulos, el primero que incluye la introducción, antecedentes, objetivos, alcances, metodología general y contenido. Es en general una breve descripción de la situación actual en la cual se encuentra el municipio en materia de prevención de desastres.

El capítulo dos hace referencia a la determinación de la zona de estudio y niveles de análisis, en este apartado se define en forma precisa la localización del municipio, sus límites políticos y una descripción de los elementos de infraestructura urbana del municipio. También en esta sección se define el mapa topográfico base.

En el tercer capítulo se define la caracterización de los elementos de medio natural, atendiendo los siguientes temas: fisiografía, geología, geomorfología, edafología, hidrología, climatología, uso de suelo y las áreas naturales protegidas de la zona de estudio.

El cuarto capítulo integra la caracterización general de la situación demográfica, social y económica de la zona de estudio, con indicadores básicos que revelan las condiciones generales en las que se encuentra el municipio.

En el quinto capítulo se desarrolla la identificación de riesgos, peligro y/o vulnerabilidad. Contiene cada uno de los fenómenos perturbadores de origen natural, identificando su periodicidad, área de ocurrencia y grado de impacto sobre los sistemas afectables. Esta sección contiene la cartografía de los fenómenos perturbadores, la cual señala las zonas propensas a sufrir procesos destructivos, cuantificando población, áreas infraestructura, equipamiento con probable afectación y señalando puntualmente obras o acciones que se proponen para mitigar el riesgo. Los estudios llevados a cabo son de los siguientes temas:

- Fenómenos Geológicos
  - Erupciones volcánicas
  - Sismos
  - Tsunamis
  - Inestabilidad de laderas
  - Flujos
  - Caídos o derrumbes
  - Hundimientos
  - Subsidencia
  - Agrietamientos
- Fenómenos Hidrometeorológicos
  - Ondas cálidas y gélidas
  - Sequías
  - Heladas
  - Tormentas de granizo
  - Tormentas de nieve
  - Ciclones tropicales

- Tornados
- Tormentas polvo
- Tormentas eléctricas
- Lluvias extremas
- Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres.

Por último el capítulo seis referente a los anexos contiene el glosario de términos, bibliografía, cartografía empleada con índice y breve descripción, así como el diccionario de los metadatos.

Capítulo 2 Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica

La zona que abarca el presente estudio comprende los límites territoriales del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, el cual cuenta con 146.48 km^2 de superficie total que representa el 0.64% estatal. Se localiza geográficamente al norte del Estado de México entre las coordenadas 20º07'10" y 19º59'20" de latitud norte y los meridianos 99º35'08" y 99º26'10" de longitud oeste. Su altitud oscila entre los 2 200 y 2 700 m.

Los límites políticos del municipio son:

I. Al norte y sur colinda con el municipio mexiquense de Jilotepec;
II. Al oriente con los municipios de Tula de Allende y Tepeji del Río del estado de Hidalgo;
III. Al Poniente, con el municipio de Jilotepec.

Para fines de diagnóstico general de riesgos, se utilizará una escala 1:60,000; para una evaluación urbana, la escala será de 1:20,000; mientras que los estudios que requieran una escala local, se analizarán a escala 1:10,000.

Fenómeno	Nivel de Análisis	Escala empleada
Fenómenos Geológicos		
Erupciones volcánicas	1	1:100,000
Sismos	1	1:100,000
Tsunamis	NA	NA
Inestabilidad de laderas	1	1:10,000
Flujos	1	1:10,000
Caídos o derrumbes	1	1:10,000
Hundimientos	1	1:10,000
Subsidencia	1	1:10,000
Agrietamientos	1	1:10,000
Fenómenos Hidrometeorológicos		
Ondas cálidas y gélidas	1	1:10,000
Sequías	1	1:100,000
Heladas	1	1:100,000
Tormentas de granizo	1	1:100,000
Tormentas de nieve	1	1:100,000
Ciclones tropicales	1	1:100,000
Tornados	1	1:100,000
Tormentas polvo	1	1:100,000
Tormentas eléctricas	1	1:100,000
Lluvias extremas	1	1:100,000
Inundaciones pluviales, fluviales y lacustres	1	1:1,000

Tabla 2.1 Fenómenos estudiados, nivel de análisis y escalas empleadas.

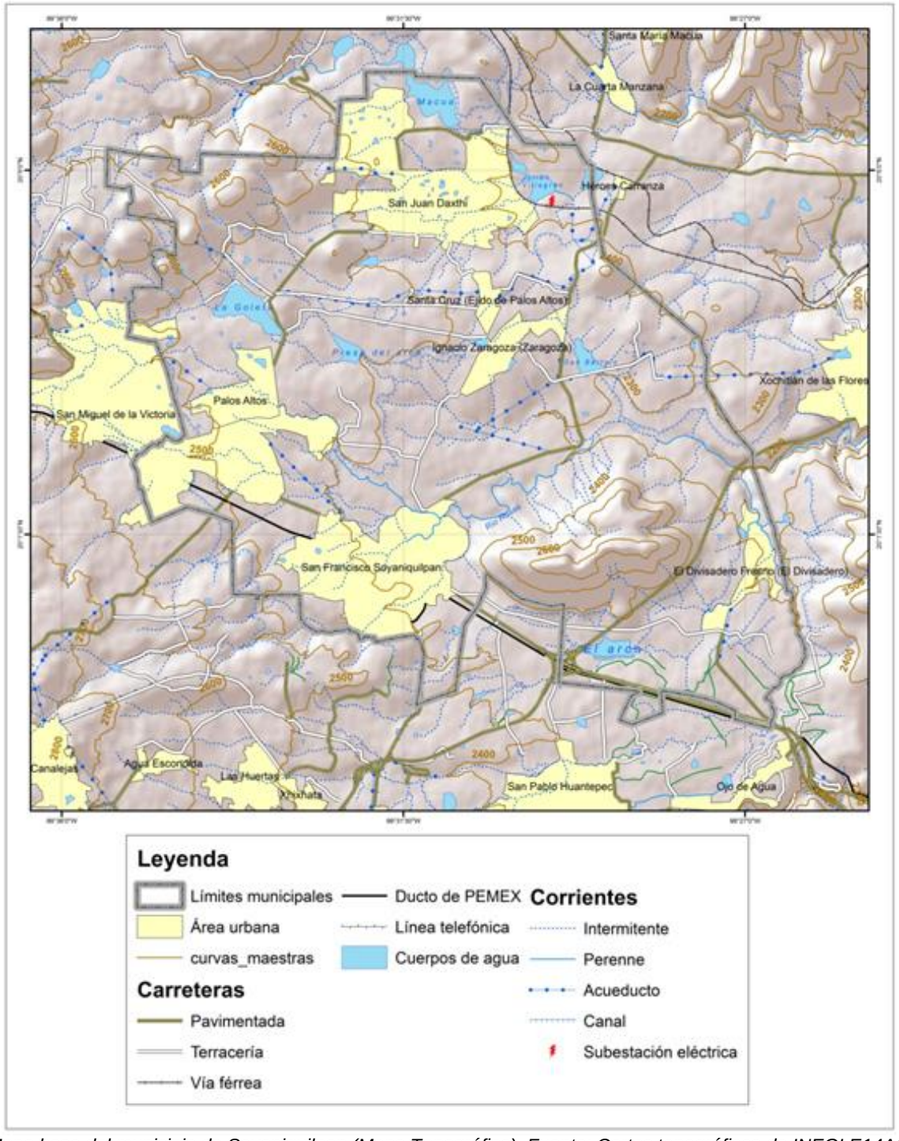


Figura 2.1. Mapa base del municipio de Soyaniquilpan (Mapa Topográfico). Fuente: Cartas topográficas de INEGI E14A18 y F14C88.

Capítulo 3 Caracterización de los elementos del medio natural

El Atlas de Riesgos tiene la finalidad de diagnosticar, ponderar y detectar los riesgos, peligros y vulnerabilidad de un determinado espacio geográfico. Uno de los pasos necesarios para lograr el objetivo anterior consiste en analizar las condiciones geográficas del área de estudio, esto para conocer las complejas interrelaciones que se presentan entre cada elemento geográfico. Para ello se estudian diversos temas conocidos como elementos del medio natural, los cuales condensan la información indispensable para comprender el entorno geográfico.

El estudio integrado de los elementos geográficos permite un acercamiento inicial para conocer y entender la dinámica natural de un área, y con ello determinar los principales fenómenos que ocurren en dicha zona, así como su periodicidad, magnitud recurrente y localización. Los elementos del medio natural necesario para este tipo de estudios son fisiografía, geología, geomorfología, edafología, hidrología, climatología, uso del suelo y la presencia de Áreas Naturales Protegidas (ANP).

En primera instancia, se presenta la fisiografía local, que muestra los distintos tipos de relieve; el conocimiento de su tipología y ubicación da un panorama de las topoformas que asociadas a otras características del área, permite el análisis primario de fenómenos naturales potencialmente peligrosos.

En lo que se refiere a la geomorfología, esta información permite conocer los procesos formadores del relieve; con ello se determinan la dinámica endógena y exógena del territorio en estudio, lo que a su vez, contribuye a predecir eventuales cambios en el relieve, como por ejemplo, deslizamientos por inestabilidad de laderas.

Por otro lado, la geología proporciona la información básica de los tipos de roca, mostrando su distribución espacial, sus edades, su origen, y su relación con otras estructuras como fallas y fracturas. Estos datos están directamente relacionados con la intensidad de los sismos, los deslizamientos de ladera, fallas y hundimientos, entre otros peligros.

La edafología trata sobre los distintos tipos de suelo; esta información permite identificar las características esenciales de los materiales edáficos como consolidación, granulometría, susceptibilidad a la erosión y su comportamiento ante los influjos de otros factores como clima y actividades humanas.

La hidrología describe la distribución espacial en un territorio dado de los cuerpos de agua y cauces que llevan agua, ya sean permanentes o estacionales, así como el tipo de aguas que los ocupan, como podrían ser pluviales o subterráneas. Estos datos, combinados con otros elementos del medio natural, permiten hacer determinaciones puntuales de peligros, por ejemplo, identificar áreas de inundación.

La información climática permite conocer los patrones meteorológicos y atmosféricos que se presentan en una determinada área y con ello conocer el tipo de fenómenos hidrometeorológicos más comunes, además de sus características generales como zona de impacto, magnitud probable y recurrencia temporal.

El uso de suelo y vegetación, permite identificar la distribución espacial de las actividades humanas, los centros de población, las áreas agropecuarias, así como las zonas que están dedicadas a la conservación de los ecosistemas naturales. Esta información es fundamental para conocer el grado de exposición de la sociedad a los peligros naturales. Así mismo, en el caso de las áreas naturales protegidas, se conoce la ubicación de los ecosistemas vulnerables a determinados peligros, como incendios o erosión, por mencionar algunos.

Toda la información relacionada con lo anterior, se expresa en mapas temáticos, ya que los datos tienen una variabilidad espacial, que sólo se puede visualizar con claridad en un documento cartográfico. Estos mapas temáticos representan el primer elemento para integrar una panorámica general de los riesgos actuales y probables a los que está expuesto el municipio de Soyaniquilpan. A continuación se presenta la información relevante a cada elemento del medio natural en el área de estudio.

3.1 Fisiografía

El municipio de Soyaniquilpan se encuentra ubicado dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, una de las más importantes del país debido a la cantidad de población que se asienta en ella. El Eje Neovolcánico o Cinturón Volcánico Transmexicano está compuesto por un conjunto de planicies escalonadas que se forman desde los estados de Colima y Nayarit hasta Veracruz. Estas se disponen desde los 500 hasta los 2600 metros de altitud y son producto de acumulaciones volcánicas y movimientos tectónicos, ambos procesos de intensidad considerable a lo largo del Cuaternario. Sobre las planicies que conforman el relieve se encuentran elevaciones volcánicas, serranías de pequeños conos, campos volcánicos y varios volcanes compuestos. Otro rasgo esencial lo dan las amplias cuencas cerradas ocupadas por lagos que tienen su origen en el bloqueo del drenaje original. Esta provincia fisiográfica funge como límite geológico, climático, geobiológico y biogeográfico, además alberga las montañas más altas del país, con más de 5 mil metros de altitud.

Debido a su diversidad en cuanto a formas del relieve, morfogénesis y tipos de roca, esta gran provincia se divide a su vez en varias subprovincias con características particulares. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el municipio se localiza dentro de la subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, la cual se caracteriza por poseer terrenos accidentados donde dominan los sistemas de topoformas de lomeríos de basalto y sierras volcánicas.

Estas características se encuentran muy bien representadas dentro del territorio municipal ya que se localizan relieves planos y semiplanos (lomeríos) así como terrenos accidentados representados por zonas de ladera con pendientes medias.

Provincia	Subprovincia	Sistema de topoformas	Área Km²	% de superficie municipal
Eje Neovolcánico	Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo	Lomerío de basalto	128.11	87.47
		Sierra volcánica de laderas tendidas	18.36	12.53

Tabla 3.1 Provincias fisiográficas y principales topoformas ubicadas dentro del municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos, INEGI 2009.

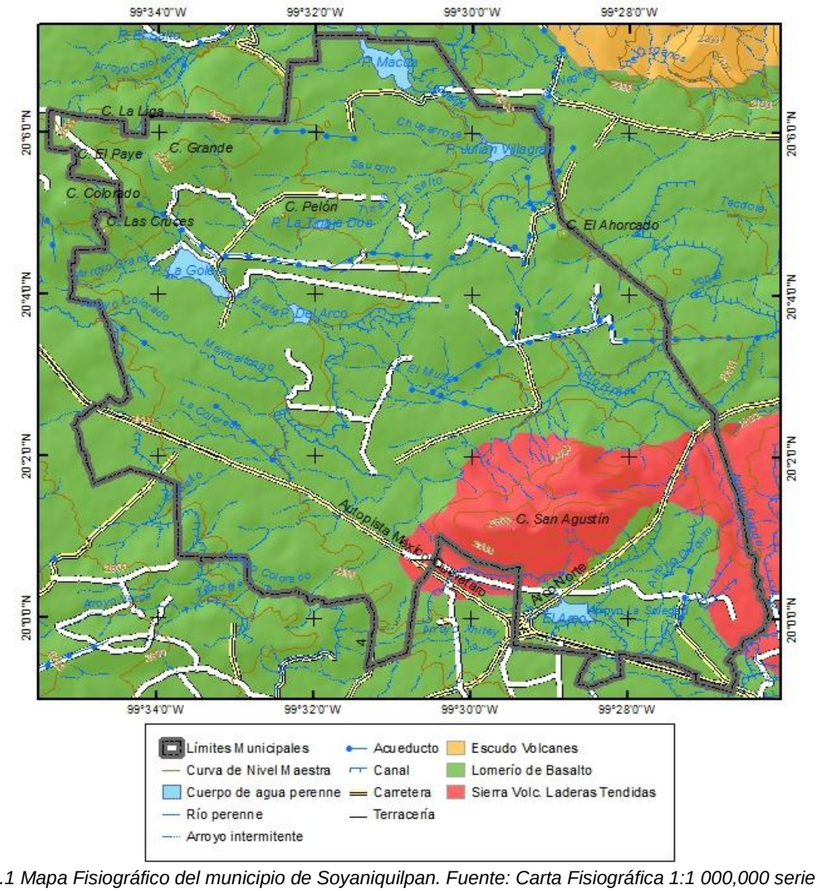


Figura 3.1 Mapa Fisiográfico del municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Carta Fisiográfica 1:1 000,000 serie I. INEGI

3.2 Geomorfología

El relieve terrestre es el resultado de la interacción de procesos formadores (endógenos) y modeladores (exógenos). Cada una de las formas interactúa con los elementos del medio geográfico de distinta forma, propiciando que se presenten distintas dinámicas (sedimentación, procesos gravitacionales hundimientos, etc.), las cuales es necesario conocer y entender para la correcta interacción del hombre con el medio.

Como se comentó con anterioridad el municipio forma parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico cuyo relieve actual se debe a una conjugación de tectónica de bloques y actividad volcánica. Las formas del relieve localizadas en el municipio se encuentran ligadas estrechamente a las características geológicas y procesos morfológicos que se presentan en la región. Estos últimos, han modelado al relieve en cuatro unidades geomorfológicas con características y dinámicas perfectamente definidas:

- Premontaña.- Esta unidad geomorfológica abarca aquellas elevaciones medias que corresponden a las estribaciones o márgenes del relieve orográfico, se catalogan con alturas locales comprendidas entre 200 y 500 metros.
- Elevaciones bajas y/o lomeríos.- Este tipo de forma del relieve se origina por la nivelación de montañas o por la disección de una planicie inclinada (de piedemonte). De esta manera puede ser resultado directo de procesos endógenos que condicionan una acción erosiva. En el paisaje se presentan como elevaciones de poca altitud, pendientes suaves y crestas generalmente alargadas.
- Rampa acumulativa-erosiva con procesos de sedimentación.- El tipo de relieve de esta unidad es de tipo acumulativo formado por superficies de deposición sedimentaria y/o planicies acumulativas. Combina el proceso de acumulación con el de disección. Hay rasgos de erosión y formas acumulativas superficiales en los lechos y cursos de las corrientes.
- Valle aluvial con procesos de acumulación.- Consiste en un lecho con depósitos fluviales que corre sobre o casi al ras de la planicie acumulativa.

Unidad geomorfológica	Área Km²	% de superficie municipal
Premontaña	16.25	11.1
Elevaciones bajas y/o lomeríos	104.68	71.5
Rampa acumulativa-erosiva con procesos de sedimentación	20.21	13.8
Valle aluvial con procesos de acumulación	5.33	3.6

Tabla 3.2 Principales unidades geomorfológicas localizadas en el municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Estudio para la Caracterización y Diagnóstico del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio de la Cuenca de México, SEMARNAT 2010.

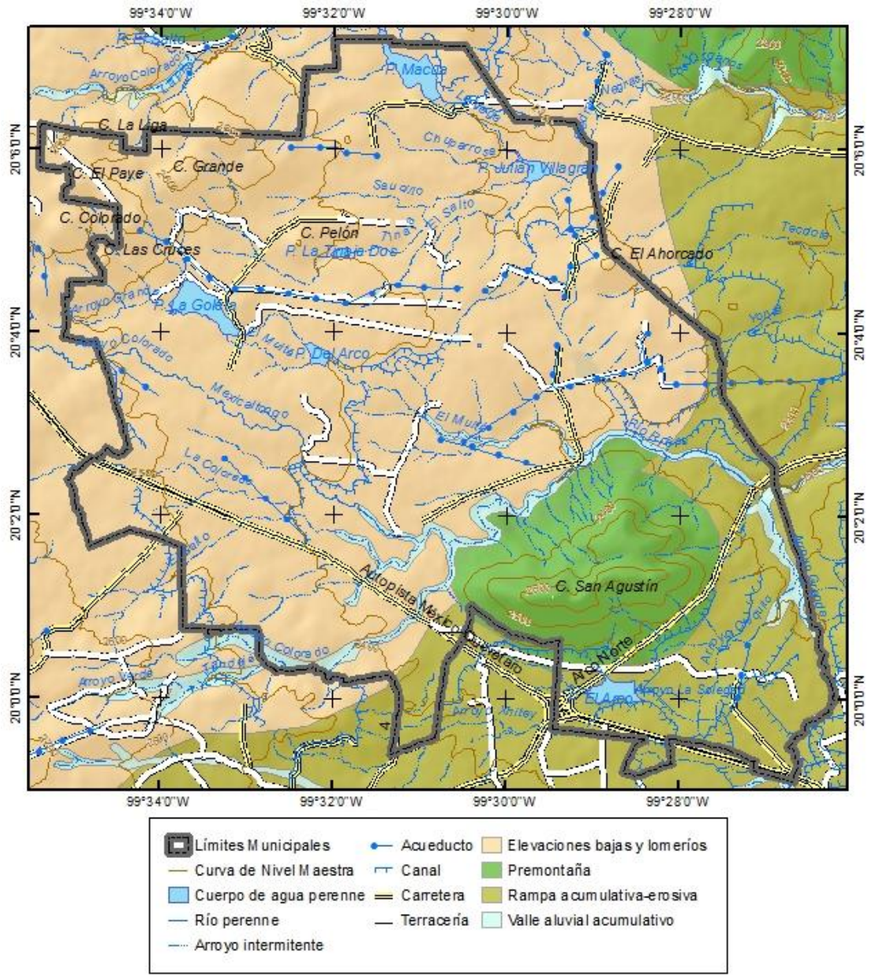
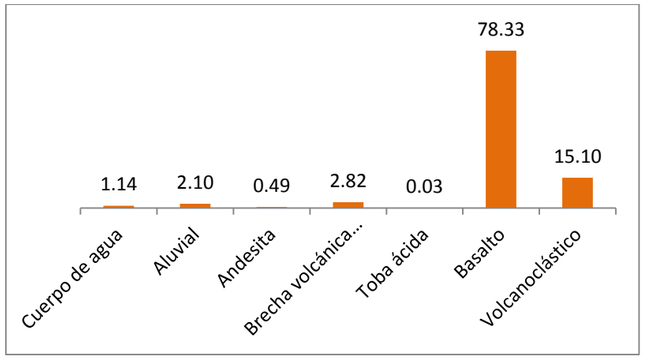


Figura 3.2 Mapa Geomorfológico del municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Estudio para la Caracterización y Diagnóstico del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio de la Cuenca de México, SEMARNAT 2010.

3.3 Geología

Como se comentó con anterioridad, la geología tiene una relación muy estrecha con la ocurrencia de algunos fenómenos naturales capaces generar peligros y riesgos a la población. Por ejemplo, existen tipos de roca más susceptibles a presentar movimientos gravitacionales; otros como las rocas calizas pueden desarrollar procesos de disolución lo que puede generar cavidades y otras pueden soportar con mayor firmeza la propagación de ondas sísmicas.

La geología del municipio de Soyaniquilpan se encuentra estrechamente ligada a los procesos de formación y modelación del relieve de la región. Al formar parte del Eje Neovolcánico la totalidad de la litología del municipio es de origen ígneo, encontrándose también depósitos aluviales en los márgenes de cuerpos de agua.



Grafica 3.1 Porcentaje de la superficie de la clase de roca y suelo del municipio de Soyaniquilpan.

Como consecuencia de la intensa actividad volcánica presente en la zona se pueden encontrar a lo largo del municipio 3 fracturas originadas principalmente por esfuerzos de tensión, contracción y por el rompimiento de la corteza terrestre. Una de ellas se localiza en dirección NW-SE sobre el cerro de San Agustín, el más alto del municipio. Una más se encuentran al norte de la comunidad de San José Deguedo sobre la ladera oriental del cerro Grande con una componente de NW-SE. La última se ubica al norte de la comunidad de San Juan Daxthi con dirección NE-SW sobre las elevaciones contiguas a la presa Macua,

Roca / Suelo	Características	Área (Km2)	% de superficie
Andesita Ts(A)	Es una roca ígnea efusiva de composición intermedia, color obscuro, compuesta de cristales de plagioclasa intermedia, minerales máficos y frecuentemente posee vidrio volcánico.	0.71	0.49
Basalto Ts(B)	Es una roca ígnea efusiva de composición básica y color obscuro, con frecuencia consiste principalmente en plagioclasas básicas, augita y olivino.	114.74	78.33
Brecha Volcánica Básica Q(Bvb)	Cuando las gravas llegan a consolidarse, o a soldarse irregularmente por sus aristas forman una brecha volcánica y esto sucede generalmente entre dos corrientes de lava. Las rocas de este grupo varían ampliamente en sus resistencias, permeabilidad y comportamiento en sus afloraciones.	4.13	2.82
Suelo aluvial Q(al)	Cuando las partículas de material han sido transportadas por el agua, el suelo se forma a partir del aluvión y el suelo sedimentario que se produce es un suelo aluvial. Los suelos pueden ser transportados por aguas en movimiento como la de lluvia, la de los ríos o de las marismas. La sedimentación puede ocurrir en aguas acumuladas como en los lagos, los pantanos o el mar. Se encuentran en las zonas denominadas llanuras de sedimentación, donde la topografía es, por lo regular, ligeramente ondulada o casi llana. A menudo, la composición de estos suelos contiene suficiente arcilla para la retención del agua y la construcción de diques.	3.07	2.10
Toba Acida Q(Tb)	Las tobas, son un grupo de rocas formado de materiales arrojados por erupciones volcánicas tales como lapilli, ceniza y arena posteriormente compactados y cementados. La toba Básica está constituida por fragmentos piroclásticos de composición básica. La unidad presenta un color gris oscuro, mientras que al intemperismo adopta un color crema con tonos rojizos.	0.04	0.03
Volcanoclástico Ts(Vc)	Son fragmentos rocosos tales como cenizas, arenas, etc., arrojados durante las erupciones volcánicas explosivas. El su conjunto originan tobas, brechas y otras rocas. Por su trabajo y forma pueden ser bombas, bloques, lapilli, arenas, cenizas.	22.12	15.10

Tabla 3.3 Tipos de roca y suelo localizados en el municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, Carta Geológica F14-11 y E14-02 esc. 1:250000.

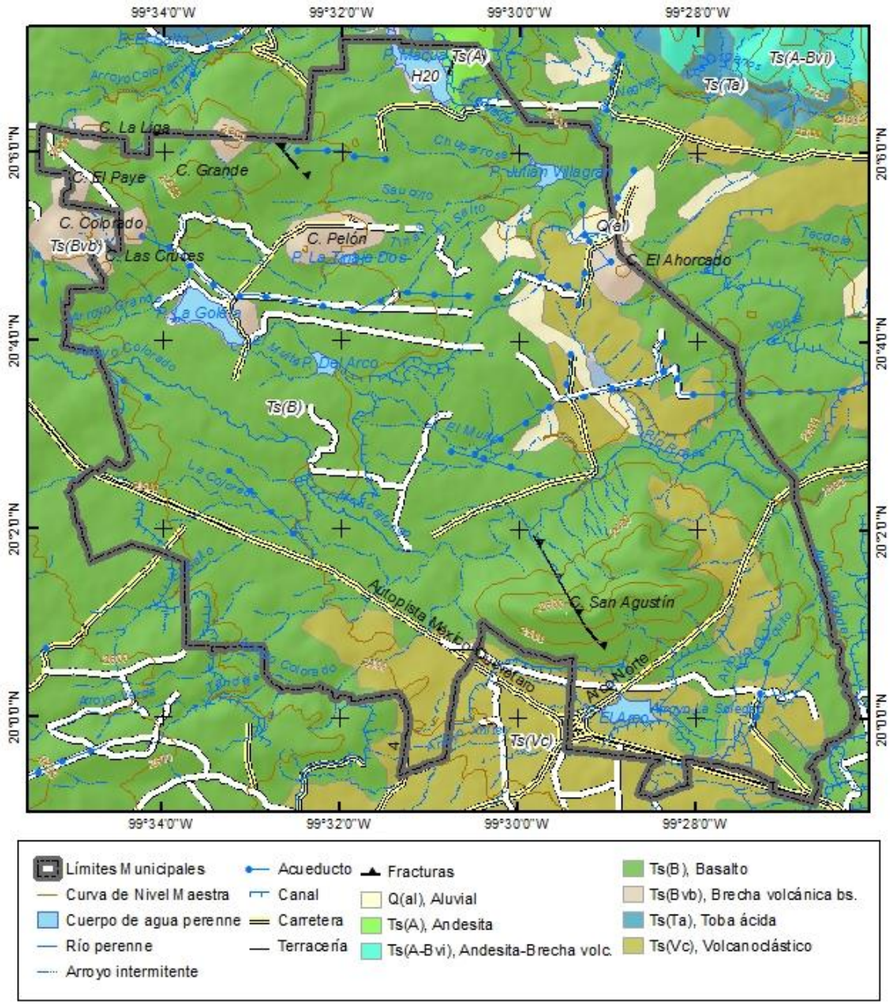


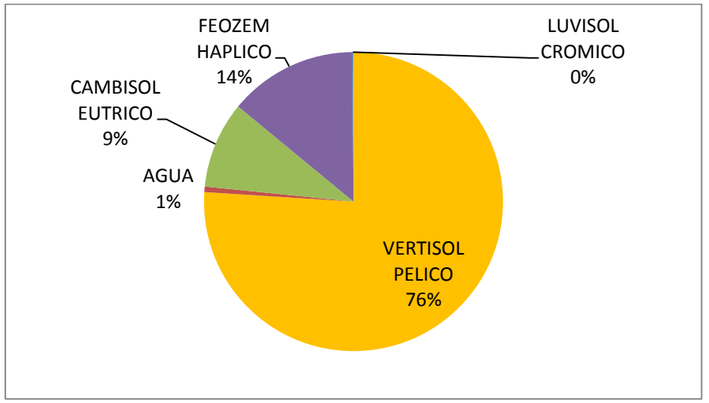
Figura 3.3 Mapa Geológico del municipio de Soyaniquilpan. Fuente: INEGI, Carta Geológica F14-11 y E14-02 esc. 1:250000.

3.4 Edafología

El suelo es uno de los principales soportes de la vida al igual que el agua y el aire, ocupa la mayor parte de superficie terrestre y sobré él se llevan a cabo las actividades humanas. Es formado por la interacción de varios factores como la geología, el tiempo, el clima, la geomorfología y la vegetación. Las características propias de cada uno de los suelos dependen del grado de influencia que ejercen estos factores sobre el medio en el que se desarrollan.

Así pues, el suelo es un material que se desarrolla en respuesta a interacciones ambientales complejas, evoluciona de manera gradual y responde de distinta manera ante las condiciones del medio geográfico. Es por esa razón que algunos son más susceptibles a la erosión, o que otros acumulen mayores cantidades de agua o retrasen el proceso de infiltración. Existe una estrecha relación entre el deterioro del suelo y los peligros naturales. La erosión del suelo, la deforestación y la desertificación aumentan el riesgo de los eventos extremos; a la vez los peligros naturales aceleran la degradación ambiental.

Las condiciones geomorfológicas e hidrológicas que presenta el municipio de Soyaniquilpan como lomeríos, zonas de premontaña, laderas, cuerpos de agua lénticos así como escurrimientos intermitentes y perennes han determinado de manera preponderante el tipo de suelo encontrado dentro del municipio. La mayor parte de los suelos presentes contienen importantes volúmenes de arcilla provenientes muchas de ellas de la actividad volcánica registrada en la región. Otros surgen del depósito de sedimentos que arrastran las numerosas corrientes que se localizan dentro del territorio.



Grafica 3.2 Porcentaje de la superficie de los suelos del municipio de Soyaniquilpan.

Es importante mencionar que la mayor parte de localidades se asientan sobre suelo de tipo vertisol el cual se caracteriza por su alto contenido de arcilla, la cual se expande en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas. Por ser colapsables en seco pueden formar grietas en la superficie o a determinada profundidad, lo que podría generar desniveles o agrietamientos en muros y acabados.

Localidad		Unidad de suelo
San Isidro (Colonia San Isidro)	La Goleta	Vertisol pélico
El Divisadero de Zapata	Ignacio Zaragoza (Zaragoza)	
Gavillero de Santa Ana	Vistahermosa (Vista Hermosa)	
El Divisadero Fresno (El Divisadero)	Quinta Manzana de San José Deguedó	
San Agustín Buenavista	San José Deguedó	
Palos Altos	Santa Cruz (Ejido de Palos Altos)	
San Juan Daxthi		

Localidad		Unidad de suelo
Tercera Manzana de San Juan del Cuervo	San Juan del Cuervo (El Cuervo)	Feozem háplico

Tabla 3.4 Suelos de las principales comunidades del municipio de Soyaniquilpan. Fuente: INIFAP - CONABIO 1995.

Suelo	Características	Área (Km2)	% de superficie
Cambisol Eutrico	Estos suelos son jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en los de zonas áridas. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. También pertenecen a esta unidad algunos suelos muy delgados que están colocados directamente encima de un tepetate. Son muy abundantes, se destinan a muchos usos y sus rendimientos son variables pues dependen del clima donde se encuentre el suelo. Son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión. Son ligeramente ácidos a alcalinos y más fértiles que los suelos dístricos.	13.71	9.36
Feozem Háplico	Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. Los Feozems son de profundidad muy variable. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Los menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables. El uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y sobretodo de la disponibilidad de agua para riego. No presentan características de otras subunidades existentes en ciertos tipos de suelo.	20.39	13.92
Vertisol pélico	Suelos de climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. Se caracterizan por su estructura masiva y su alto contenido de arcilla, la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas. Su color más común es el negro o gris oscuro en la zona centro a oriente de México y de color café rojizo hacia el norte del país. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza. En estos suelos se produce la mayor parte de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización. Los vertisoles que se localizan dentro del territorio municipal son de color negro o gris oscuro.	111.34	76.01
Luvisol crómico	Suelo con acumulación de arcilla, se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a ser obscuro. Se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos moderados. Con pastizales cultivados o inducidos pueden dar buenas utilidades en la ganadería. Son suelos con alta susceptibilidad a la erosión.	0.16	0.11

Tabla 3.5 Suelos ubicados dentro del municipio de Soyaniquilpan. Fuente: INIFAP - CONABIO 1995 y Guía para la interpretación de cartografía. Edafología INEGI 2004.

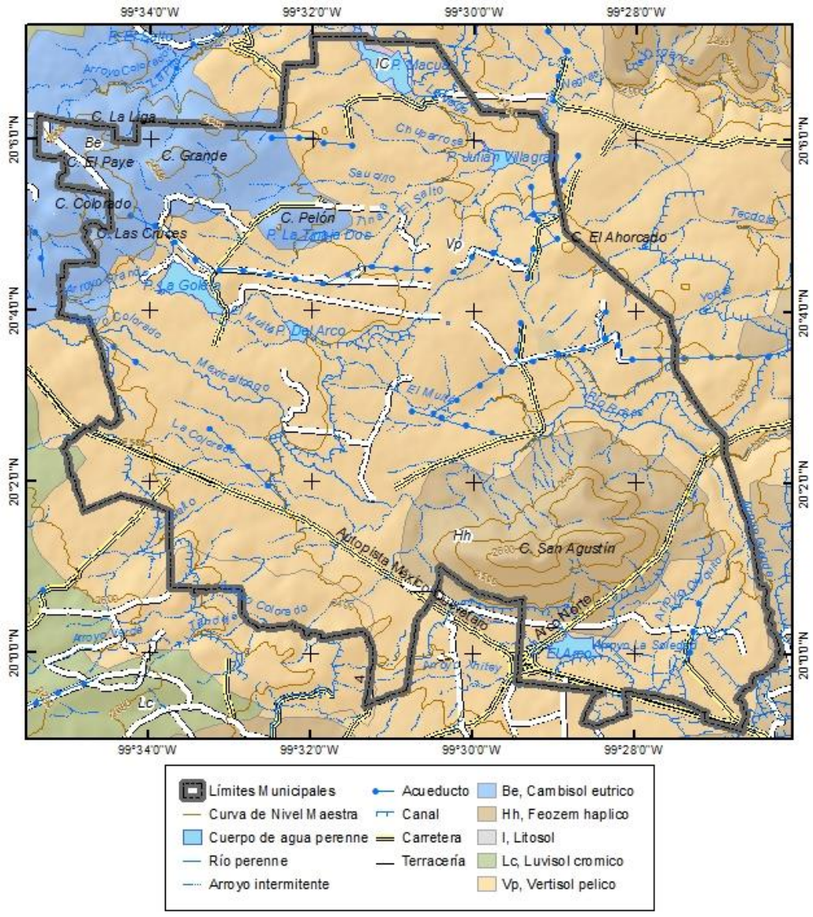


Figura 3.4 Mapa Edafológico del municipio de Soyaniquilpan. Fuente: INIFAP - CONABIO 1995

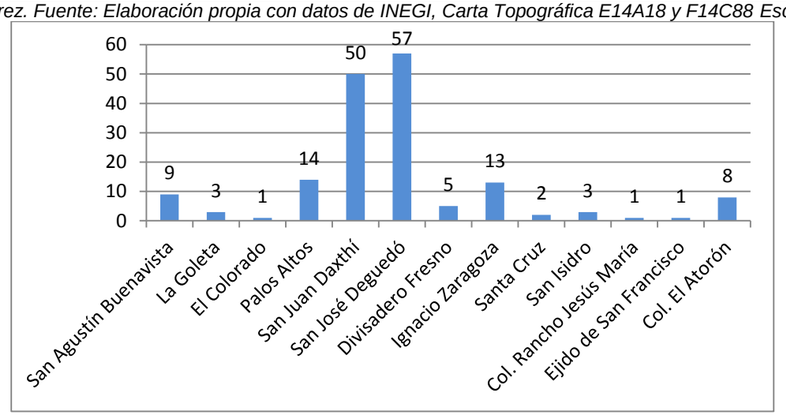
3.5 Hidrografía

La hidrografía del municipio está compuesta principalmente por escurrimientos de tipo intermitente, canales, y presas que sustentan la agricultura de riego que se presenta en gran parte del territorio. De igual forma se encuentran algunas corrientes de tipo perenne entre las cuales destacan: Piedras Negras, Tecolote, Rosas, Mexicaltongo, Grande, Chiquito y Colorado.

Además dentro del territorio se localizan varios manantiales, presas y bordos de abrevadero cuyas aguas son utilizadas para el servicio doméstico en las comunidades y en el riego de tierras agrícolas. Asimismo el municipio aprovecha el agua de los acuíferos a través de pozos profundos que integran el sistema de distribución de agua potable.

Nombre	Ubicación
El Arco II	Ejido de Palos Altos
La Goleta	San José Deguedó
San Bartolo	La Goleta
Julián Villagrán	San Juan Daxthí
La Tinaja	San Juan Daxthí/ San José Deguedó
Pozo Hondo	San Juan Daxthí
El Bathé	Ignacio Zaragoza
La Pera	San Juan Daxthí
El Arco I	San Juan el Cuervo

Tabla 3.6 Principales cuerpos de agua del municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, Carta Topográfica E14A18 y F14C88 Esc. 1:50000; Plan de Desarrollo Municipal 2013-2015, Soyaniquilpan de Juárez.



Grafica 3.3 Número de bordos de abrevadero por comunidad. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, Carta Topográfica E14A18 y F14C88 Esc. 1:50000; Plan de Desarrollo Municipal 2013-2015, Soyaniquilpan de Juárez.

Ubicación del pozo	Comunidad beneficiada
Divisadero Fresno	Divisadero Fresno, Gavillero de Santa Ana, San Juan del Cuervo, San Isidro y Divisadero Zapata.
Rancho Jesús María (Cabecera Municipal)	San Francisco (Cabecera Municipal).
San José Deguedó	San José Deguedó, Palos Altos (con posibilidad de extender servicio a San Juan Daxthí, Ignacio Zaragoza y Santa Cruz).

Tabla 3.7 Ubicación de pozos profundos y comunidades beneficiadas. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, Carta Topográfica E14A18 y F14C88 Esc. 1:50000; Plan de Desarrollo Municipal 2013-2015, Soyaniquilpan de Juárez.

La naturaleza porosa del sustrato geológico provoca que se acumulen cantidades considerables de agua en el subsuelo, lo que provoca la presencia de varios manantiales, sobre todo cerca de la cabecera municipal.

Manantiales	Ubicación
Ojo de Agua	San Francisco (Cabecera Municipal).
Tepozán	
El Quinte	
El Capulín	
San Mateo	
Mexicaltongo	

Tabla 3.8 Manantiales ubicados dentro del municipio. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, Carta Topográfica E14A18 y F14C88 Esc. 1:50000; Plan de Desarrollo Municipal 2013-2015, Soyaniquilpan de Juárez.

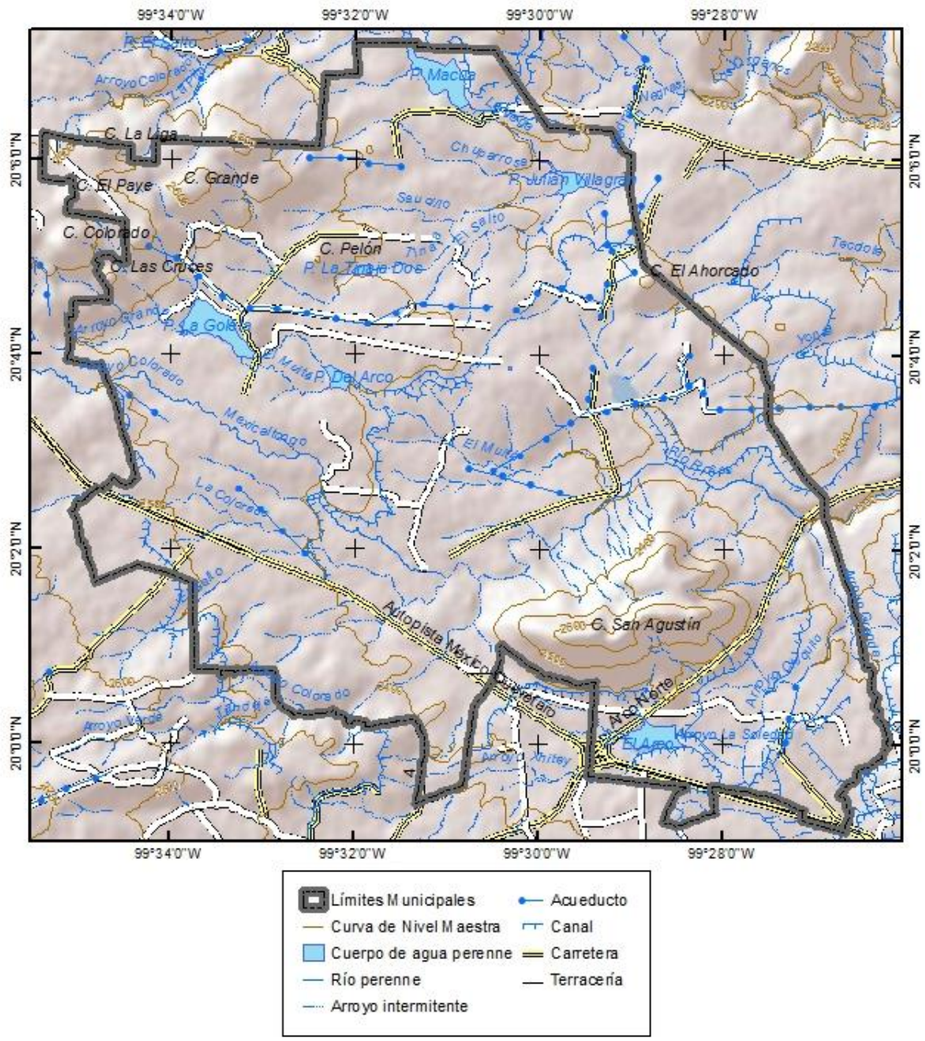


Figura 3.5 Mapa Hidrográfico del municipio de Soyaniquilpan. Fuente: SIATL INEGI

3.6 Cuencas y Subcuencas

El municipio de Soyaniquilpan de Juárez se localiza dentro de la región hidrológica número 26 Pánuco (RH26) la cual se encuentra dentro de la Región Administrativa IX, Golfo Norte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) la cual está conformada por 154 municipios de nueve entidades federativas, cuya superficie suma 127,867 km^2, los cuales corresponden al 6.5% del territorio nacional.

Esta región hidrológica se encuentra integrada por las cuencas de los ríos Pánuco, Moctezuma, Tamuín y Támesi, además cubre parte de los estados de México, Hidalgo, Querétaro Puebla, Veracruz, Guanajuato, San Luis Potosí, Tamaulipas y Nuevo León, así como una parte del Distrito Federal, lugar donde el río Pánuco tiene su origen artificialmente. Es importante mencionar que esta región comprende completamente la cuenca del río Pánuco, que es uno de los más importantes del país tanto por la superficie que ocupa (84,956 km^2), que lo coloca en el cuarto lugar entre los de la República, como por el elevado volumen de su escurrimiento, que ocupa el quinto lugar en el ámbito nacional.

De igual forma el territorio municipal se encuentra ubicado dentro de las subcuencas de los ríos Tula y Rosas, mismas que forman parte de la Cuenca del Rio Moctezuma. Esta cuenca se encuentra situada entre los 19° y 22° de latitud norte y entre los 90° y 100°15' de longitud oeste. Está limitada por las siguientes cuencas hidrológicas: al sur con la del rio Balsas, al oriente con las de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla, al poniente con la del rio Lerma y al norte con las de los ríos Tempoal y Pánuco.

Por otra parte la subcuenca del río Tula se encuentra en los estados de México e Hidalgo con un flujo resultante en dirección Sur-Norte, con el efluente artificial de la subregión Valle de México, a través del Emisor Central y de los Túneles de Tequisquiac, que confluyen directamente sobre los ríos El Salto y El Salado, respectivamente. Asimismo la subcuenca del río Rosas tiene un área drenada de aproximadamente 297 km^2, tiene su origen en la parte poniente de la cuenca y descarga en el colector general ligeramente aguas abajo de la localidad de Tula, Hgo. El escurrimiento medio anual registrado es de 39.3 millones de metros cúbicos.

Región			Cuenca			Subcuenca		
Clave	Nombre	% de la superficie municipal	Clave	Nombre	% De la superficie municipal	Clave	Nombre	% de la superficie municipal
RH26	PÁNUCO	100	D	R. MOCTEZUMA	100	j	R. Tula	31.1
						k	R. Rosas	68.9

Tabla 3.9 Regiones, cuencas y subcuencas hidrológicas del municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Soyaniquilpan de Juárez, México. INEGI 2009.

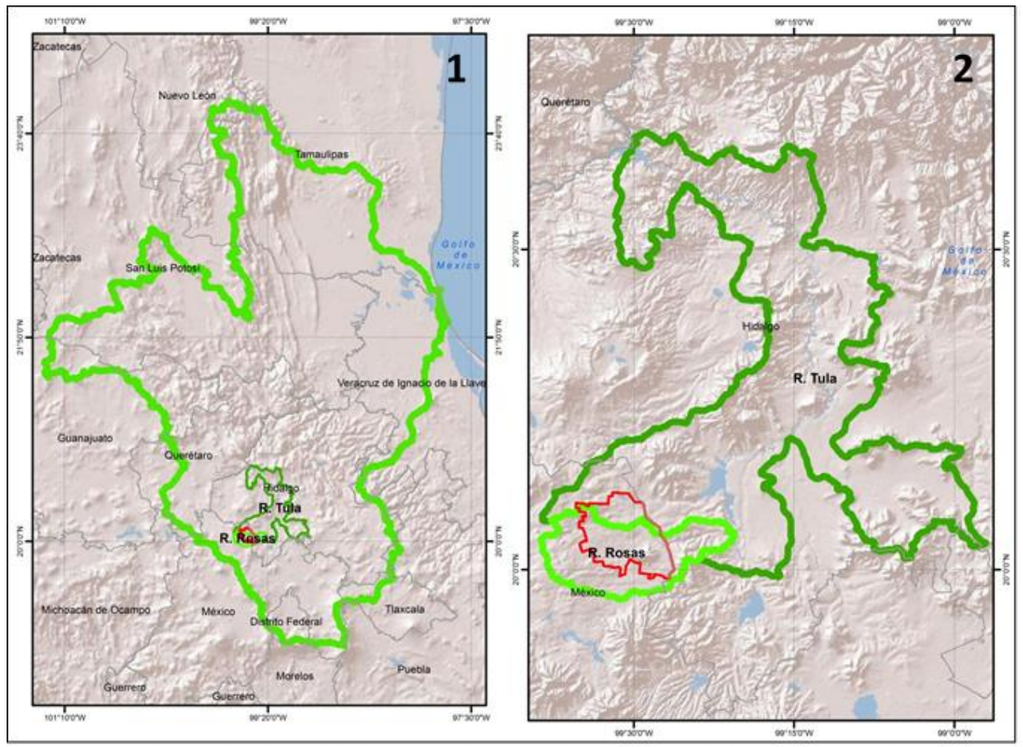


Figura 3.6 Mapa de Cuenca y Subcuencas donde se ubica el municipio de Soyaniquilpan de Juárez. 1Cuenca del Pánuco; 2 Cuencas de los ríos Tula y Rosas. Fuente: SIATL INEGI

3.7 Clima

Básicamente el clima predominante en el municipio es el templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw). Este es característico de montañas y mesetas del centro y sur de México y en la porción sur de la Altiplanicie Mexicana. Al ser característico de mesetas y montañas dos de los elementos más importantes del clima como la temperatura y precipitación cambian en distancias relativamente cortas y producen importantes variantes climáticas en lo referente al grado de humedad.

Las características del tipo de clima Cw son:

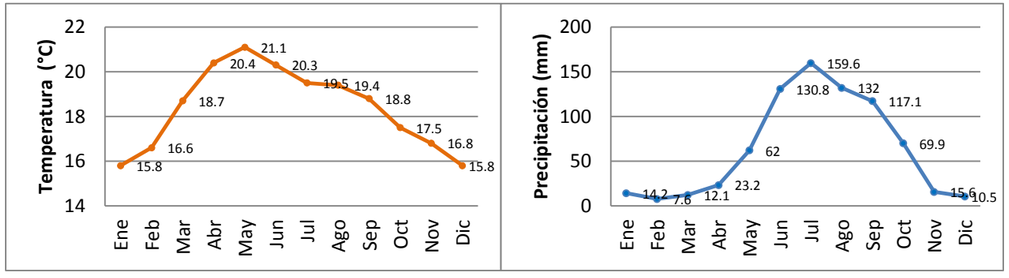
- Temperatura media para el mes más frío entre -3 y 18° C;
- Precipitación del mes más húmedo de la mitad del año en que está el verano mayor de 10 veces a la del mes más seco y;
- Precipitación del mes más seco menor de 40 mm

Clave	Clima	Área (Km^2)	% de superficie
C(w0)(w)	Templado subhúmedo con lluvia de verano el menos húmedo y con lluvia invernal menor del 5%	10.89	7.4
$C(w_1)(w)$	Templado subhúmedo con lluvia de verano de humedad media y con lluvia invernal menor del 5%.	43.41	29.6
$C(w_2)(w)$	Templado subhúmedo con lluvia de verano el más húmedo.	92.18	63

Tabla 3.10 Climas del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Conjunto de datos vectoriales de la serie recursos naturales, INEGI; Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Soyaniquilpan de Juárez, México. INEGI 2009.

La temperatura media oscila entre los 12 y 18°C. En los meses más cálidos, que son de abril a junio se han registrado temperaturas de 38 °C; en tanto que en diciembre y enero, los más fríos y secos del año, se han presentado temperaturas de hasta -3°C.

En cuanto a la precipitación media anual fluctúa entre los 600 y 1000 mm, siendo los meses de junio a agosto los más lluviosos.



Grafica 3.4 Comportamiento de la temperatura y precipitación media normal que registró la estación 15225 Jilotepec, la más próxima a la cabecera municipal de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Normales Climatológicas 1981 – 2010, SMN.

Elementos	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura máxima normal	23.2	24.4	26.7	28.3	28.2	26.3	24.8	24.7	23.8	23.1	23.3	22.7
Temperatura máxima mensual	30.1	25.9	29.8	31.6	32.2	29.5	26.9	26.6	26.8	25.4	25.9	25
Temperatura máxima diaria	33.5	31.5	34.5	35.5	36	33.5	30.5	30	33	30	29	29
Temperatura mínima normal	8.1	8.9	10.9	12.7	13.8	14.6	14.2	14.3	14	12	10.2	8.7
Temperatura mínima mensual	5.6	7	7.8	9.9	12.5	13.2	12.8	12.6	12	8.4	8	7
Temperatura mínima diaria	-3	0	0	3.5	8.5	5	1.5	9	5	3.5	1.5	0
Precipitación máxima mensual	86.7	34.8	85	85.2	233.1	246	376.1	275.8	327.1	134.9	103.9	41.7

Elementos	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación máxima diaria	76	25.4	29.4	38.5	85.7	81	95	65.8	65.1	73.1	54.5	21.2
Número de días con lluvia	2.6	2.7	2.7	5.1	8.5	11.8	15.1	13.5	12.7	8.2	2.7	2
Evaporación total normal	98.1	113.1	169.6	172.9	153.2	118.6	100.9	98.4	81.7	77.9	80.6	81
Niebla	2.8	2	1.5	1.4	2.4	5.8	11.8	13.5	17	15.2	7.3	2.9
Granizo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tormenta eléctrica	0.5	0.5	0	1.1	1.3	1.3	0	1.2	1.2	1.1	0.5	9.2

Tabla 3.11 Principales datos climáticos de la estación 15225 Jilotepec, la más próxima a la cabecera municipal de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Normales Climatológicas 1981 – 2010, SMN.

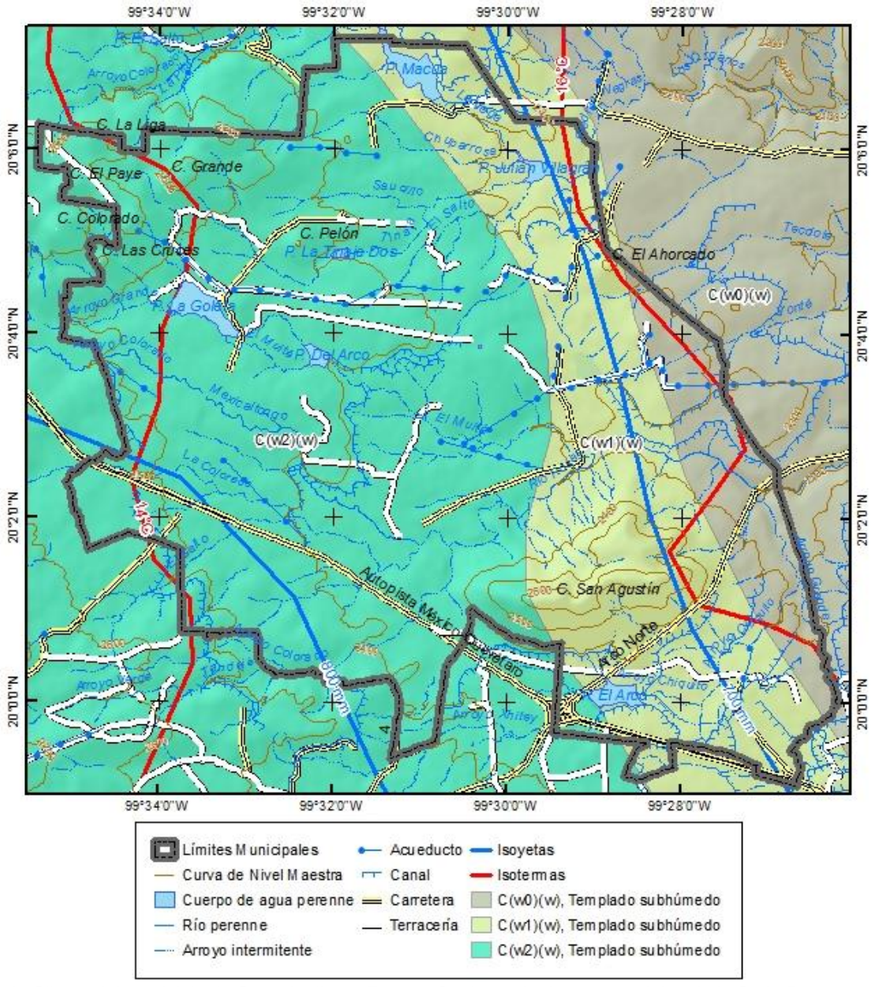
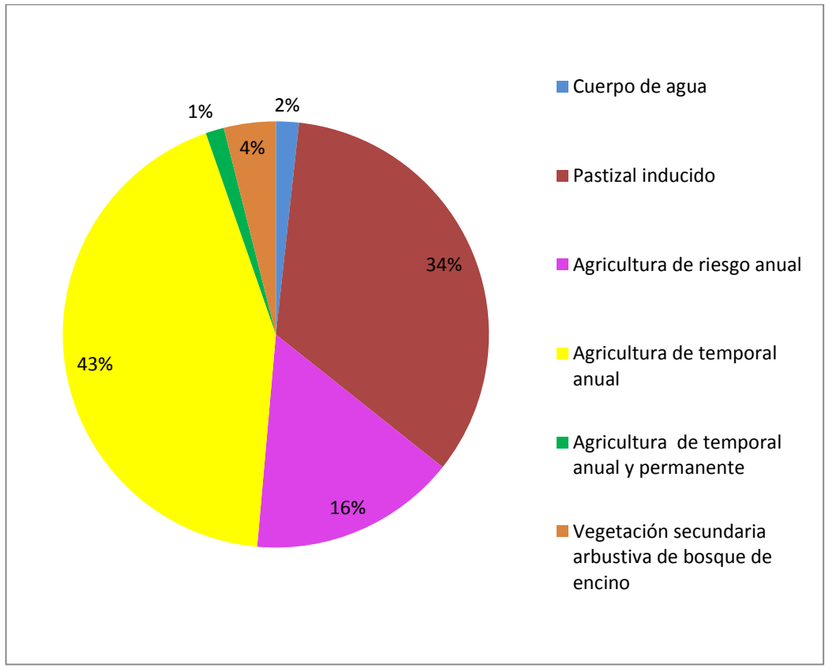


Figura 3.7 Mapa de Climas del municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Conjunto de datos vectoriales de la Serie Recursos Naturales, INEGI

3.8 Uso de suelo y vegetación

Para la elaboración de un estudio de riesgos es muy importante conocer la forma en la que se está utilizando la superficie del territorio, pues los cambios de vegetación y uso de suelo que se dan a causa de la expansión de las actividades del hombre, provocan a una desestabilización y deterioro del terreno, el cual se vuelve susceptible a presentar fenómenos que no se mostraban con anterioridad como erosión o procesos gravitacionales. Es por ello que esta información es muy importante para la puesta en marcha de políticas de planeación, ordenamiento territorial, desarrollo urbano y el aprovechamiento de los recursos naturales.

La vegetación del municipio ha sido alterada de manera irreversible por la expansión de las actividades agrícolas, esto se refleja en la cobertura actual donde la agricultura de temporal anual es la que ocupa una mayor superficie dentro del territorio, seguida por vegetación de tipo secundaria como son los pastizales inducidos. A grandes rasgos se puede decir que son tres tipos de cobertura los que predominan dentro del municipio: Agricultura (60%), vegetación secundaria (38%) y cuerpos de agua (2%).



Grafica 3.5 Porcentajes de cobertura municipal de los distintos tipos de uso de suelo y vegetación del municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión).

Tipo de cobertura	Características	Área (Km²)	% de superficie municipal
Cuerpo de agua	Superficies de terreno cubiertas por agua (no en escurrimiento), en este caso están representados por las distintas presas que se localizan dentro del territorio municipal.	2.55	1.7
Pastizal inducido	Este tipo de pastizal es el que surge cuando es eliminada la vegetación original del lugar, es decir aparece como consecuencia de desmonte de cualquier tipo de vegetación.	49.74	34.0
Agricultura de riego anual	Esta agricultura considera el uso de los diferentes sistemas de riego durante el ciclo de aquellos cultivos que permanecen sembrados en el terreno un tiempo variable, pero no mayor de un año de acuerdo a su ciclo fenológico en que ofrece mayor producción.	23.01	15.7
Agricultura de temporal anual	Es el tipo de agricultura de todos aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, por	63.38	43.3

Tipo de cobertura	Características	Área (Km²)	% de superficie municipal
	lo que su éxito obedece a la precipitación y de la capacidad del suelo para retener el agua. En esta clase de agricultura el ciclo vegetativo del cultivo no es mayor a un año.		
Agricultura de temporal anual y permanente	De igual forma que la anterior, depende completamente del agua de lluvia. En esta práctica la ocupación del terreno para cultivo es mayor de cinco años.	2.04	1.4
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	Es la vegetación con predominancia de arbustos, puede ser sustituida por una fase arbórea que con el tiempo puede ser similar a la vegetación original, en este caso bosque de encino.	5.76	3.9

Tabla 3.12 Uso del suelo y vegetación del municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión); Rzedowski. La vegetación de México. Limusa, primera edición 1978, México; Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación escala 1:250,000 serie III.

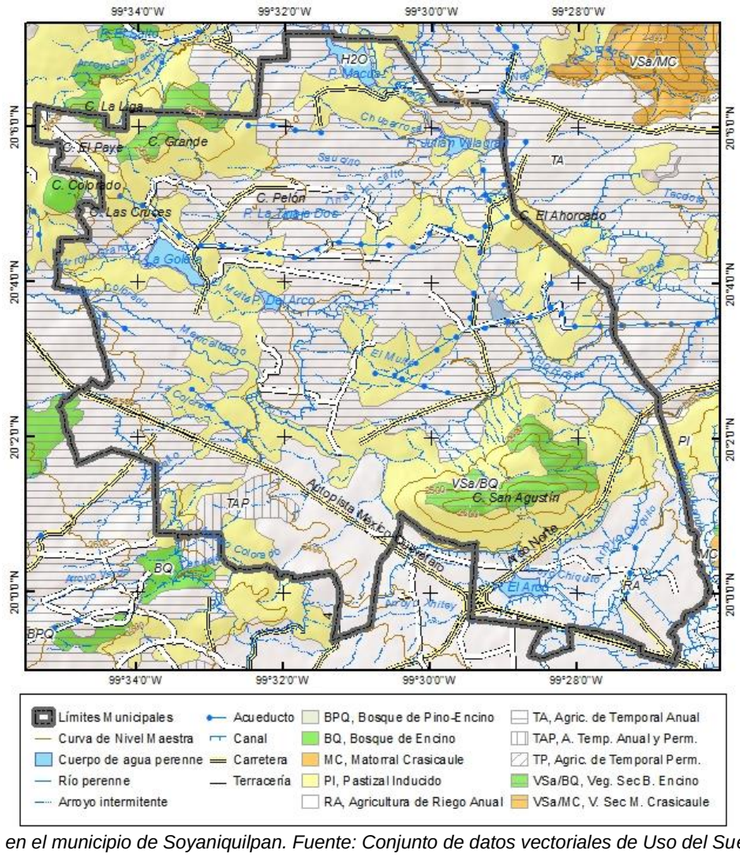


Figura 3.8 Mapa de Uso de Suelo y Vegetación en el municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión)

Capítulo 4 Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos

La dinámica demográfica, así como las actividades y estructura económica que componen al Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, constituyen una parte fundamental a considerar dentro del Atlas de Riesgo. Esto permite la identificación de los diversos factores socioeconómicos culturales y políticos, detectando el grado de vulnerabilidad social que pudieran presentar ciertos sectores de la sociedad, facilitando la toma de decisiones, y el planteamiento de estrategias dirigida a la población que pueda ser más susceptible a sufrir daños por los riesgos, ya sean estos de origen natural o provocados por el ser humano.

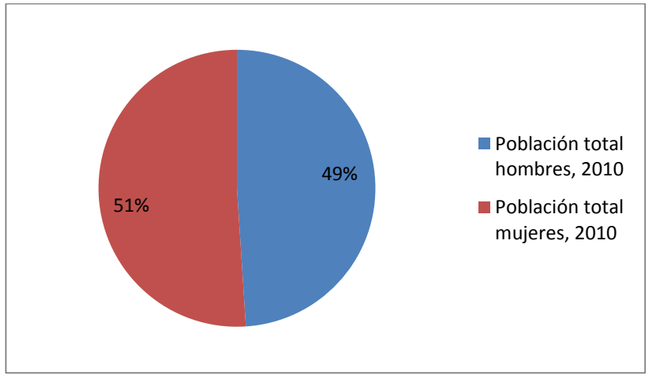
4.1 Elementos demográficos

Lo componentes demográficos de los que se hace mención en está caracterización, corresponden a las variables estadísticas poblacionales, generadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), recopilada a través de los Censos y Conteos Poblacionales, con los que se construye lo indicadores que muestran la manera en la que está estructurada la población.

4.1.1 Dinámica demográfica

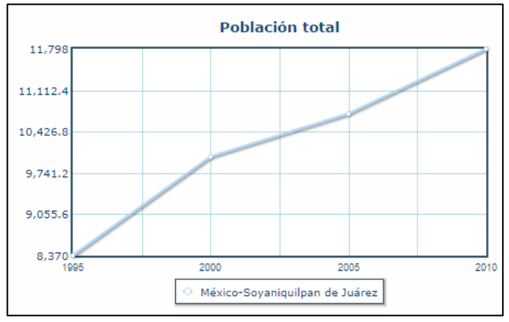
En el Estado de México, según datos obtenidos en el INEGI, para el año 2010, contaba con una población de 15’175,862 habitantes, de los cuales, el municipio de Soyaniquilpan de Juárez, concentraba al 0.07% de la población total, es decir, a 11,798 habitantes; de estos el 51% eran mujeres (6,020), mientras que el 49% restante eran hombres(5,778). La superficie del municipio es de 140.77 km^2, con una concentración de la población mayoritariamente rural, el 63.6% de los habitantes del municipio habitan localidades rurales, mientras que solo el 36.4% de la población se encuentra concentrada en la cabecera municipal de San Francisco Soyaniquilpan con 4,287 habitantes.

Existe una amplia porción de población rural en localidades que no pertenecen a la cabecera municipal, siendo un total de 7,511 habitantes 48.7% hombres y 51.3% mujeres.



Grafica 4.1 Población Masculina y Femenina en 2010 en el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.

La población del municipio de Soyaniquilpan de Juárez, Estado de México, crecio de 8,730 habitantes en 1995 a 11,798 en 2010, lo que representa una tasa de crecimiento de 35.1% en 15 años y una tasa anual de crecimiento del 2.4%, muy superior a la tasa anual de crecimiento poblacional a nivel nacional que entre 2005 y 2010 fue de 1.8%.

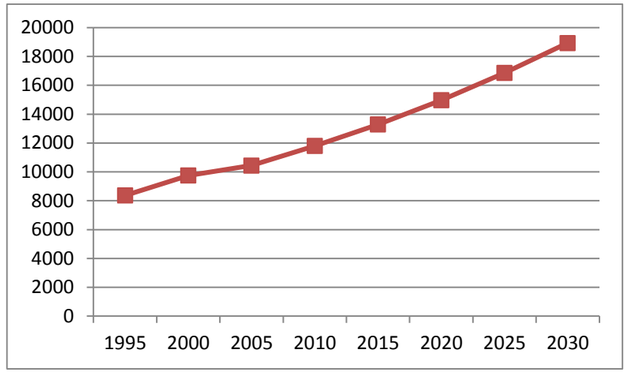


Grafica 4.2 Crecimiento Poblacional en 2010 en el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx.

Para hacer el cálculo de proyección poblacional al 2030, se tomaron como referencia los datos de 1995 a 2010 en períodos de 5 años y se calculó el crecimiento poblacional anual, que en promedio resulto ser del 2.4%, posteriormente esa tasa de crecimiento se fue proyectando a la última cifra poblacional que se tenía mediante la misma fórmula que aplica INEGI para hacer las proyecciones. Este es un método exponencial ya que la tasa de crecimiento poblacional se elevó a la quinta potencia, dado que 5 es el número de años que se desea proyectar. A continuación se presenta el cuadro resumen de las operaciones realizadas para la proyección poblacional junto con su fórmula.

Año	Población	Población Presente - Población Anterior	Población Presente - Población Anterior / Población Anterior	Tasa De Crecimiento Entre Cada Período (5 Años)	Fórmula	Tasa De Crecimiento Anual	Promedio De Tasa De Crecimiento Anual
1995	8370	PP-PA	PP-PA/PA	(PP-PA/PA)*100	Pi+n=Pi(1+tc)n	tc	tc
2000	9750	1380	0.16	16.49	Pi+n=Pi(1+tc)n	3.20	2.41
2005	10445	695	0.07	7.13	Pi+n=Pi(1+tc)n	1.43	2.41
2010	11798	1353	0.13	12.95	Pi+n=Pi(1+tc)n	2.59	2.41
2015	13289	1491	0.13	12.64	Pi+n=Pi(1+tc)n	2.53	2.41
2020	14969	1680	0.13	12.64	Pi+n=Pi(1+tc)n	2.53	2.41
2025	16861	1892	0.13	12.64	Pi+n=Pi(1+tc)n	2.53	2.41
2030	**18933**	2072	0.12	12.29	Pi+n=Pi(1+tc)n	2.46	2.41

Tabla 4.1 Proyección Poblacional en el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez a 2030,
PP = Población Presente; PA = Población Anterior; Pi = Población Inicial; n = No. De Años; tc = Tasa De Crecimiento
Fuente: Elaboración propia basado en los datos de los Censos de Población y Vivienda de INEGI.



Grafica 4.3 Proyección Poblacional en el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez de 1995 a 2030, Fuente: Elaboración propia basado en los datos de los Censos de Población y Vivienda de INEGI.

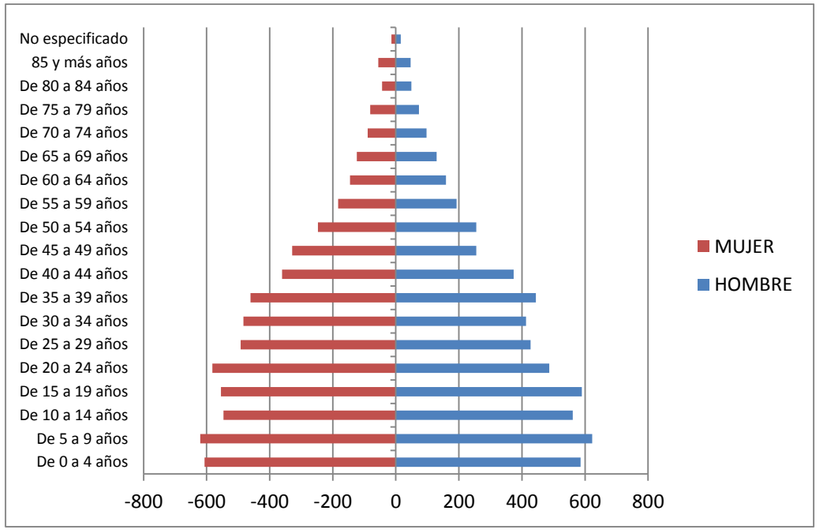
Por otra parte el municipio de Soyaniquilpan de Juárez ha tenido una dinámica de inmigración baja, solo el 7.4% de la población total son personas que ha nacido en otra entidad federativa, pero radica en el municipio, es decir 875 habitantes, mientras que la población mayor de 5 años que ha nacido en el municipio de Soyaniquilpan de Juárez pero que actualmente radica en otra entidad federativa entre 2005 y 2010 son 273 habitantes, es decir solo el 2.3% de esa categoría de edad, como se puede observar la dinámica migratoria del municipio es moderada, recibe poca población foránea y poca es la población que deciden moverse a otra entidad.

Pirámide Poblacional

En la pirámide que se muestra a continuación, se observan los grupos quinquenales de edad, diferenciada por sexo, a la derecha los hombres y a la izquierda las mujeres. En toda la estructura de la pirámide podemos observar cifras equitativas entre hombres y mujeres, vemos una base ancha de 0 a 4 años que es el segundo grupo mayoritario, solo después del grupo de 5 a 9 años, posteriormente se ensancha en el grupo de 20 a 24 años y de ahí en adelante se va adelgazando gradualmente hasta la vejez, se mantiene constante en todos los grupos de edad debido a la baja actividad migratoria.

Esta es una pirámide progresiva, que presenta una base ancha frente a unos grupos superiores que se van reduciendo, consecuencia de una natalidad alta y de una mortalidad progresiva según la edad; indica una estructura de población eminente joven y con perspectivas de crecimiento. Esta pirámide corresponde normalmente a zonas de bajo desarrollo económico debido a las altas tasas de mortalidad y a una natalidad alta.

Mediante este análisis se consolidan las diversas estrategias de manera focalizada, identificando los grupos vulnerables que representan los niños, así como los adultos mayores.



Grafica 4.4 Pirámide Poblacional del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, 2010. Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.

4.1.2 Distribución de población

La población en el Municipio de Soyaniquilpan, se distribuye geográficamente de la siguiente forma: la mayoría relativa de los habitantes se concentra en la cabecera municipal (sur del municipio), es decir, 4,287 habitantes que representan el 36.4% de la población total. El resto de la población, se encuentra dispersa en el resto de la superficie municipal, en 15 localidades rurales, ya que ninguna de las cuales supera los 1,500 habitantes.

Con relación a la distribución demográfica de la población, se realizó el análisis por grupos de edad, con el fin de conocer cuál es el grado de vulnerabilidad que se pudiera tener en el municipio. De esta manera, para el año de 2010, de los 11,798 habitantes del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, el 63% de la población total pertenecía al grupo de entre los 15 años hasta los 64 años, de los cuales 3,838 eran mujeres y 3,597 eran hombres, seguido por el grupo de 0 a 14 años con el 30% de niñas y niños, es decir 1,774 y 1,770 respectivamente, mientras los adultos mayores que es el grupo de 65 años y más ocupaba el 6.6%, 394 mujeres y 395 hombres, tal como se puede observar en el siguiente gráfico.

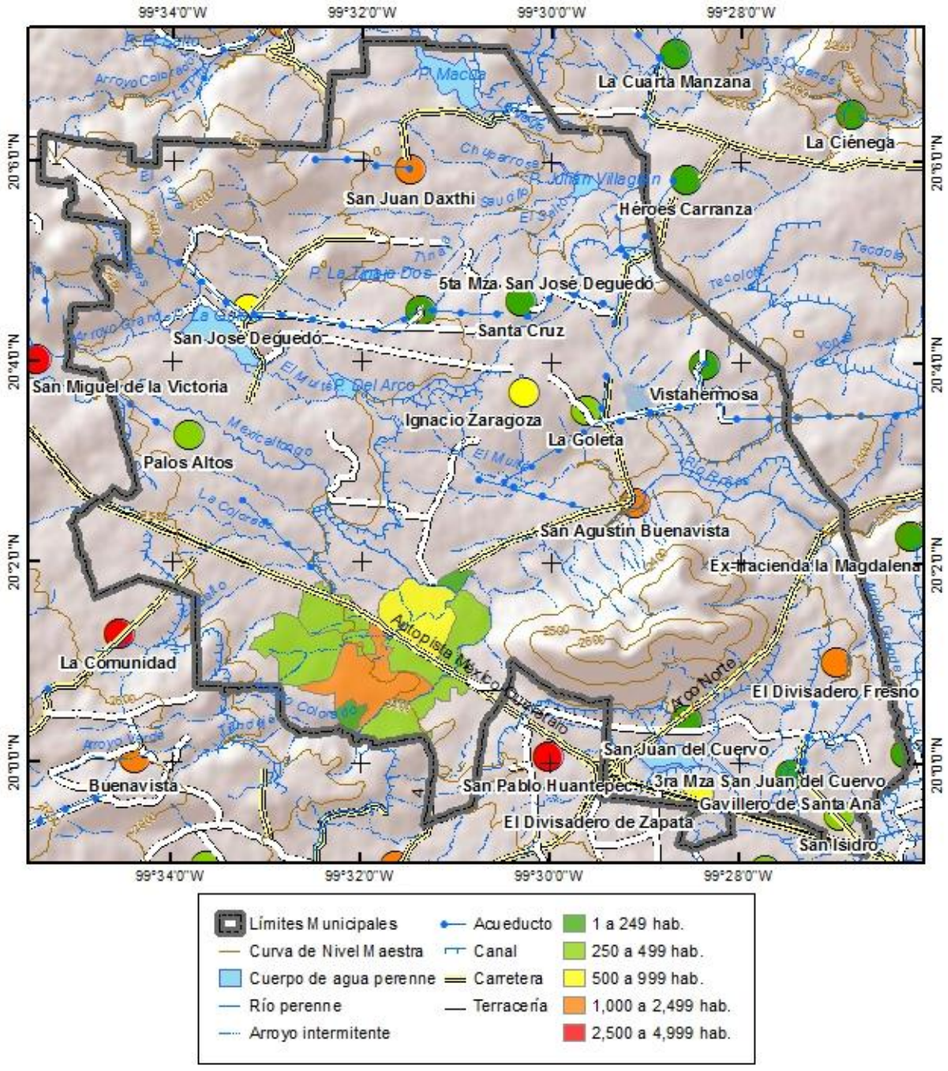
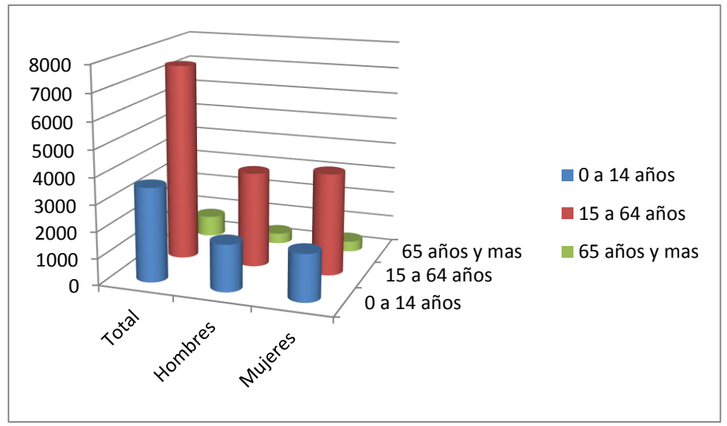


Figura 4.1. Mapa de distribución de la población en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.



Grafica 4.5 Distribución de la Población por grupos de edad, 2010. Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.

4.1.3 Mortalidad

La tasa de mortalidad, es el indicador demográfico que señala el número de defunciones de la población municipal por cada 1,000 habitantes, durante un periodo determinado. De tal manera, que para el año de 2010 en el Estado de México la tasa de mortalidad era de 3.7 fallecimientos por cada mil habitantes, mientras que para el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, la tasa de mortalidad fue de 4.64 defunciones por cada mil habitantes (http://salud.edomexico.gob.mx/salud/mortalidad.htm).

4.1.4 Densidad de población

La densidad de población, también denominada población relativa, se refiere a la distribución del número de habitantes a través del territorio municipal, es decir la superficie municipal, que actualmente es de 140.77 kilómetros cuadrados, entre la población total 11,798 habitantes, lo que corresponde a 83.8 habitantes por kilómetro cuadrado, mientras que a nivel estatal habitan 679 habitantes por km², lo que muestra la baja densidad demográfica que prevalece para este municipio en general.

Ahora bien, para la confección del mapa se utilizaron los datos de población por AGEB's, y se dividieron por la superficie de la AGEB correspondiente medida en hectáreas. En ningún caso la densidad fue superior a los 9 hab/ha. Sin embargo, en el caso específico de manzanas urbanas, hubo casos donde la densidad alcanzó superó los 100 hab/ha.

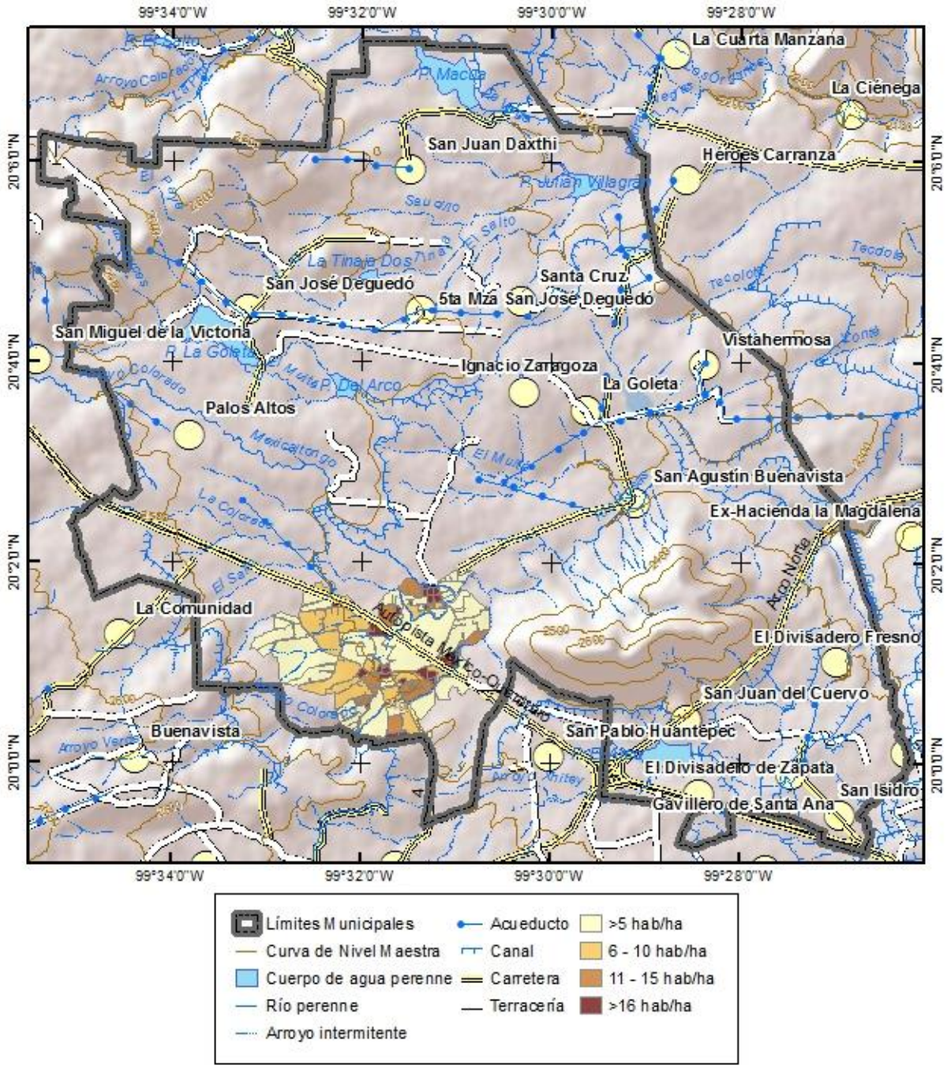


Figura 4.2. Mapa de densidad de la población en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

4.1.5 Discapacidad

En el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez habitan un total de 1,184 personas con alguna clase de discapacidad, incluyendo auditivas, de habla, visuales, mentales o motrices. Esta población posee un mayor grado de vulnerabilidad ya que su condición, en caso de desastre, incrementa la probabilidad de sufrir daños derivados de las limitaciones de movilidad, o percepción sensorial de un peligro inminente.

Clave En El Censo	Limitación	No. Personas
PCON_LIM	Población con limitación en la actividad	544
PCLIM_MOT	Población con limitación para caminar o moverse, subir o bajar	325
PCLIM_VIS	Población con limitación para ver, aun usando lentes	123
PCLIM_LENG	Población con limitación para hablar, comunicarse o conversar	53
PCLIM_AUD	Población con limitación para escuchar	61
PCLIM_MOT2	Población con limitación para vestirse, bañarse o comer	19
PCLIM_MEN	Población con limitación para poner atención o aprender cosas sencillas	25
PCLIM_MEN2	Población con limitación mental	34
Total		1184

Tabla 4.2 Tipos de limitación en la población del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, Principales Resultados por Localidad ITER, Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).

En cuanto al porcentaje de población discapacitada, se puede observar que en las comunidades donde dicho porcentaje es mayor, son Vistahermosa (16.2%), San Juan Daxthi (11.8%), Quinta Manzana de San José Deguedó (8.7%), San José Deguedó (6.8%), La Goleta (5.6%) y San Juan del Cuervo (5.4%). En el resto de localidades y Agebs el promedio es menor a 5%. Sin embargo, en una manzana urbana, la proporción llegó hasta el 21.4%, aunque la población de dicha manzana, ubicada al norte de la cabecera municipal, es de solo 14 personas, por lo que el número de discapacitados es de 3.

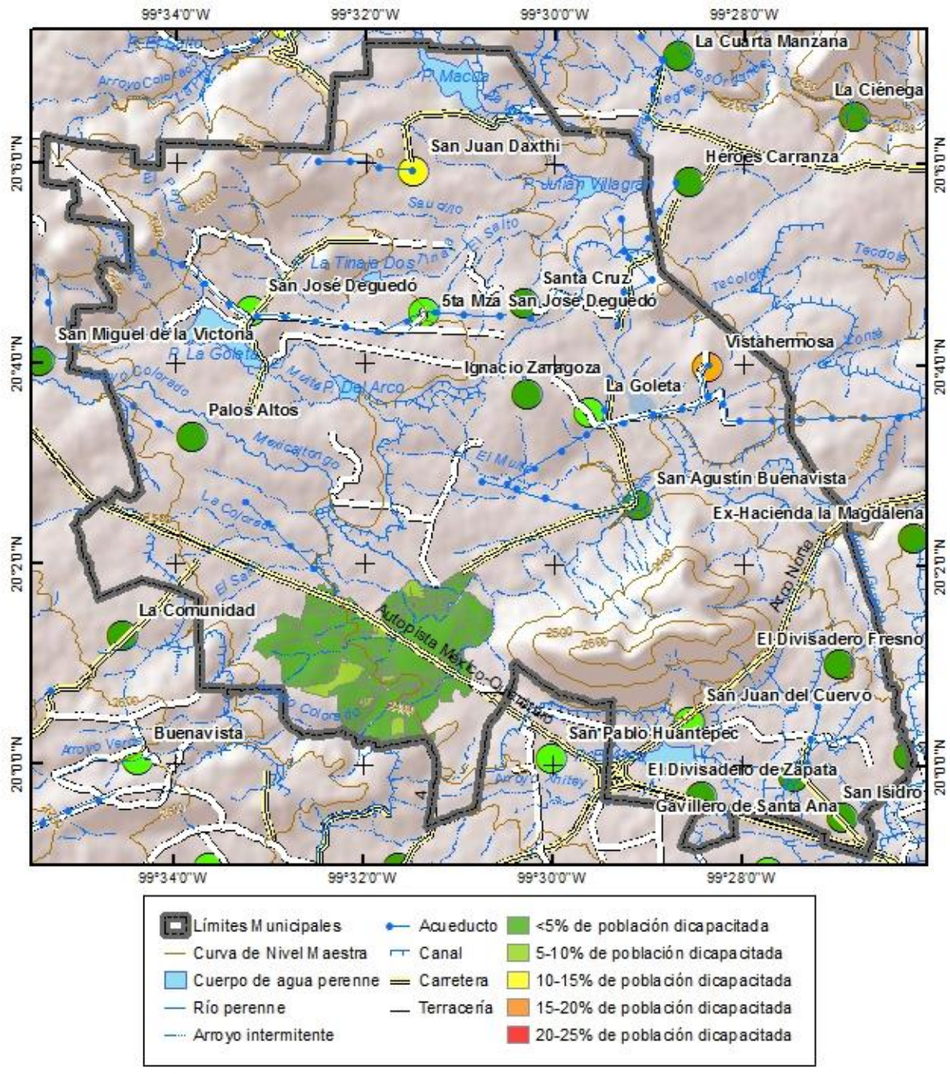


Figura 4.3. Mapa de porcentaje de población que tiene alguna discapacidad en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

4.2 Características sociales

Es importante analizar los datos relacionados con los niveles de bienestar, tales como educación, salud y vivienda, lo que permite conocer las condiciones de vida que persisten para los habitantes del municipio, con lo que se puede establecer estrategias focalizadas diferenciadas según el grado de vulnerabilidad en correlación con los niveles de desarrollo existentes.

4.2.1 Educación

Uno de los factores importantes de prevención se establece dentro del sistema escolarizado, debido a la concientización que toman los jóvenes en lo referente a los peligros que puedan existir y la forma de enfrentarlos. Por otra parte, los indicadores en este rubro, están relacionados con la adopción de actitudes y conductas preventivas que contribuyen en la disminución de riesgos, debido al conocimiento que se puede obtener sobre fenómenos y riesgos. El contar datos educativos, así como la ubicación de los planteles, facilita la elaboración de este Atlas de Riesgo, estableciendo zonas de vulnerabilidad ante cualquier fenómeno.

Según datos del Instituto de Educación del Gobierno del Estado, en el municipio de Soyaniquilpan de Juárez hay una tasa de alfabetización de 99.6% entre la población de 15 a 24 años; desagregado por sexos, en el mismo rango de edad, las mujeres cuentan con una tasa de 99.7% mientras que para los hombres la tasa es de 99.4%. La población total de personas mayores de 5 años y más que estudian y/o estudiaron la primaria fue de 4,555 para el año 2010, lo que representa el 38% del total de la población.

Durante el ciclo escolar 2011, se registraron, por nivel educativo, las siguientes estadísticas de alumnos egresados: preescolar, 302 alumnos; primaria, 246 alumnos; secundaria, 232 alumnos; educación media superior, 134 alumnos; y educación superior, 0 alumnos.

Mientras que el Grado Promedio de Escolaridad de la población de 15 años y más en 2010 fue de 7.6, es decir, el nivel de instrucción del municipio corresponde a 7.6 años/grados de educación formal, lo que significa primaria terminada y secundaria trunca o incompleta. En el siguiente mapa se observa que la población más preparada se ubica en la cabecera municipal, en donde algunas manzanas cuentan con población que en promedio estudió algunos grados de preparatoria o incluso de universidad. En el resto de las localidades rurales del municipio, lo común es haber terminado la primaria, salvo en el caso de la localidad de Ignacio Zaragoza, ubicada en el centro de la superficie municipal, donde se tiene en promedio la tasa más baja de escolaridad, con la primaria no terminada como promedio general.

Por otra parte, en 2010 en lo referente al analfabetismo, grupo de población vulnerable por su condición, se registraron a 466 personas mayores de 15 años que no sabían leer ni escribir, de los cuales, el 61% eran mujeres y el 39% eran hombres.

Otro dato importante que ayuda a identificar la vulnerabilidad, es el grupo de población de 15 años y más con primaria incompleta, cabe señalar, que este indicador al igual que el analfabetismo, es utilizado como variable para medir el índice de marginación. En 2010 según datos registrados en el Censo existían 1,466 habitantes de 15 años y más que no concluyeron la primaria, el 12.4% del total de la población.

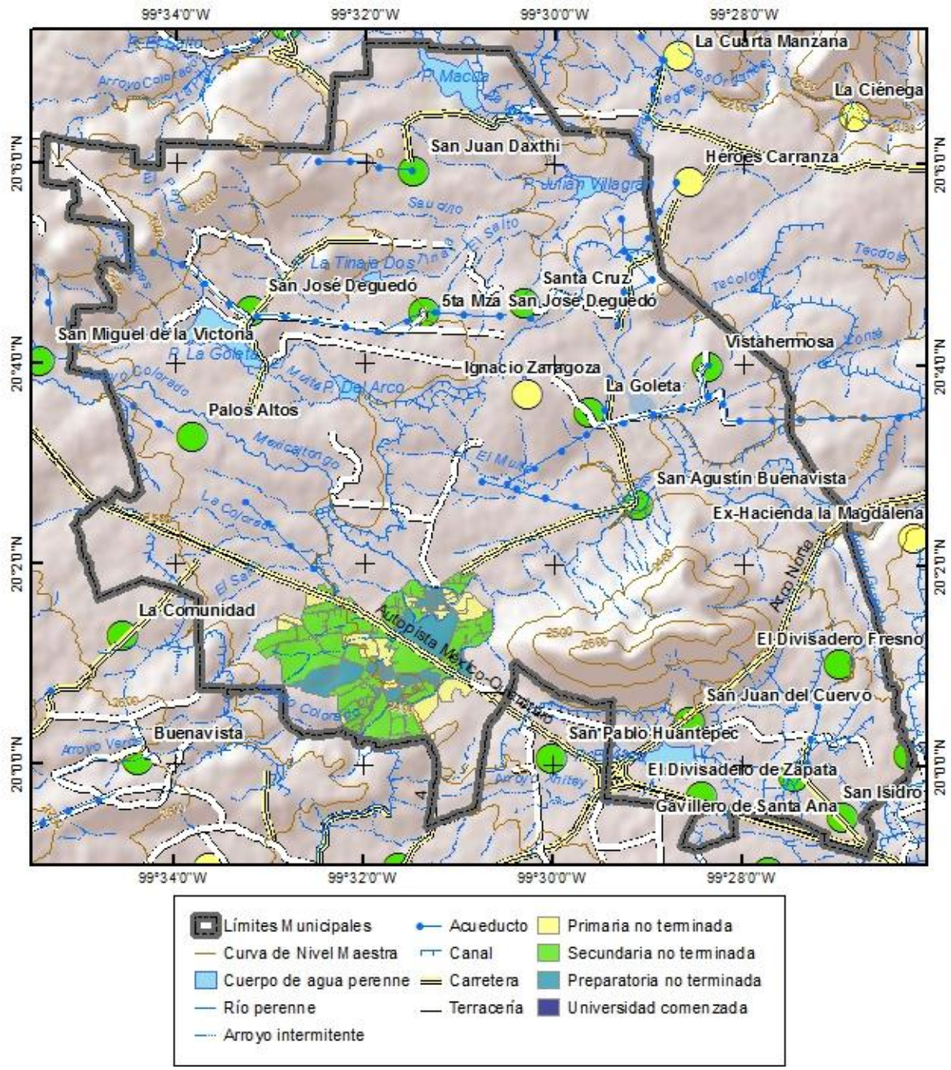


Figura 4.4. Mapa de grado de escolaridad de la población en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Concepto	Población
Población de 6 años y más , 2010	10,330
Población de 5 años y más con primaria , 2010	4,555
Población de 18 años y más con nivel profesional, 2010	519
Grado promedio de escolaridad de la población de 15 años y más, 2010	7.6 años
Alumnos egresados en preescolar, 2011	302
Alumnos egresados en primaria, 2011	246
Alumnos egresados en secundaria, 2011	232
Alumnos egresados en educación media superior, 2011	134
Alumnos egresados en educación superior, 2011	0
Personal docente en preescolar, 2011	31
Personal docente en primaria, 2011	70
Personal docente en secundaria, 2011	40
Personal docente en educación media superior, 2011	24
Personal docente en educación superior, 2011	0
Total de escuelas en educación básica y media superior, 2011	43
Escuelas en preescolar, 2011	18
Escuelas en primaria, 2011	15
Escuelas en secundaria, 2011	9
Escuelas en educación media superior, 2011	1
Escuelas en educación superior, 2010	0
Tasa de alfabetización de las personas de 15 a 24 años, 2010	99.6%
Tasa de alfabetización de los hombres de 15 a 24 años, 2010	99.4%
Tasa de alfabetización de las mujeres de 15 a 24 años, 2010	99.7%

Tabla 4.3 Estadística básica de educación en el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), Instituto de Educación del Gobierno del Estado.

4.2.2 Vivienda y hacinamiento

Los indicadores obtenidos con relación a la vivienda, proporcionan la información con respecto a la situación que guardan, así como para determinar la vulnerabilidad como consecuencia del tipo de materiales con las que están construidas, los riesgos en la infraestructura y servicios, como consecuencia del hacinamiento que se pudiera presentar en el municipio.

En el municipio, en 2010 INEGI registro un total de 3,007 viviendas, de las cuales se contaba con un promedio de 3.9 habitantes por vivienda. La viviendas habitadas con piso de material diferente de tierra ascendían a 2,913, es decir, el 96%. En lo referente a servicios, se registraron 2,768 viviendas que contaban con los servicios de agua entubada, luz y drenaje, lo que representa una cobertura del 92%.

Vivienda y Urbanización	Unidades
Total de viviendas particulares habitadas, 2010	3007
Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas, 2010	3.9
Viviendas particulares habitadas con piso diferente de tierra, 2010	2913

Viviendas particulares habitadas que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda, 2010	2768
Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje, 2010	1845
Viviendas particulares habitadas que disponen de excusado o sanitario, 2010	2179
Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica, 2010	2852
Viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador, 2010	2269
Viviendas particulares habitadas que disponen de televisión, 2010	2737
Viviendas particulares habitadas que disponen de lavadora, 2010	1289
Viviendas particulares habitadas que disponen de computadora, 2010	418

Tabla 4.4 Estadística básica de Vivienda en el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.

En lo que se refiere al hacinamiento, el promedio de ocupantes por cuarto en las viviendas del municipio fue de 1.11. El hacinamiento se considera a partir de 3 personas ocupando la misma habitación, por lo que con base en los datos de INEGI, no existe hacinamiento a nivel general del municipio, ni en las localidades rurales, ni en las manzanas urbanas.

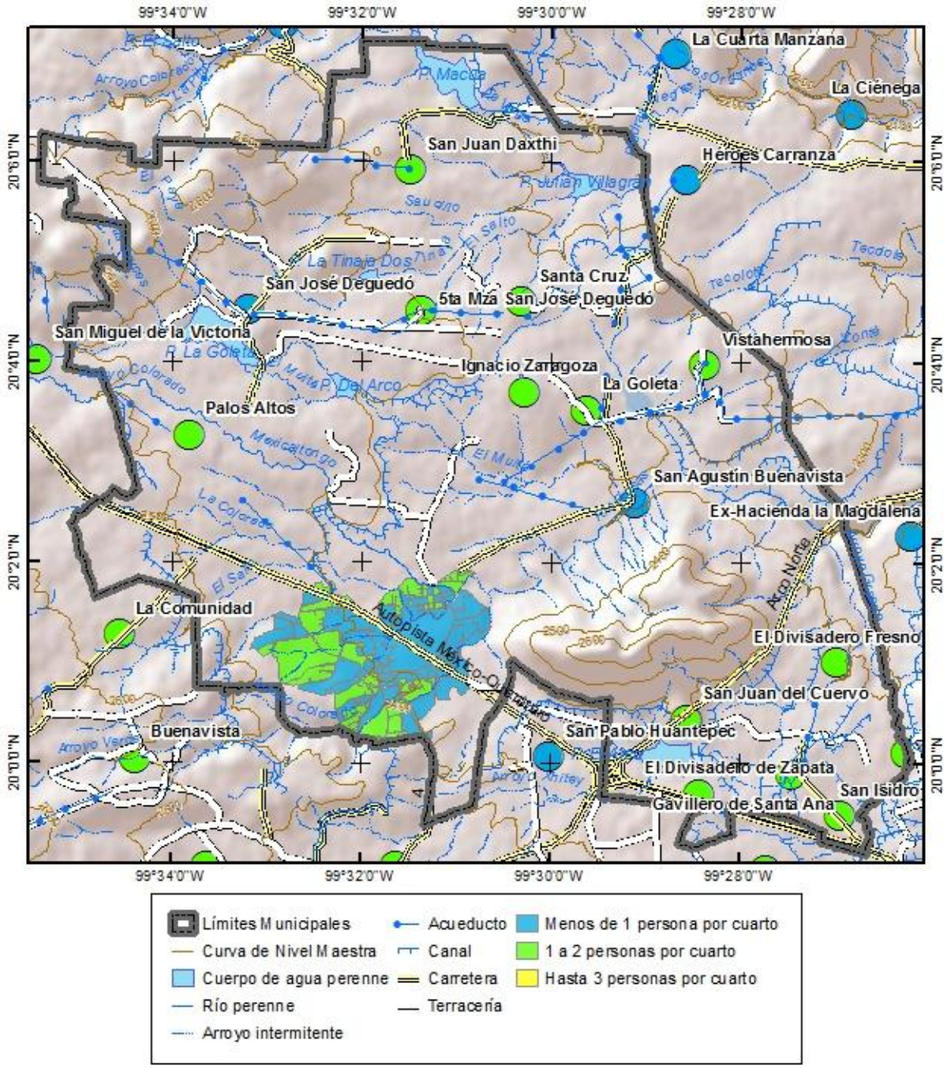


Figura 4.5. Mapa de hacinamiento en viviendas en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

4.2.3 Marginación y Pobreza

Una manera de identificar las zonas vulnerables es a través del índice de marginación, que en su carácter multidimensional, utiliza variables sociales, demográficas y territoriales mediante el uso de indicadores, con lo que se pueden focalizar las estrategias al ser los grupos más expuestos a riesgo y vulnerabilidades sociales.

Para el 2011, con base en datos obtenidos en el Censo de Población y Vivienda realizado por el INEGI, el Consejo Nacional de Población (CONAPO) realizó el índice y grado de marginación a nivel municipal y localidad, donde el municipio de Soyaniquilpan de Juárez tuvo un índice de marginación de -1.17 lo que lo clasifica con un grado de marginación **bajo.**

Por otra parte, con la finalidad de ubicar las principales localidades que componen al municipio y observar cual es la situación que guardan con respecto al índice de marginación, se investigaron todas las localidades del municipio, de las cuales, algunas de estas se encuentran con un grado de marginación alto. En estas habitan sólo 4,580 personas, es decir el 38% de la población total del municipio; en el grado de marginación muy bajo no hay ni una sola localidad del municipio, la cabecera municipal, que aglutina a 4,287 personas, es decir el 36% de la población del municipio se ubica en un grado de marginación bajo.

A continuación se muestra la tabla donde se presentan los resultados de las localidades del municipio por índice de marginación y grado de marginación.

Localidad	Población total	Índice de marginación	Grado de marginación
San Francisco Soyaniquilpan (todo)	4 287	-1.1788	Bajo
El Divisadero de Zapata	520	-0.8071	Alto
El Divisadero Fresno (El Divisadero)	1 059	-0.6454	Alto
La Goleta	304	-0.8224	Medio
Ignacio Zaragoza (Zaragoza)	815	-0.1942	Alto
Palos Altos	337	-1.0175	Medio
San Agustín Buenavista	1 271	-1.0414	Medio
San Juan Daxthi	1 089	-0.6683	Alto
Vistahermosa (Vista Hermosa)	229	-0.7136	Alto
San Juan del Cuervo (El Cuervo)	203	-0.3505	Alto
Gavillero de Santa Ana	141	-0.8646	Medio
San Isidro (Colonia San Isidro)	306	-0.8073	Alto
San José Deguedó	799	-0.9840	Medio
Santa Cruz (Ejido de Palos Altos)	198	-0.2266	Alto
Quinta Manzana de San José Deguedó	161	-0.7345	Alto
Tercera Manzana de San Juan del Cuervo	79	-0.8552	Medio

Tabla 4.5 Índice y grado de Marginación en las principales localidades del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: CONAPO, Índice de Marginación por Localidad, 2010.

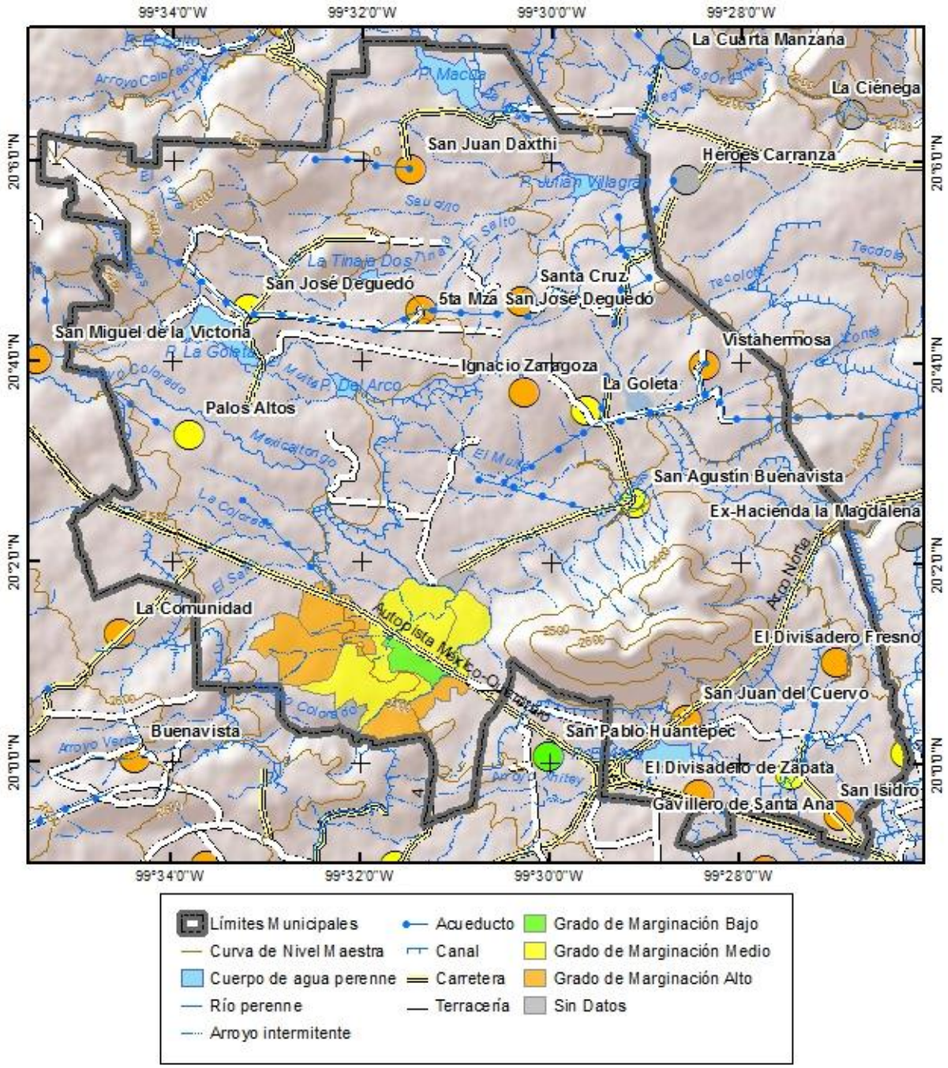


Figura 4.6. Mapa de Grado de marginación en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI y CONEVAL.

En el caso general del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, según datos de los Indicadores de pobreza extrema y carencia por acceso a la alimentación por municipio del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) 2010, el 14% de la población se encuentra en pobreza extrema (1,790 personas) y el 35.8% tienen carencia por acceso a la alimentación (4,578 personas).

A continuación se muestra la tabla donde se presentan los resultados de los indicadores de pobreza

Municipio	Pobreza extrema		Carencia por acceso a la alimentación		Población pobre extrema y que también es carente por acceso a la alimentación	
	Porcentaje	Personas	Porcentaje	Personas	Porcentaje: número de personas en el municipio que son pobres extremas y que también son carentes por alimentación entre el número total de personas en el municipio	Personas
Soyaniquilpan de Juárez	14.0	1,790	35.8	4,578	12.5	1,600

Tabla 4.6 Indicadores de Pobreza del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.

4.3 Principales actividades económicas en la zona

Los fenómenos naturales y antropogénicos tienen una repercusión directa en las dinámicas económicas, por ello es fundamental identificar las principales actividades económicas realizadas en el municipio. Concentrando estas actividades se realizan la siguientes tablas, la cual muestran los principales sectores económicos subdivididos por los tipos de actividades económicas (Primarias, Secundarias y Terciarias).

En lo que se refiere al sector primario, el municipio de Soyaniquilpan de Juárez es una zona agrícola, donde existen vastas hectáreas de cultivo, pero no alcanzan un grado alto de producción, en lo equivalente a la producción ganadera la máxima producción es de leche de bovino con 5,515,000 litros en 2011, seguido de carne en canal de bovino con 535 toneladas en 2011 y en tercer lugar la carne en canal de gallináceas con 519 toneladas, por mencionar las principales .

Actividades primarias	Unidades
Producción Agrícola	
Superficie sembrada total (Hectáreas), 2011	5355
Superficie sembrada de alfalfa verde (Hectáreas), 2011	7
Superficie sembrada de avena forrajera (Hectáreas), 2011	1150
Superficie sembrada de chile verde (Hectáreas), 2011	0
Superficie sembrada de frijol (Hectáreas), 2011	0
Superficie sembrada de maíz grano (Hectáreas), 2011	3710
Superficie sembrada de pastos (Hectáreas), 2011	0
Superficie sembrada de sorgo grano (Hectáreas), 2011	0
Superficie sembrada de tomate rojo (jitomate) (Hectáreas), 2011	0
Superficie sembrada de tomate verde (Hectáreas), 2011	0
Superficie sembrada de trigo grano (Hectáreas), 2011	0
Superficie sembrada del resto de cultivos nacionales (Hectáreas), 2011	488
Superficie cosechada total (Hectáreas), 2011	4295
Superficie cosechada de alfalfa verde (Hectáreas), 2011	7
Superficie cosechada de avena forrajera (Hectáreas), 2011	1150
Superficie cosechada de chile verde (Hectáreas), 2011	0
Superficie cosechada de frijol (Hectáreas), 2011	0
Superficie cosechada de pastos (Hectáreas), 2011	0
Superficie cosechada de sorgo grano (Hectáreas), 2011	0

Actividades primarias	Unidades
Superficie cosechada de tomate rojo (jitomate) (Hectáreas), 2011	0
Superficie cosechada de tomate verde (Hectáreas), 2011	0
Superficie cosechada de trigo grano (Hectáreas), 2011	0
Superficie cosechada del resto de cultivos nacionales (Hectáreas), 2011	488
Volumen de la producción de alfalfa verde (Toneladas), 2011	328
Volumen de la producción de avena forrajera (Toneladas), 2011	14100
Volumen de la producción de chile verde (Toneladas), 2011	0
Volumen de la producción de frijol (Toneladas), 2011	0
Volumen de la producción de maíz grano (Toneladas), 2011	4821
Volumen de la producción de pastos (Toneladas), 2011	0
Volumen de la producción de sorgo grano (Toneladas), 2011	0
Volumen de la producción de tomate rojo (jitomate) (Toneladas), 2011	0
Volumen de la producción de tomate verde (Toneladas), 2011	0
Volumen de la producción de trigo grano (Toneladas), 2011	0
Superficie sembrada de temporal (Hectáreas), 2011	2970
Superficie mecanizada (Hectáreas), 2011	4698
Superficie sembrada de riego (Hectáreas), 2011	2385
Monto pagado por el PROCAMPO (Miles de pesos), 2011	3737
Valor de la producción agrícola total (Miles de pesos), 2011	42348
Valor de la producción de alfalfa verde (Miles de pesos), 2011	246
Valor de la producción de frijol (Miles de pesos), 2011	0
Valor de la producción de maíz grano (Miles de pesos), 2011	22178
Valor de la producción de pastos (Miles de pesos), 2011	0
Valor de la producción de sorgo grano (Miles de pesos), 2011	0
Producción Ganadera	
Volumen de la producción de carne en canal de bovino (Toneladas), 2011	535
Volumen de la producción de carne en canal de porcino (Toneladas), 2011	496
Volumen de la producción de carne en canal de ovino (Toneladas), 2011	71
Volumen de la producción de carne en canal de caprino (Toneladas), 2011	3
Volumen de la producción de carne en canal de gallináceas (Toneladas), 2011	519
Volumen de la producción de carne en canal de guajolotes (Toneladas), 2011	36
Volumen de la producción de leche de bovino (Miles de litros), 2011	5515
Volumen de la producción de leche de caprino (Miles de litros), 2011	0
Volumen de la producción de huevo para plato (Toneladas), 2011	212
Volumen de la producción de miel (Toneladas), 2011	0
Volumen de la producción de cera en greña (Toneladas), 2011	0
Producción Forestal	
Volumen de la producción forestal maderable (Metros cúbicos rollo), 2011	0
Volumen de la producción forestal maderable de coníferas (Metros cúbicos rollo), 2011	0

Tabla 4.7 Volumen de producción del Sector Primario para el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, 2011. Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el Censo de Económico 2011, Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).

Con respecto al sector secundario, hay actividad minera en dos sitios en los cuales se extrae tezontle y hay 19 industrias manufactureras.

Actividades secundarias	Unidades
Minería	2
Captación, tratamiento y suministro de agua realizados por el sector público	1
Industrias Manufactureras	33
Inversión pública ejercida en obras de electrificación (Miles de pesos), 2009	No disponible

Tabla 4.8 Volumen de producción del Sector Secundario para el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, 2011. Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el Censo de Económico 201 y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).

Específicamente en las actividades terciarias, el municipio de Soyaniquilpan de Juárez cuenta con infraestructura para desarrollar sus actividades, cuenta con un registro de 1,454 automóviles vigente hasta el 2012 y red carretera de 59 kilómetros de los cuales 12 kilómetros con federales de cuota, cuenta con un mercado público registrado, 3 tianguis y 50 cuartos registrados de hospedaje, solo por mencionar algunos rubros del sector.

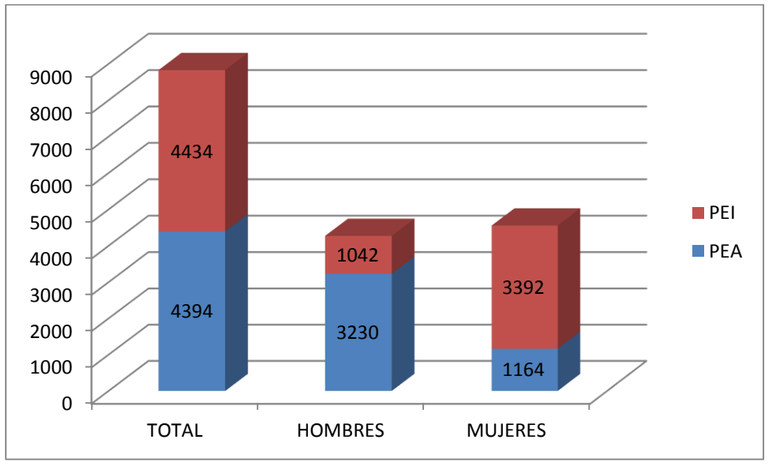
Actividades terciarias	Unidades
Tianguis, 2010	3
Mercados públicos, 2010	1
Centrales de abasto, 2010	0
Automóviles nuevos vendidos al público, 2010	0
Camiones nuevos vendidos al público, 2010	0
Aeropuertos, 2010	0
Oficinas postales, 2010	1
Automóviles registrados en circulación (Automóviles), 2012	1454
Vehículos de motor registrados en circulación (excluye motocicletas), 2012	2257
Camiones y camionetas para carga registrados en circulación, 2012	803
Longitud de la red carretera (kilómetros), 2010	59
Longitud de la red carretera federal de cuota (kilómetros), 2010	12
Sucursales de la banca comercial, 2010	0
Sucursales de la banca de desarrollo, 2010	0
Cuartos registrados de hospedaje, 2010	50
Establecimientos de hospedaje, 2010	1
Turistas que se hospedaron en establecimientos, 2010	No disponible
Inversión pública ejercida (Miles de pesos), 2010	43269
Inversión pública ejercida en desarrollo económico (Miles de pesos), 2010	3471
Inversión pública ejercida en urbanización y medio ambiente (Miles de pesos), 2010	4477
Comercio al por mayor	44 unidades
Comercio al por menor	89 unidades
Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	29 unidades
Finanzas públicas	
Ingresos brutos de los municipios (Miles de pesos), 2012	118069
Egresos brutos de los municipios (Miles de pesos), 2012	118069

Tabla 4.9 Actividades Terciarias para el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez, 2010. Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el Censo de Económico 2010 y Finanzas Públicas Estatales y Municipales, Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).

4.4 Características de la población económicamente activa

Mediante la identificación de las características de la población económicamente activa, es posible localizar aquellos sectores susceptibles de sufrir daño, en su persona o bienes que posea. En este sentido, se presentan algunos indicadores que permitirán asociar elementos para determinar la vulnerabilidad social ante los desastres naturales, definida como la 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.

La población económicamente activa, es aquella población que están en edad de trabajar, que se encuentran ocupados en algún sector de la economía y que son remunerados por su trabajo. Con base en datos obtenidos en el Censo de Población 2010, la Población Económicamente Activa en el municipio era de 4,394 personas, es decir, de los 8,883 habitantes que ocupan el grupo de edad de 12 años y más, el 49.4% de este grupo de edad se encontraba de manera activa, de los cuales, el 73% eran hombres, y el restante 27% eran mujeres.



Grafica 4.6 Características de la Población Económicamente Activa (PEA) e Inactiva (PEI) 2010 para el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en el Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.

Por otra parte se encuentran la Población Económicamente Inactiva, en este indicador se consideran a las personas de 12 años y más, pensionados o jubilados, estudiantes, personas que tienen alguna limitación física o mental permanente que les impide trabajar, así como a las personas dedicadas al quehacer del hogar, estas últimas son consideradas debido a que no perciben un salario. Cabe señalar que este grupo de personas son clasificadas con mayor vulnerabilidad debido a su condición económica. En 2010 se registraron a un total de 4,434 personas como económicamente inactivas, de las cuales predominan la mujeres con el 76%, mientras que en los hombres, sólo el 24% se mantenía inactivo, siendo las mujeres el grupo con mayor vulnerabilidad.

4.5 Área de Reserva

El municipio de Soyaniquilpan de Juárez, no cuenta con Área de Reserva Territorial definida, por lo que el presente documento se constituirá como el primer criterio para definir dicha área, en el Plan de Ordenamiento Territorial que se elaborará una vez finalizado este Atlas.

4.6 Estructura urbana

4.6.1 Equipamiento de transporte

El municipio de Soyaniquilpan de Juárez cuenta con una longitud de carreteras al 2010 de 59 kilómetros, de los cuales 13 km son de la red carretera federal de cuota, y 46 km de Alimentadoras estatales. Las principales vías de comunicación son la Autopista México-Querétaro, que cruza la parte sur del municipio en un fragmento de 7 km; de igual manera en la porción sureste el municipio es atravesado por el Arco Norte en un segmento de 6 km, ambas vialidades federales de cuota; así mismo la carretera estatal Jilotepec-San Agustín cruza en municipio, siendo estas las tres las vías de comunicación terrestre más importantes para la demarcación.

4.5.2 Equipamiento de servicios

Para el año 2010, en el Municipio había 43 Escuelas en total, de las cuales de Preescolar son 18, de Primaria 15, de Secundaria 9, de Educación Media Superior 1 y de Superior 0. Hay también 4 Bibliotecas.

En lo que se refiere a Unidades de comercio y abasto, hay un Mercados, 3 Tianguis, una oficina postal, un establecimiento de hospedaje registrados, 44 unidades de comercio al por mayor, 89 unidades de comercio al por menor y 29 unidades de alojamiento temporal y preparación de alimentos y bebidas,

Las actividades industriales en el municipio se desarrollan en 2 rubros la minería con 2 bancos de materiales de extracción de tezontle, 19 industrias manufactureras y una vidriería y cancelería donde fabrican productos de herrería.

4.5.3 Equipamiento de salud

En el municipio de Soyaniquilpan hay 5 unidades médicas que engloban un total de 20 médicos. A continuación se presentan los datos de equipamiento de salud por institución.

Equipamiento de Salud	Unidades
Derechohabiencia	
Población derechohabiente a servicios de salud, 2010	8946
Población derechohabiente a servicios de salud del IMSS, 2010	2080
Población derechohabiente a servicios de salud del ISSSTE, 2010	805
Población sin derechohabiencia a servicios de salud, 2010	2805
Familias beneficiadas por el seguro popular, 2010	561
Población derechohabiente a instituciones públicas de seguridad social, 2011	4554
Población usuaria de instituciones públicas de seguridad y asistencia social, 2011	12289
Consultas	
Consultas por médico, 2011	2979.3
Consultas por unidad médica, 2011	11917.2

Equipamiento de Salud	Unidades
Personal	
Personal médico, 2011	20
Personal médico en el IMSS, 2011	0
Personal médico en la Secretaría de Salud del Estado, 2011	20
Personal médico en otras instituciones, 2011	0
Unidades Médicas	
Unidades médicas, 2011	5
Médicos por unidad médica, 2011	4
Unidades médicas en el IMSS, 2011	0
Unidades médicas en el IMSS-Oportunidades, 2011	No disponible
Unidades médicas en el ISSSTE, 2011	0
Unidades médicas en la Secretaría de Salud del Estado, 2011	5

Tabla 4.10 Equipamiento de Salud en el Municipio de Soyaniquilpan, 2011. Fuente: IGECEM, Boletín de Estadísticas Vitales, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Finanzas, 2011.

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

El territorio municipal de Soyaniquilpan de Juárez se encuentra sujeto a diferentes fenómenos que generan riesgo, tales como inundaciones, ondas cálidas y ondas gélidas. Los tipos de desastres anteriores tienen como origen un fenómeno natural, por lo que se les suele llamar desastres naturales, aunque en su desarrollo y consecuencias tiene mucho que ver la acción del hombre. Los distintos fenómenos y los desastres que éstos generan se tratarán con mayor detalle más adelante; el propósito de esta enunciación inicial es resaltar la amplitud de la problemática y la gravedad de sus posibles consecuencias.

El Ayuntamiento de Soyaniquilpan, ha establecido en el pasado sólidas estrategias de protección civil; con frecuencia las medidas de protección han sido rebasadas por las fuerzas de la naturaleza, pero en todos los casos ha logrado sobreponerse a los embates de las manifestaciones de fenómenos destructivos. Por ello se ha llegado a reconocer que, para enfrentar mejor los efectos de estas fuerzas, es necesario adoptar un enfoque global, que cubra los aspectos científicos y tecnológicos relativos al conocimiento de los fenómenos y al desarrollo de las medidas para reducir sus efectos, y que en base a ellos prevea esquemas operativos para apoyar a la población con medidas organizativas de la población misma, para que esté preparada y responda de manera apropiada al embate de los fenómenos peligrosos. A partir de la administración encabezada por el Lic. Gabriel Ruiz Martínez, se ha establecido que se debe dar atención a los fenómenos destructivos desde la fase de prevención, que se refiere a las acciones tendientes a identificar los riesgos y a reducirlos antes de la ocurrencia del fenómeno.

Este trabajo corresponde a la parte técnico-científica del conjunto de tareas que tienden a la reducción de los impactos de los desastres a nivel municipal. Un requisito esencial para la puesta en práctica de las acciones de protección civil es contar con diagnósticos de riesgos, o sea, conocer las características de los eventos que pueden tener consecuencias desastrosas y determinar la forma en que estos eventos inciden en los asentamientos humanos, en la infraestructura y en el entorno. El proceso de diagnóstico implicó la determinación de los escenarios o eventos más desfavorables que pueden ocurrir, así como de la probabilidad asociada a su ocurrencia. Los escenarios incluyeron el otro componente del riesgo, que consiste en los efectos que los distintos fenómenos tienen en los asentamientos humanos e infraestructura expuesta a eventos. Debido a que los riesgos son complejos porque implican la interacción dinámica entre los fenómenos naturales, el entorno, y la cambiante sociedad, este Atlas de Riesgo debe actualizarse permanentemente.

Antes de adentrarse en el estudio individual de cada riesgo, es importante explicar algunos conceptos generales sobre la medición del riesgo. El riesgo se calcula en función de una formulación probabilística, que en su planteamiento más general se expresa de la manera que se describe a continuación.

Riesgo = Peligro × Vulnerabilidad; R = P × V

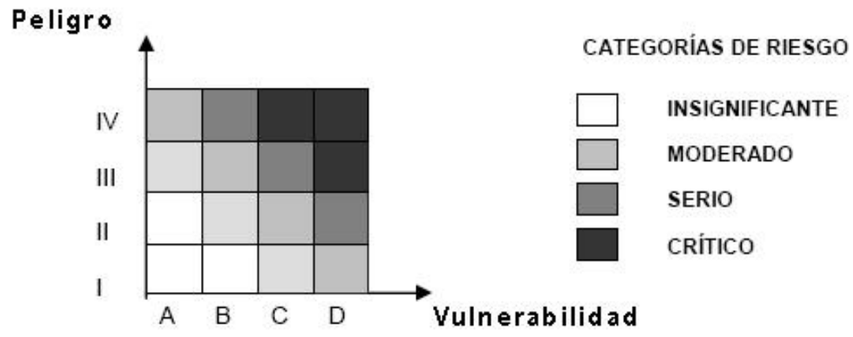


Figura 5.1 Representación gráfica de la medición del Riesgo en función del peligro y vulnerabilidad

Se llama peligro P, a la probabilidad de que se presente un evento de cierta intensidad, tal que pueda ocasionar daños en un sitio dado. Se llama vulnerabilidad V, a la propensión de estos sistemas a ser afectados por el evento; la vulnerabilidad se expresa como una probabilidad de daño. Finalmente, el riesgo es el resultado de los dos factores. En este esquema, el riesgo se expresa como un resultado posible de un evento; ya que P y V son dos probabilidades,

En este Atlas, para determinar las probabilidades de ocurrencia de distintos fenómenos, se obtuvieron las estadísticas sobre la incidencia de los mismos. Los servicios meteorológicos, sismológicos, etc., realizan el monitoreo y llevan estadísticas de los fenómenos, de las que se pueden derivar estimaciones de probabilidad de ocurrencia de intensidades máximas. En muchos casos las estadísticas cubrieron lapsos mucho menores que aquellos necesarios para determinar los periodos de retorno útiles para diagnóstico de riesgo, por lo que se aplicaron periodos de retorno.

El concepto de período de retorno en términos probabilísticos no implica que el proceso sea cíclico, o sea que deba siempre transcurrir cierto tiempo para que el evento se repita. Un periodo de retorno de 10 años para cierto evento significa, por ejemplo, que en 50 años de los que hay datos históricos, el evento en cuestión se ha presentado cinco veces, pero que en un caso pudieron haber transcurrido 2 años entre un evento y el siguiente, y en otro caso, 20 años. Como se verá en los apartados siguientes, para algunos de los fenómenos no es posible representar el peligro en términos de periodos de retorno, porque no ha sido posible contar con la información suficiente para este tipo de representación; en estos casos, se recurrió a escalas cualitativas, buscando las representaciones de uso más común y de más utilidad para las aplicaciones usuales en el tema específico.

Para la representación de los resultados de los estudios de peligro, se utilizaron mapas a distintas escalas, en los que se identifican los tipos e intensidades de los eventos que pueden ocurrir. Los mapas se realizaron en software especializado denominado Sistemas de Información Geográfica, ya que estos permiten representaciones graficas mucho más completas y ágiles de las distintas situaciones. Además, estos sistemas facilitaran la actualización oportuna de las representaciones del riesgo necesarias para cada caso.

El Atlas de Riesgos del Municipio de Soyaniquilpan pretende proporcionar la información más completa posible sobre los peligros y sobre la incidencia de los fenómenos a nivel local. El presente documento tiene el propósito principal de difundir conocimientos sobre los problemas que se presentan en el municipio y de proporcionar una visión de conjunto sobre la distribución geográfica de los riesgos, en el entendido de que los estudios de riesgo deberán ser producto de esfuerzos específicos para cada tipo de fenómeno y para cada localidad. Así, el esquema de este documento, representa no sólo la información de los peligros, sino también la de los riesgos que se derivan de las condiciones locales específicas y de la situación de población y de infraestructura expuesta a los fenómenos potencialmente desastrosos. Este Atlas será el instrumento operativo base para los programas de protección civil y los planes de emergencia.

5.1 Vulcanismo

El vulcanismo es un conjunto de fenómenos geológicos resultantes de la expulsión de materiales desde la corteza terrestre a la superficie, debido a la presión y posterior liberación por medio de fisuras en las rocas. Los fenómenos asociados a vulcanismo abarcan desde fluidos de lava, hasta caída de ceniza, incluyendo flujos piroclásticos, caída de materiales como tefra y bombas, lahares, y deslizamientos, por mencionar sólo los más representativos.

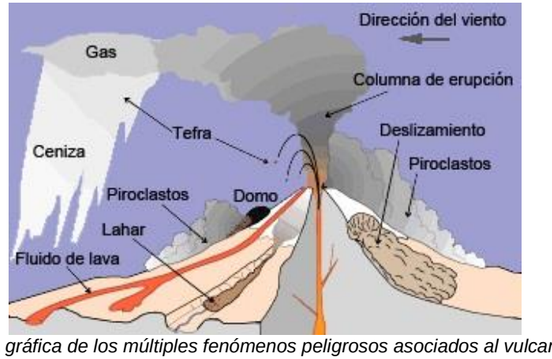


Figura 5.2 Representación gráfica de los múltiples fenómenos peligrosos asociados al vulcanismo. Fuente: U.S.G.S.

El Municipio de Soyaniquilpan se encuentra en el campo volcánico del Eje Neovolcánico Transversal, por lo que el territorio municipal es susceptible a la aparición de nuevos volcanes, o a la erupción de los volcanes activos cercanos. Sin embargo, no es posible determinar mediante ningún método, la aparición de un nuevo volcán en una zona geográfica dada, ni predecir un evento eruptivo de un volcán activo. Por otro lado, antes de una erupción, los volcanes presentan disturbios precursores que si se detectan y analizan a tiempo permiten anticiparse a las erupciones y prevenir a las comunidades en riesgo implementando planes de emergencia y medidas de mitigación.

Para la elaboración del mapa de peligro volcánico del Municipio de Soyaniquilpan, se siguió la metodología del CENAPRED, que en resumen consiste en lo siguiente:

1. Identificación de volcanes activos a menos de 100 km de la zona de interés

2. Reconstrucción del comportamiento eruptivo de los volcanes detectados
3. Determinar las amenazas volcánicas, e identificar si afectan el área de interés

Se detectó un volcán activo a menos de 100 Km de distancia del Municipio de Soyaniquilpan, el Jocotitlán, del cual se realizó una investigación documental para obtener los registros relacionados con peligros. Los resultados se presentan a continuación.

Peligro por vulcanismo

Al localizarse dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM); el municipio de Soyaniquilpan de Juárez mantiene una relativa cercanía con la mayor concentración de volcanes activos de México. El vulcanismo en esta región fisiográfica es muy variado, desde actividad volcánica efusiva donde los depósitos volcánicos corresponden a derrames de lava, hasta erupciones altamente explosivas con predominio de depósitos piroclásticos (flujos piroclásticos, depósitos de caída y oleadas piroclásticas). A lo largo de todo el CVMT existen diversos tipos de edificios volcánicos: desde Estratovolcanes hasta Campos Volcánicos Monogenéticos.

En la zona del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez no se tiene la presencia de aparatos volcánicos activos. Entre sus elevaciones destacan el Cerro de Xidenxi, El Ahorcado, Las Cruces, Pelón, Colorado, Los Caballos, El Paye, Grande, La Liga y el Cerro de San Agustín, aparatos volcánicos que son considerados “inactivos”, por lo cual el nivel de riesgo volcánico para el municipio es bajo, pero se tiene la influencia de caída de ceniza del Volcán Jocotitlán, localizado a una distancia de 39 kilómetros en dirección aproximadamente SW.

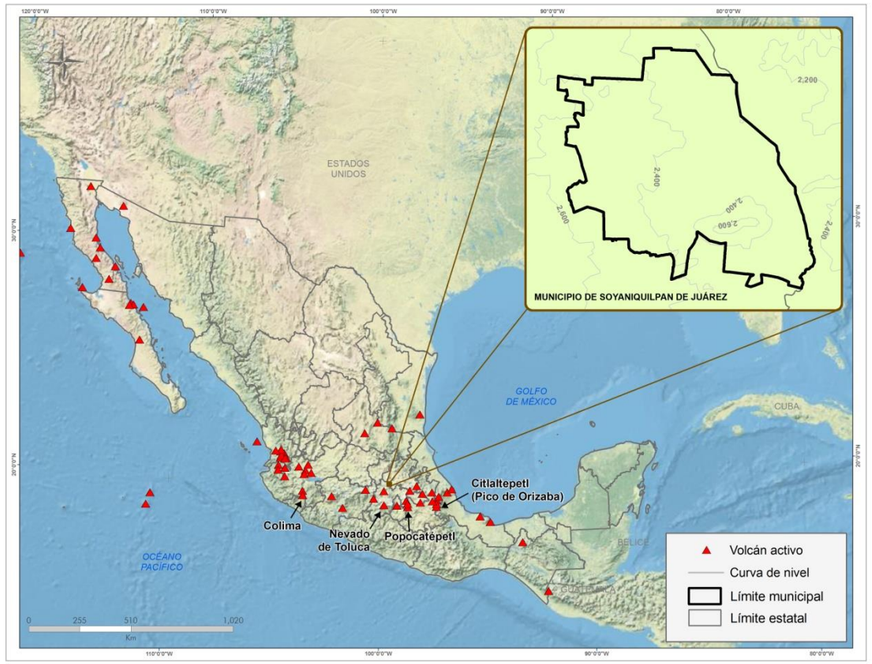


Figura 5.3 Localización de Volcanes Activos cercanos al Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: CENAPRED.

A continuación se describen las características y aspectos vulcanológicos particulares del Volcán Jocotitlán, considerado como un volcán activo a partir de los datos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Está calificado como un volcán de categoría 2; es decir, se consideran de peligro medio a los volcanes que hayan producido erupciones con un Índice de Explosividad Volcánica (VEI por sus siglas en inglés) igual o mayor a tres con un tiempo de recurrencia mayor de 500 pero menor que 2,000 años, o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 500 años.

Se hace mayor hincapié en el Volcán Jocotitlán debido a la cercanía con el Municipio y a los periodos de recurrencia observados en él.

Volcán Jocotitlán

Soyaniquilpan no tiene aparatos volcánicos activos. Tanto el Cerro San Agustín como Cerro Grande se encuentran “inactivos”, por lo cual el nivel de riesgo volcánico es bajo, pero se tiene la influencia del volcán Jocotitlán, localizado a una distancia de 39 kilómetros.

Esta estructura volcánica forma parte del Cinturón Volcánico Transmexicano y se localiza en los límites del sector central y oriental del CVM. Se encuentra a una distancia aproximada de 370 km respecto a la Trinchera marina mesoamericana, ca, 100km al N del frente del arco volcánico y a 50 km al WSW del anticlinal de Tzitzio, dentro de una zona tectónicamente activa.

Cuenta con una altitud de 3,952 msnm, y es considerado como un estratovolcán que tuvo erupciones importantes que afectaron considerablemente su entorno, desde el Pleistoceno tardío hasta el Holoceno. Su actividad presentó periodos de efusividad, que finalizaron con una importante acción explosiva. Sus etapas eruptivas han sido divididas de acuerdo con tres importantes episodios explosivos: 1) Jocotitlán Temprano; 2) Jocotitlán Medio y 3) Jocotitlán Reciente.

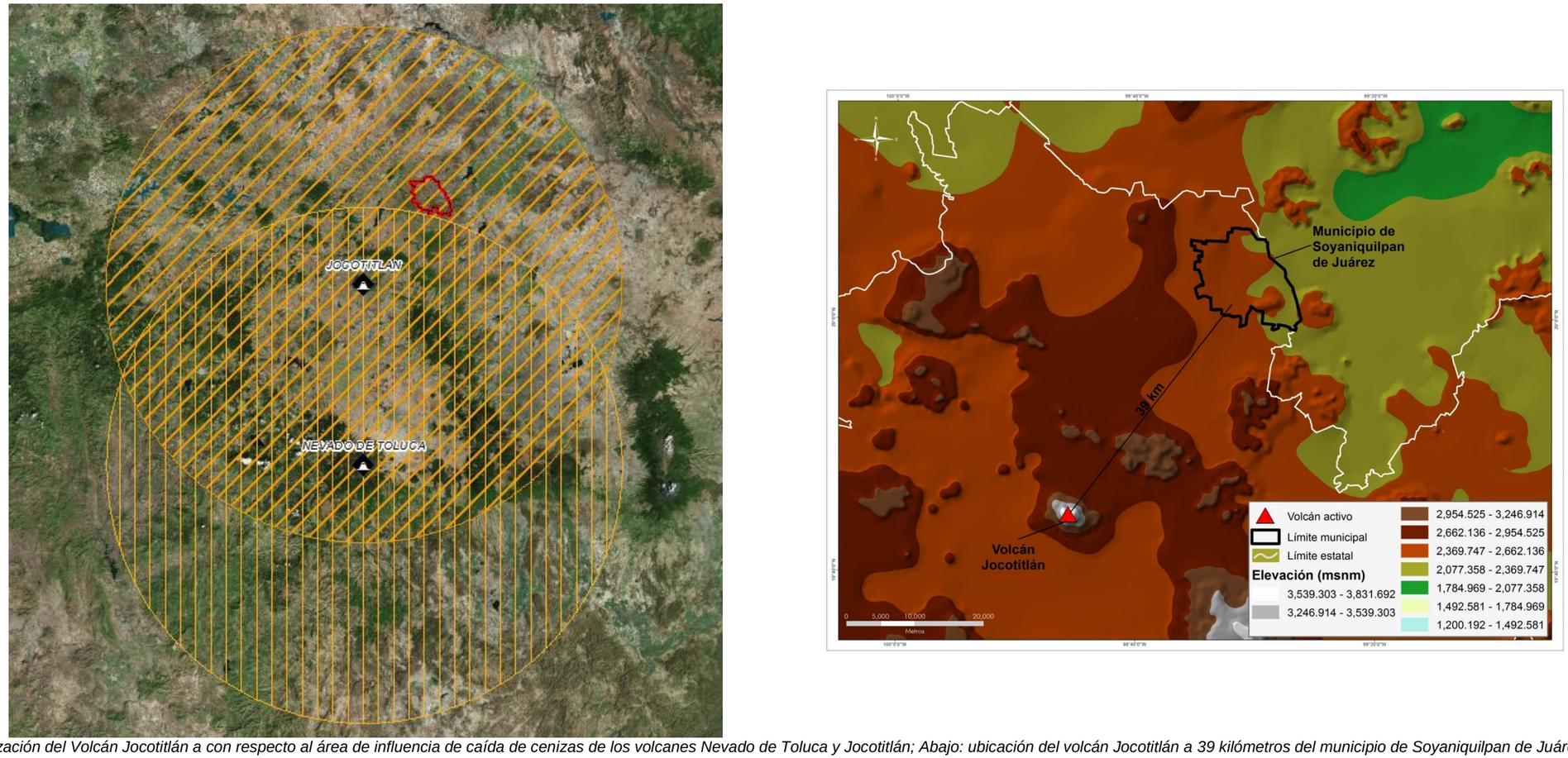


Figura 5.4 Arriba: Localización del Volcán Jocotitlán a con respecto al área de influencia de caída de cenizas de los volcanes Nevado de Toluca y Jocotitlán; Abajo: ubicación del volcán Jocotitlán a 39 kilómetros del municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Elaboración Propia con datos del SGM.

En caso de una futura erupción de gran magnitud y de acuerdo con la dirección predominante del viento, podrían verse afectados por caída de cenizas los poblados cercanos a la zona. Una erupción de esas magnitudes también podría afectar al Bajío, región donde se desarrolla una importante producción agrícola e industrial.

El daño principal que causa la ceniza en las poblaciones se deriva de su acumulación en los techos, pudiendo provocar su colapso, lo que puede evitarse removiendo la ceniza acumulada, teniendo cuidado de no arrojarla al drenaje. Un depósito de ceniza y lapilli seco de 10 cm, puede pesar entre 20 y 100 kg/m^2.

Vulcanismo histórico

Por otro lado, se presenta la distribución y delimitación de estructuras y depósitos volcánicos asociados a ellos. Posteriormente se clasifico en función de su composición basáltica, andesítica y riolítica. A partir de elementos morfométricos se delimitaron cada una de las morfologías volcánicas. Se observan dos tipos de orígenes morfológicos: conos de escoria del Campo Volcánico Jilotepec; depósitos de flujos piroclásticos del Campo Volcánico Jilotepec, del Volcán Santa María Macua y otros indeterminados; y también un Domo volcánico del Campo Volcánico Jilotepec (Cerro San Agustín).

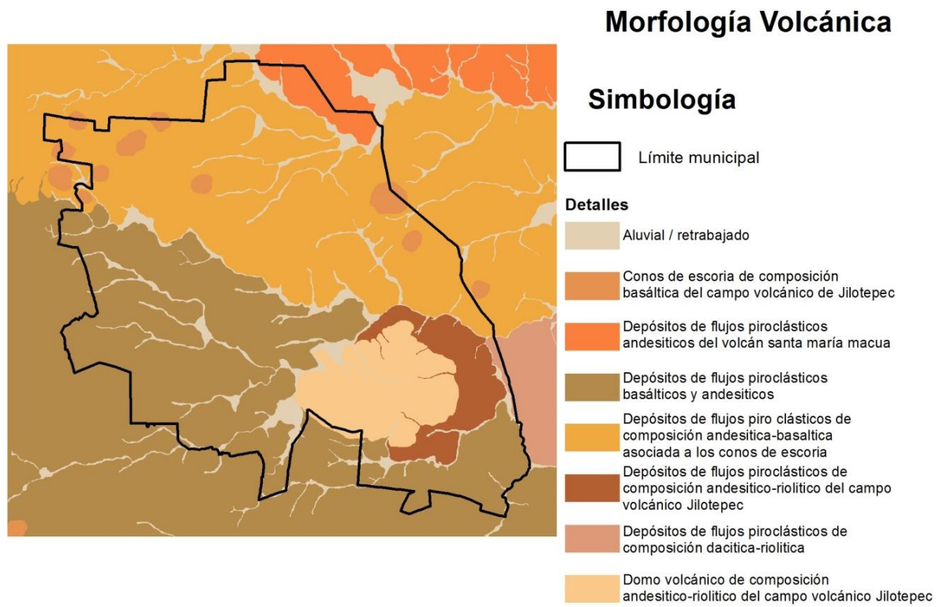


Figura 5.5 Morfología volcánica del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Elaboración Propia.

Vulnerabilidad y riesgo por vulcanismo

La vulnerabilidad a fenómenos volcánicos para el municipio de Soyaniquilpan es media, debido a que la economía y rutas generales de abastecimiento de alimentos, agua y energéticos están interconectadas con la Ciudad de México. Un evento al que toda la ciudad incluyendo el área metropolitana, podría dañar la economía, es el cierre del Aeropuerto Benito Juárez por un fenómeno de exhalación de cenizas. De igual manera, los sistemas primarios hidráulicos, de transporte y hospitales podrían dejar de funcionar adecuadamente, afectando a toda la población de la cuenca del Valle de México. Es con base a lo anterior, que se estimó la vulnerabilidad como media para este municipio.

Para el Municipio de Soyaniquilpan, se estima que el riesgo por vulcanismo es **MUY BAJO**, debido a las siguientes consideraciones:

- Media vulnerabilidad a los fenómenos volcánicos debido una posible afectación a las actividades económicas (por ej., un eventual cierre del aeropuerto de la Ciudad de México).
- Peligro muy bajo debido a la inactividad reciente del Volcán Jocotitlán.

5.2 Sismos

Un sismo o temblor es una sacudida del terreno que se produce debido a una súbita liberación de energía por reacomodos de materiales de la corteza terrestre que superan el estado de equilibrio mecánico. La litosfera está dividida en varias placas, cuya velocidad de desplazamiento es del orden de varios centímetros por año. En los límites entre placas, donde éstas hacen contacto, se generan fuerzas de fricción que impiden el desplazamiento de una respecto de la otra, generándose grandes esfuerzos en el material que las constituye. Si dichos esfuerzos sobrepasan la resistencia de la roca, ocurre una ruptura violenta y la liberación repentina de la energía acumulada. Desde el foco (o hipocentro), ésta se irradia en forma de ondas sísmicas, a través del medio sólido de la Tierra en todas direcciones. El eje Neovolcánico Transversal, y por extensión el Municipio de Soyaniquilpan, se encuentra afectado por la interacción de dos placas tectónicas.

Los sismos no pueden predecirse; no existe un procedimiento confiable que establezca con claridad la fecha y el sitio de su ocurrencia, así como el tamaño del evento. Sin embargo, los sismos se presentan en regiones bien definidas a nivel regional y se puede elaborar una estimación de las intensidades máximas esperadas, en función de los antecedentes históricos y la geología local. La sismicidad se refiere al grado de susceptibilidad de un área a presentar sismos, lo cual a su vez está asociado a ciertas condiciones geológicas, tales como posición con respecto a las márgenes de las placas geológicas.

La sismicidad es un factor importante tanto para los estudios de fracturamiento y hundimiento del subsuelo como para evaluar la estabilidad de un talud y/o ladera. Los sismos inducen movimientos de todo tipo en las laderas y taludes (dependiendo de las características de los materiales presentes, de su intensidad, magnitud y distancia del epicentro) generando desde “graneo” y desprendimientos de bloques, hasta el deslizamiento de grandes masas de suelo o rocas, como flujos de tierra y avalanchas de roca. En el caso de los taludes inestables la influencia de la sismicidad se manifiesta como una fuerza que casi siempre se considera horizontal, actúa por periodos cortos y cambia de signo o sentido con una frecuencia que corresponde a la del sismo. Esto es un factor que se debe considerar para los análisis de taludes inestables.

Peligro por sismicidad

Los sismos que se presentan en la siguiente figura provienen de dos principales zonas: la primera en las Costas del Pacifico, con sismos provocados por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Norteamericana, y la segunda en la parte centro del país, con sismos intraplaca que se forman dentro del continente y son generados por la dinámica de fallas activas.

Figura 5.6 Localización de Sismos Históricos y los principales sistemas de falla dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano. Fuente: Gómez-Tuena, 2005.

Dentro del municipio no se tienen evidencias claras de una zona altamente sísmica. Sin embargo, por sus características geológicas y su cercanía y/o relación con sistemas de fallas activas, hacia el extremo sur se considera una zona con nivel de riesgo sísmico bajo medio; dentro del municipio se tiene localizado un epicentro con una magnitud de 3.3 en la Escala de Ritcher a una profundidad de 8 km ocurrido el 29 de Marzo de 1998, con base en la información del Servicio Sismológico Nacional (SSN); además de otros 3 epicentros cercanos en un radio de 15 kilómetros con magnitudes menores a la referida y a una profundidad de 4 kilómetros.

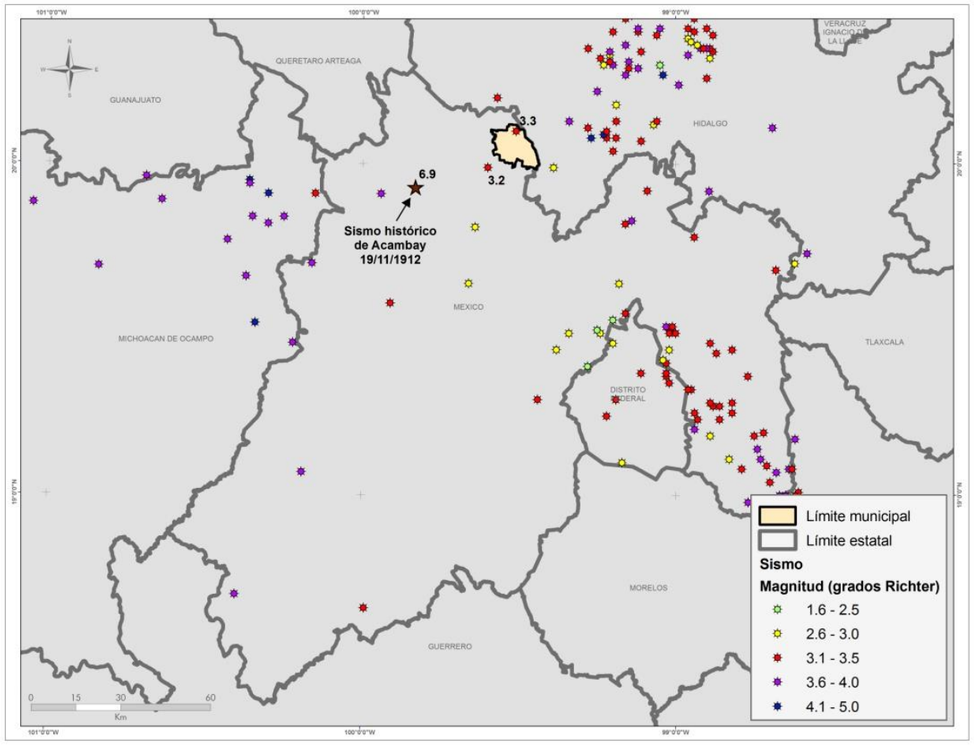


Figura 5.7 Localización de Epicentros dentro del Estado de México y Distrito Federal dentro del periodo de 2006-2014, y Localización del sismo histórico de Acambay en el año de 1912. Fuente: Catalogo del Servicio Sismológico Nacional (SSN).

Sismicidad Histórica

En el municipio de Soyaniquilpan de Juárez no se tienen registros de sismos de gran magnitud, no obstante, hacia la parte noreste se tiene registrado un epicentro con magnitud de 3.3 ocurrido en Marzo de 1998.

Es conveniente destacar que a 32 kilómetros del Municipio, el 19 de Noviembre de 1912 ocurrió un sismo de gran intensidad con ruptura superficial en la zona de Acambay. Este tuvo una magnitud aproximada de 7° en escala de Richter. Su epicentro estuvo cercano a la población de Acambay, con una intensidad de Mercalli que alcanzó hasta el grado X en varios lugares a lo largo del Graben de Acambay; este provocó: 1) desniveles de hasta 50cm en caminos y canales, que son

interpretados como escarpes; 2) grietas casi continuas con dirección aproximada E-W, desde las Lagunas de Huapango hasta el Río Lerma, pasando al norte de Acambay, Tixmadejé y San José; 3) derrumbes parciales y totales en casas y templos de Acambay, Tixmadejé, El Oro y algunos otros poblados vecinos; 4) la muerte de 161 personas; y, 5) la destrucción total o parcial de varios pueblos en la zona.

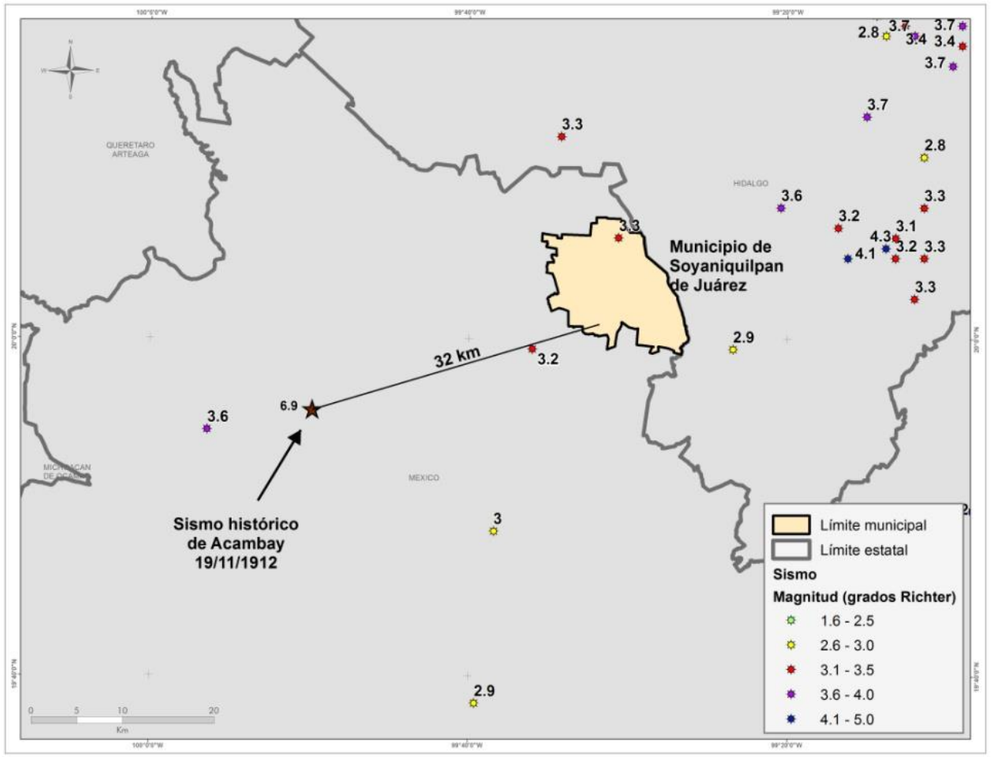


Figura 5.8 Localización del epicentro en la Zona de Acambay (1912) y su cercanía con el Municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: Elaboración propia.

En 1979 se produjo una serie de 90 eventos sísmicos en la zona oeste del graben, ocurriendo el terremoto principal el 22 de Febrero de 1979, con una magnitud de 5.3 y el epicentro cercano al municipio de Maravatio.

La sismicidad es un factor importante para evaluar la estabilidad de un talud y/o ladera. Los sismos inducen movimientos de todo tipo en ellos (dependiendo de las características de los materiales presentes, de su intensidad, magnitud y distancia del epicentro) generando desde “graneo” y desprendimientos de bloques, hasta el deslizamiento de grandes masas de suelo o rocas, como flujos de tierra y avalanchas de roca.

Además, pueden activar algunos procesos de deslazamientos que se encontraban en condiciones cercanas al equilibrio límite. En los materiales finos y sueltos (arenas-limos) se pueden presentar problemas de licuación donde, al encontrarse en estado saturado, experimentan esfuerzos cortantes anómalos y súbitos por causa de las ondas sísmicas, aumentando las presiones intersticiales (por falta de drenaje) hasta los valores de la presión total existente, anulándose prácticamente la presión efectiva y haciendo que los granos dejen de estar en contacto, desapareciendo la resistencia al corte y comportándose el material como un líquido. Esto llega a dar lugar a movimientos verticales y horizontales de su masa, que se traducen en deslizamientos para el caso de laderas y taludes. En el caso de los taludes inestables, la influencia de la sismicidad se manifiesta como una fuerza que casi siempre se considera horizontal, actúa por periodos cortos y cambia de signo o sentido con una frecuencia que corresponde a la del sismo. Esto es un factor que se debe considerar para los análisis de taludes inestables.

La fuerza por sismo queda definida como:

$$F_S = Cw$$

Donde W representa el peso del macizo sobre el cual se considera aplicado el empuje sísmico y la constante “c” corresponde a la proporción de la aceleración inducida por el sismo respecto a la gravedad (g).

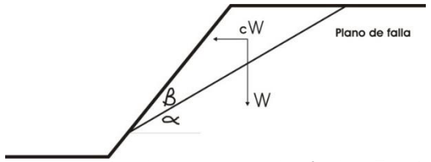


Figura 5.9 Talud con las componentes del peso y empuje sísmico. Fuente: Carlos Valerio, 2004.

El coeficiente c se obtiene de las Cartas de Regionalización Sísmica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) donde se presentan los valores de la aceleración horizontal máxima que puede ocurrir en un sitio y con un periodo de retorno dados.

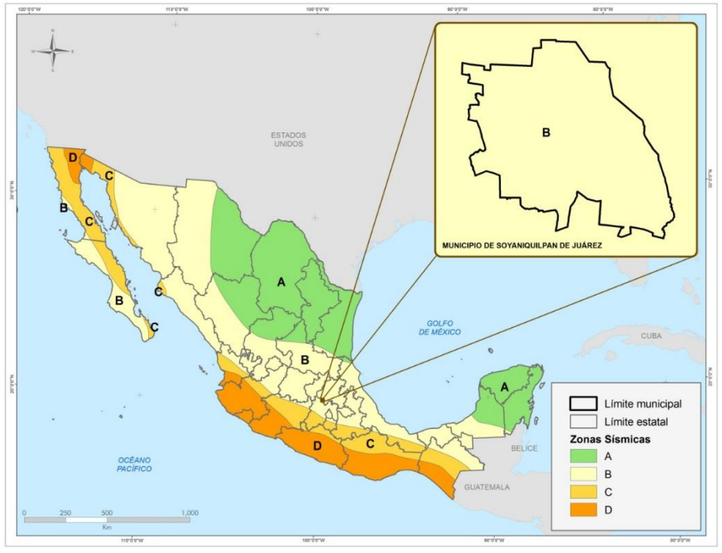


Figura 5.10 Carta de regionalización sísmica de la República Mexicana. Fuente: CFE, 1993.

De acuerdo con la zonificación sísmica la zona de estudio se encuentra en la zona B.

Zona	Suelo	c	Descripción
B	I	0.16	Terreno firme, tepetate, arenisca compacta
	II	0.20	Arenas no cementadas, arcillas de mediana rigidez
	III	0.24	Arcillas blandas muy compresibles

Tabla 5.1 Zona "B" Zonificación sísmica. Fuente: CFE

Regiones Sismotectónicas

Se tomaron como referencia los catálogos instrumentales e históricos, para la división del Territorio de la República Mexicana en unidades o regiones sismotectónicas. Esta regionalización no es en ningún modo única, pero proporciona una división coherente y sistematizada que incorpora la mayor parte de los conocimientos sobre características generales de los sismos en diferentes partes del país. Considera además, el potencial destructivo de los eventos más importantes que han ocurrido en el pasado. Esta regionalización se destina a ser utilizada como una herramienta en la definición de una zonificación de primer orden del riesgo sísmico de México.

Criterios de Selección

Se subdividieron al territorio de México en 19 Regiones principales considerando:

a) La localización hipocentral de eventos de características similares;
b) Las características tectónicas comunes de la zona;
c) Los mecanismos focales y/o patrones de fallamiento;
d) Las características principales de la liberación de energía de los sismos dentro de cada región; y,
e) La historia sísmica de cada región.
f) Un criterio adicional fue el deducir a un mínimo el número de regiones primarias, de las cuales pudiese partir para posibles subdivisiones futuras más refinadas.
g) Los mecanismos focales y las características de fallamiento fueron seleccionados basados en mecanismos compuestos (usando réplicas principalmente), microsismicidad (para determinar lineamientos) y actividad de enjambres.

El uso de estos criterios de selección permitió generar una regionalización del país de primer orden, sin incluir sesgos ocasionados por las variaciones en cobertura sismográfica tanto en tiempo como en espacio.

En el caso del Municipio de Soyaniquilpan de Juárez corresponde la Región MVB, la cual comprende eventos que ocurren en la parte somera de la placa continental (h<15 km), asociados a esfuerzos tensiónales. Estos mínimos esfuerzos están relacionados con el CVTM. Existen sin embargo, algunos sismos localizados muy próximos a los eventos de falla normal (régimen de tensión), que muestran fallamientos inversos. Estos diferentes tipos de fallamiento pueden deberse a un balance entre los esfuerzos inducidos por la gravedad en las altas topografías del CVTM y los transmitidos por la interacción de las placas.

Las profundidades de los sismos en esta zona (MVB) son generalmente menores a los 15 km. Los sismos ocurridos el 19 de Noviembre de 1912 (M_s=6.4) y el 29 de Junio de 1935 (Ms=6.9) son los mayores en el siglo pasado. Entre los sismos ocurridos en el siglo XIX, el evento del 11 de Febrero de 1875, ubicado de manera cercana a la Ciudad de Guadalajara, es uno de los que requieren especial atenuación. A este evento se le ha estimado una magnitud de 7.1, y debido tanto a la proximidad con esta ciudad como a su poca profundidad, el riesgo relacionado con otro evento similar debe considerarse con cuidado.

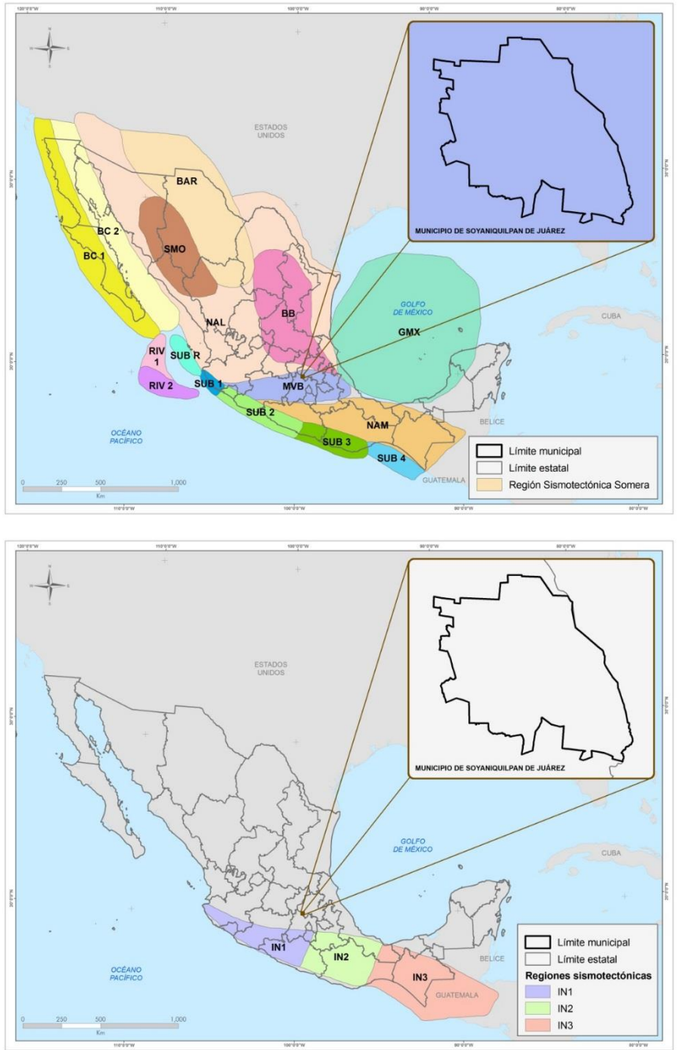


Figura 5.11 Mapa de Zonificación Simotectónica de México de acuerdo a la propuesta de Zuñiga et al., (1997). Arriba Regiones correspondientes a sismos de profundidad somera. Abajo: Regiones de sismos de profundidad intermedia. Fuente: Mendoza-Ponce, 2012.

Mapas de Aceleraciones para periodos de Retorno de 10, 100 y 500 años.

En estos mapas se da a conocer la distribución de las intensidades en términos de aceleración del terreno asociadas a periodos de retorno. Aunque no directamente, dicha información es aplicable en la población con fines de protección civil, y constituye un elemento fundamental para especialistas en el diseño de nuevas construcciones y modificación o refuerzo de obras civiles existentes. Estos mapas están en función de la vida útil de la gran mayoría de las construcciones correspondientes a periodos de 10, 100 y 500 años. En ellos se muestran aceleraciones máximas en terreno firme para un periodo de retorno dado (tiempo medio, medido en años, que tarda en repetirse un sismo con el que se exceda una aceleración dada).

Para el caso del Municipio de Soyaniquilpan se tienen los siguientes valores:

A max (Gal*) para Tr = 10 años	A max (Gal*) para Tr = 100 años	A max (Gal*) para Tr = 500 años
11	27	135

**1Gal= 1 cm/s²*

Tabla 5.2 Valores de aceleración máxima del terreno, correspondientes a periodos de retorno de 10, 100 y 500 años. Fuente: CENAPRED, 2014.

Estos valores pueden servir para definir las ordenadas de diseño para edificaciones de poca altura (construcciones de uno o dos niveles ubicadas en suelo firme).

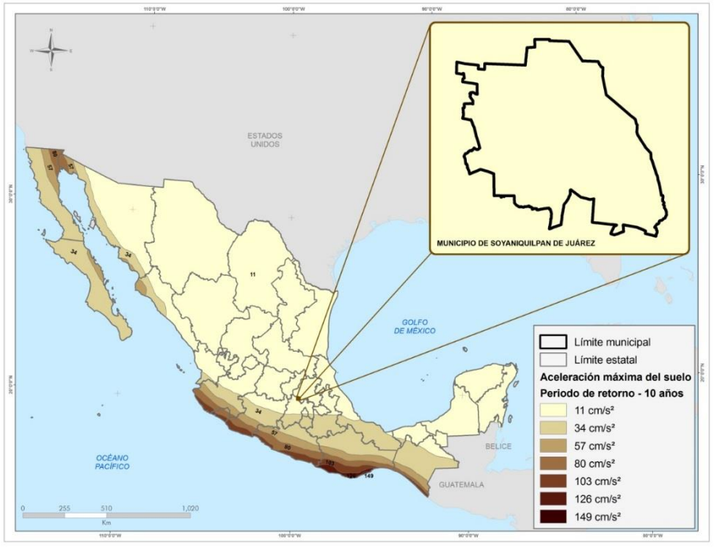


Figura 5.12 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 10 años. Fuente: CENAPRED.

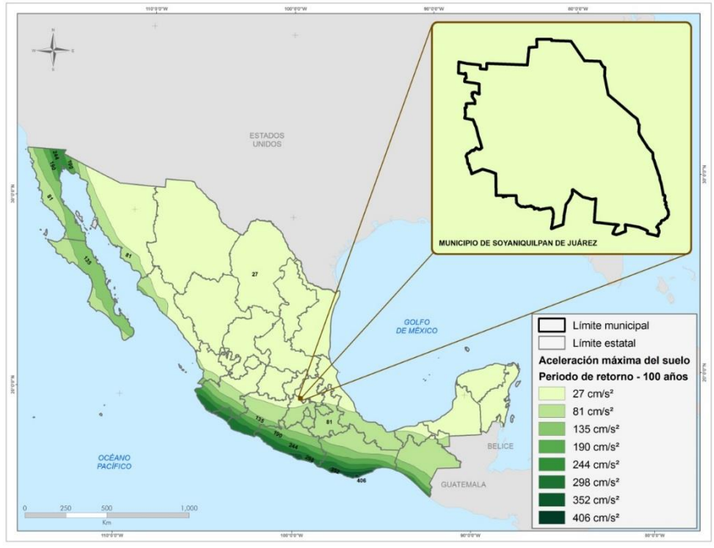


Figura 5.13 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 100 años. Fuente: CENAPRED.

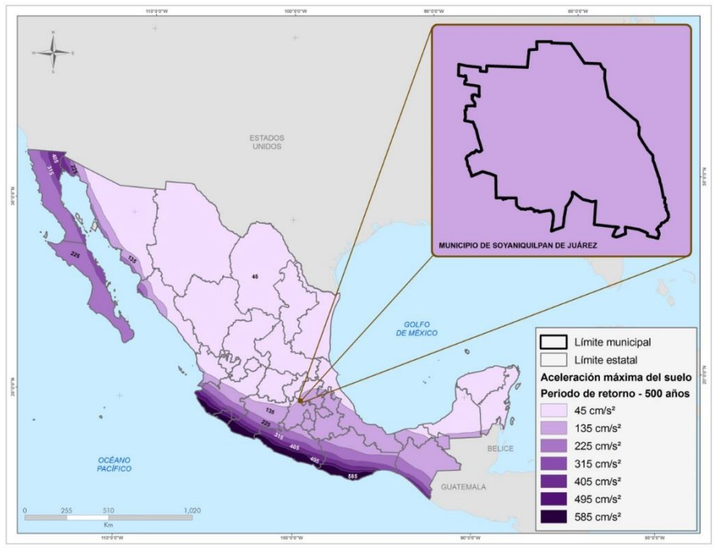


Figura 5.14 Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 500 años. Fuente: CENAPRED.

Zonificación del peligro sísmico por ondas sísmicas secundarias (V_S)

Ahora bien, la metodología de la CFE se basa en los registros históricos de epicentros sísmicos, por ello, no es suficiente para conocer cómo se comportaría el territorio de Soyaniquilpan en caso de un sismo, por lo que se procedió a utilizar la metodología del U.S. Geological Survey (USGS) para determinar las condiciones de sismicidad locales en relación a la topografía, la cual permite obtener mapas en base al promedio de velocidad de las ondas secundarias superficiales de hasta 30m de profundidad (Vs^{30}).

Las ondas sísmicas secundarias (V_S) son ondas en las cuales el desplazamiento es transversal a la dirección de propagación del sismo. Su velocidad es menor que la de las ondas primarias; debido a ello, aparecen en el terreno poco después que las ondas primarias. Sin embargo, las ondas secundarias son las que generan las oscilaciones durante el movimiento sísmico y las que producen la mayor parte de los daños.

En el caso específico de Soyaniquilpan, el coeficiente para derivar Vs^{30} fue el utilizado por Wald y Allen (2007) en las regiones tectónicamente activas y que poseen relieve topográfico dinámico. Este coeficiente se ha aplicado a todo México por el USGS, obteniendo una evaluación de primer orden de las condiciones sísmicas de la región. Esta metodología permite conocer el grado de aceleración del suelo al ocurrir un sismo, lo cual implica una zonificación de áreas con probabilidad de sufrir mayores daños que otras. Este modelo permite usos con aplicaciones prácticas relacionados con la probabilística y basadas en escenarios, aunque en este caso, solo se determina la velocidad promedio de propagación de la onda secundaria, en base al modelo predefinido determinado por el USGS.

Para la confección del mapa de sismicidad local del Municipio de Soyaniquilpan, se calculó la Vs^{30} con base en los rangos mostrados en la siguiente tabla (para las regiones activas tectónicas) que es la correlación directa entre Vs^{30} y pendiente topográfica. El método se ajusta a los valores de velocidad de corte vinculados al Programa Nacional de Reducción de Riesgos de Terremoto (límites NEHRP) Vs^{30} de la Federal Emergency Management Agency de Estados Unidos.

Clase	Rango Vs^{30} (m/s^2)	Rango de pendiente en zona tectónicamente activa (m/m)	Peligrosidad asociada
E	<180	<1.0E–4	Alta
	180–240	1.0E–4–2.2E–3	Alta
D	240–300	2.2E–3–6.3E–3	Media
	300–360	6.3E–3–0.018	Media
	360–490	0.018–0.050	Media
C	490–620	0.050–0.10	Baja
	620–760	0.10–0.138	Baja
B	>760	>0.138	Muy baja

Tabla 5.3 Resumen de Categorías NERPH Vs^{30} para rangos de pendientes

En general, se observa que las zonas con mayor peligro son las áreas planas. Esto se debe a que, si bien es una zona con poca actividad sísmica, la litología respondería con menor vigor a un eventual embate telúrico, provocando que los daños en la infraestructura fueran mayores.

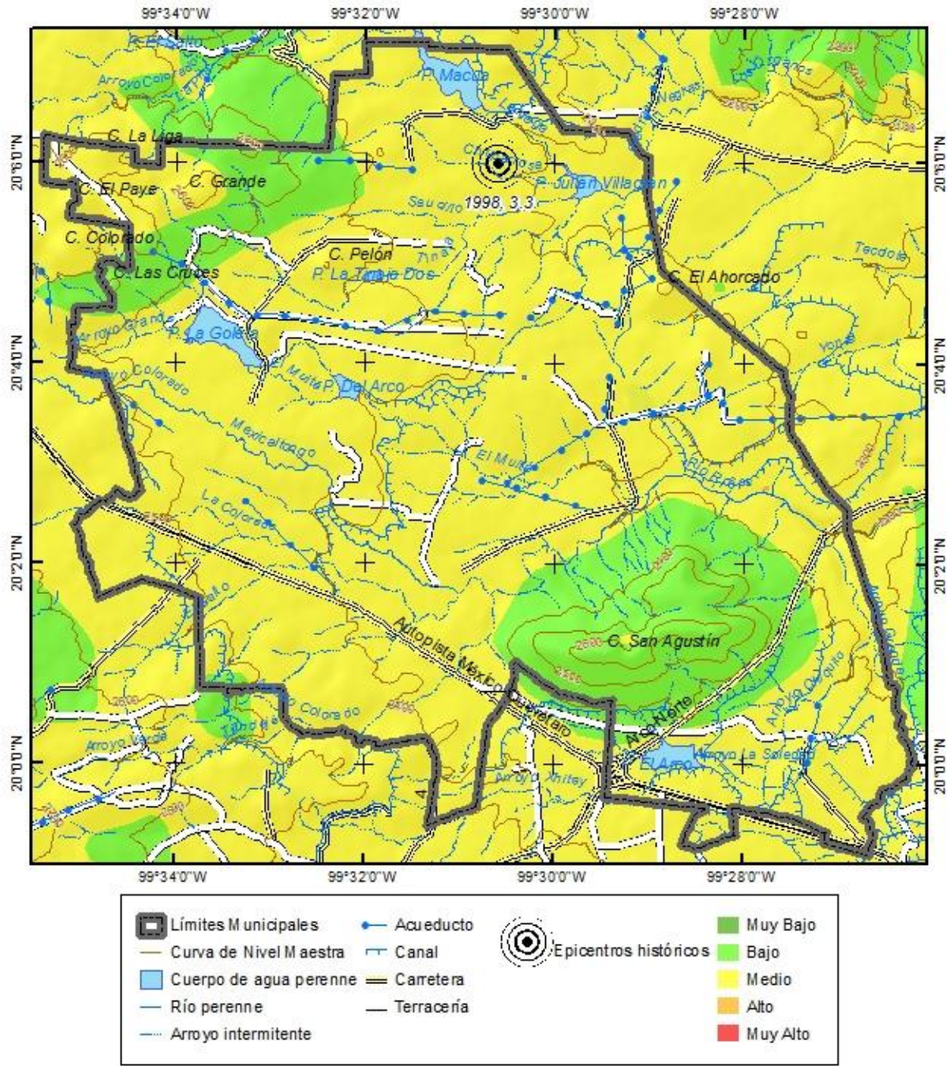


Figura 5.15 Zonificación del peligro sísmico en el municipio de Soyaniquilpan de Juárez. Fuente: USGS.

Vulnerabilidad sísmica de viviendas en la zona urbana

Se estableció un parámetro para estimar los posibles daños esperados en el Municipio de Soyaniquilpan, definido como índice de vulnerabilidad sísmica I_{sb}, y que se interpreta como el nivel de susceptibilidad de las viviendas a sufrir un daño en un escenario por un determinado coeficiente sísmico. Los datos se pasaron de intensidad sísmica a coeficiente sísmico para hacer más práctico su manejo y se estableció una variación discreta para hacerla corresponder a la zona sísmica B (a la que pertenece del municipio según la CFE).

Para la elaboración del presente análisis, se tomó como base la metodología de Ramírez de Alba, Pichardo-Lewenstein, Arzate-Cruz (2007) que propusieron un criterio para establecer la vulnerabilidad básica en términos del costo de reparación de las estructuras dañadas, enfocado a la aplicación por municipios en zonas de riesgo y compañías de seguros.

El índice de susceptibilidad de daños por sismo se define de acuerdo a la ecuación 1.

$$\mathbf{I_{sd} = V_b * T_e * E} \quad (1)$$

Donde

$\mathbf{I_{sd}}$ = Índice de susceptibilidad a daños por sismo

$\mathbf{V_b}$ = vulnerabilidad básica

$\mathbf{T_e}$ = factor de terreno blando

E = factor de tipología estructural y calidad de construcción

Cálculo de la vulnerabilidad básica (V_b)

Con el primer criterio, se pudo observar que para las intensidades más altas de IX en escala Mercalli modificada, se tiene un porcentaje de daños entre 15% y 65%; para intensidades moderadas de VIII entre 10% y 35%; y para intensidades relativamente bajas de VI se tiene entre 1% y 1.5% de estructuras dañadas. Para establecer el daño probable en función del coeficiente sísmico **c**, primero se recurre a relaciones que se han propuesto entre intensidad y aceleración, de esta manera la intensidad IX se relaciona con 500cm/seg^2; la intensidad de VIII con 350 cm/seg^2 y la de VI con 60cm/seg^2 . En este caso, el coeficiente sísmico corresponde a las aceleraciones del suelo, que para la zona B, la aceleración de respuesta es 3.5 veces la del suelo, esto por la forma de espectro de diseño, o sea, c= 0.21.

Para valores de c menores de 0.21 no se tienen datos por lo que se optó por un criterio simple (menor intensidad menor daño), es decir una recta que pasa por el origen hasta el valor correspondiente a 0.21 que es de 0.010 (zona B donde generalmente se manifiestan daños por sismos intensos ocurridos en zonas vecinas). De esta manera, se realizó la ecuación 2.

$$\mathbf{V_b = 0.0476c} \quad (2)$$

c = 0.21

$$\mathbf{V_b = 0.0476*0.21 = 0.009996}$$

Cálculo del factor de terreno blando (T_e)

El factor de terreno blando, T_e, se calcula con datos geológicos y topográficos, depende del coeficiente sísmico y de una variable que permita estimar si se pueden presentar amplificaciones de los efectos sísmicos debidos a las características del subsuelo, que se denomina T_b. La fórmula empleada por el método es la ecuación 3.

$$\mathbf{T_e = (1.67c + 1.37)*Tb + 1} \quad (3)$$

Para obtener el coeficiente sísmico, **c**, (terreno duro) se recurrió a lo propuesto en el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, o sea, 0.14 para la zona B.

La relación T_B se define como el área de terreno con posibilidades de incrementar los efectos sísmicos al área total. El tabulado de valores propuesto por el método se enlista a continuación:

Características del terreno	T_b
Predominio de terrenos altos con valles aluviales antiguos, topografía uniforme.	0.00
Predominio de terrenos aluviales con escasos depósitos de arcilla. O bien depósitos de arcilla consolidados con topografía uniforme.	0.25
Predominio de terrenos aluviales con depósitos significativos de arcilla no consolidados y topografía accidentada.	0.50
Predominio de terrenos aluviales poco consolidados, con zonas significativas cercanas a lechos de ríos o grandes áreas urbanas sobre depósito de arena.	0.75
Predominio de terrenos cerca de costas, lechos de ríos o rellenos sobre antiguos lagos o bien terrenos muy escarpados con propensión a movimiento de taludes.	1.00

Tabla 5.4 Variables sísmicas del Terreno según su topografía. Fuente: Ramírez de Alba (2007)

En el caso del Municipio de Soyaniquilpan, y de acuerdo a la cartografía topográfica, de pendientes y geológica, el territorio en su totalidad corresponde a la zona con "Predominio de terrenos aluviales con escasos depósitos de arcilla. O bien depósitos de arcilla consolidados con topografía uniforme", por lo que T_b= 0.25

Continuando con la ecuación 3:

T_e = (1.67c + 1.37)*Tb +1

c = 0.14

T_b = 0.75

T_e = ((1.67*0.14) + 1.37)*(0.75 +1) = 2.80

Cálculo del factor por tipología estructural y calidad de construcción (E)

Para el cálculo del factor por tipología estructural y calidad de construcción, E, se los autores propusieron un criterio empírico, tomando la forma de un factor de amplificación o de reducción según el caso, de acuerdo a la ecuación 4.

$E = p^x/1-p$ (4)

El valor **p**, se define como la relación del número de edificaciones con posible comportamiento insatisfactorio al total de construcciones. Una forma de calcular este valor es a partir de los datos del censo población y vivienda, que consignan tipologías estructurales y construcciones hechas con materiales precarios. En este caso, el municipio embona dentro de la categoría "Predominio de estructuras de mampostería reforzada, concreto reforzado y acero estructural, no más de 10% de estructuras con muros de adobe o mampostería no reforzada".

Para el índice de calidad de construcción, **x**, se utiliza los valores tabulados en la tabla de características de la construcción, los cuales en el caso de la zona de estudio corresponde a: "Calidad de construcción variable tendiendo a la baja, materiales que no son sometidos a controles estrictos, propensión a la modificación y ampliación de estructuras, poca cultura del mantenimiento", como un promedio general.

Tipo de estructuras	p
Predominio de estructuras de mampostería reforzada, concreto reforzado y acero estructural, no más de 10% de estructuras con muros de adobe o materiales precarios.	0.1

Igual que el anterior pero con más de 10% de estructuras con muros de adobe o mampostería no reforzada	0.2
Casi igual cantidad de estructuras de mampostería reforzada y concreto reforzado respecto a los de adobes y mampostería sin refuerzo.	0.3
Localidades donde exista predominio de las estructuras cuyos muros sean de adobe, mampostería no reforzada o de materiales precarios.	0.5

Tabla 5.5 Variables de daño sísmico de las estructuras según los materiales de construcción. Fuente: Ramírez de Alba (2007)

Características de la construcción	x
Regiones con reconocida tradición constructiva, uso de materiales controlados y mantenimiento oportuno de las construcciones	1.0
Regiones con calidad de construcción normal, materiales de calidad regular y acciones de mantenimiento generales	0.7
Calidad de construcción variable tendiendo a la baja, materiales que no son sometidos a controles estrictos, propensión a la modificación y ampliación de estructuras, poca cultura del mantenimiento.	0.5
Calidad de construcción muy baja, materiales de construcción de baja resistencia y poca durabilidad, poca cultura de mantenimiento.	0.3
Calidad de construcción excepcionalmente baja, material es precarios y nula atención al mantenimiento.	0.1

Tabla 5.6 Variables sísmicas de los asentamientos según su tipología constructiva. Fuente: Ramírez de Alba (2007)

Volviendo a la ecuación 4:

$E = p^x/1-p$

p = 0.1

x = 0.5

$E = 0.1^{0.5} / 1 - 0.1 = 0.35136418$

Aplicando valores en la ecuación 1

$I_{sd} = V_b * T_e * E$

V_b = 0.009996

T_e = 2.80

E = 0.35136418

I_{sd} = 0.009996*2.80*0.35136418 = 0.007024473

Determinación de vulnerabilidad: **baja** en promedio para el municipio de Soyaniquilpan.

Vulnerabilidad	I_{sd} Rango de valores
Baja	0.0002700 - 0.0793775
Media	*0.0793775 - 0.1584800*
Alta	*0.1584800 - 0.2375920*
Muy alta	*0.2375920 - 0.3167000*

Tabla 5.7 Rangos de vulnerabilidad sísmica de las viviendas según los resultados obtenidos del I_{sd}. Fuente: Ramírez de Alba (2007)

Riesgo asociado a Sismicidad

El riesgo potencial asociado a sismos se calculó de acuerdo a la relación de la vulnerabilidad sísmica y el peligro sísmico en relación a la velocidad de propagación de la Onda Secundaria. La vulnerabilidad es en general Baja, el peligro es Medio, por lo que el riesgo es **MEDIO** en todas las localidades urbanas y rurales del municipio de Soyaniquilpan.

5.3 Tsunamis

Los Tsunamis son series de olas de gran longitud de onda que aparecen en el agua por el desplazamiento de un gran volumen de material dentro de un océano. Los eventos detonantes son los terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra e impactos de meteoritos. El impacto de los tsunamis se limita a las zonas costeras, por lo que en el caso del Municipio de Soyaniquilpan, este fenómeno no representa una amenaza debido a los 250 km de distancia de la costa más cercana con el perímetro municipal, por lo que el riesgo es **NULO**.

En la siguiente figura se muestra la localización del municipio y la concentración del fenómeno en el pacifico mexicano.

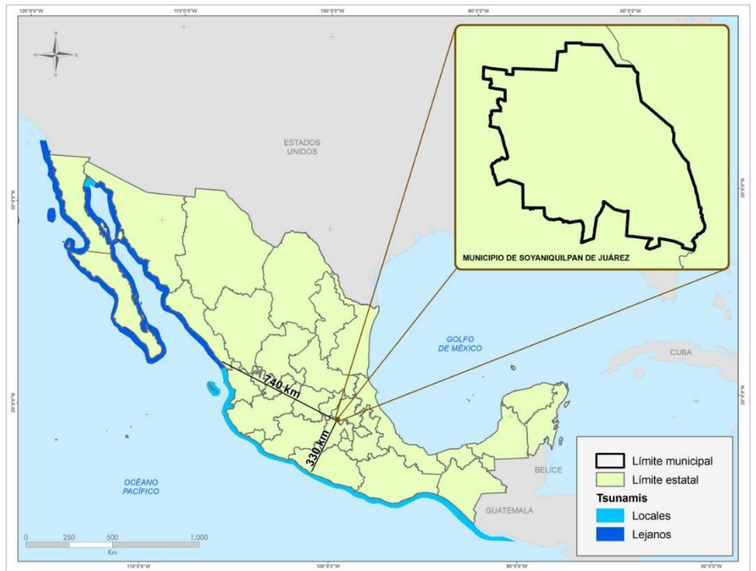


Figura 5.16 Áreas costeras susceptibles de afectación por tsunamis generados localmente a distancias de hasta miles de kilómetros. Fuente: CENAPRED.

5.4 Inestabilidad de laderas

La inestabilidad de laderas, también conocidos como Procesos de Remoción en Masa (PRM) o Mecanismos Potenciales y/o de Falla, se definen como movimientos de material (roca, detrito y suelo) que se desarrollan en laderas o a lo largo de un talud, sobre una zona con pendiente variable a consecuencia de la acción de la gravedad y se distinguen por un carácter no selectivo al afectar indistintamente materiales de cualquier forma y dimensión. La gravedad no es el único elemento que entra en juego en los movimientos de material y en los fenómenos de deslizamiento en particular, ya que también el agua, en su forma superficial o subterránea, tiene una influencia muy importante para este tipo de fenómenos.

Dentro de esta tipología, los Deslizamientos son movimientos relativamente rápidos del talud en los cuales la masa de la roca se mueve a través de una o más superficies bien definidas y que definen la geometría del deslizamiento.

1) Deslizamiento Rotacional: la falla se presenta por corte a través de una superficie de falla curva, sobre todo en rocas con fracturamiento denso y aleatorio y/o muy alteradas.

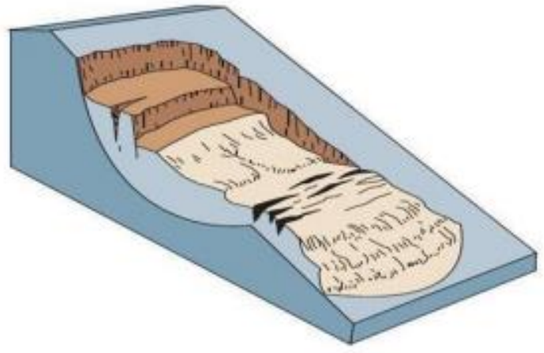


Figura 5.17 Mecanismo Potencial de Falla Deslizamiento Rotacional. Fuente: : USGS 2008.

2) Deslizamiento traslacional: la falla se presenta por corte a través de una superficie relativamente plana. Por los rasgos estructurales que afectan a estas, conviene hacer una sub-clasificación de este tipo de deslizamientos:

2.1) Deslizamiento plano de roca: movimiento traslacional de masas monolíticas de roca, que se presenta en superficies planas formadas por discontinuidades que pueden estar rellenas de material arcilloso.

2.2) Deslizamiento en cuña: se refiere a la falla que se presenta en masas rocosas en las cuales el deslizamiento se desarrolla sobre la línea de intersección de dos discontinuidades planas.

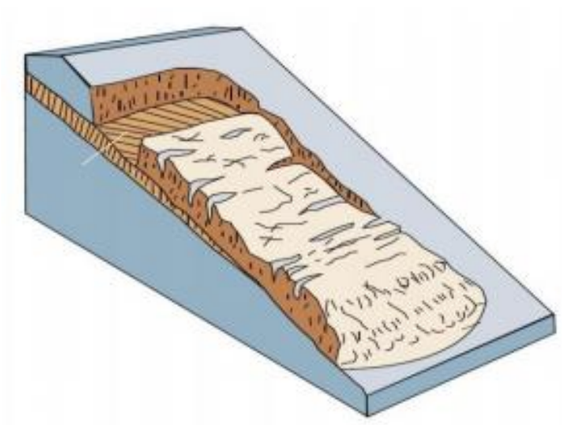


Figura 5.18 Mecanismo Potencial de Falla Deslizamiento Traslacional. Fuente: USGS 2008.

Peligro por Inestabilidad de laderas

Los elementos considerados para determinar las zonas susceptibles o propensas al mecanismo de volteo-deslizamiento, y los criterios empleados, fueron los siguientes:

1) Zonas del terreno con pendientes entre 26° y 50°;

2) Las formaciones litológicas representadas por la morfología volcánica de la zona de estudio, con un orden definido en grupos de menor a mayor susceptibilidad al mecanismo de volteo-deslizamiento con las siguientes categorías: muy baja (material aluvial re-trabajado), baja (depósitos de flujos piroclásticos de composición andesítica-basáltica asociada a los conos de escoria y dacítica-riolítica), media (depósitos de flujos piroclásticos andesíticos del volcán Santa María Macua y de composición andesítico-riolítico del campo volcánico Jilotepec), alta (depósitos de flujos piroclásticos basálticos y andesíticos) y muy alta (conos de escoria de composición basáltica y domo volcánico de composición andesítico-riolítica del campo volcánico Jilotepec);

3) Energía del relieve (definida como la intensidad relativa de la actividad endógena en relación con la exógena representada por la diferencia altitudinal en un área determinada) establecida por los valores 0.000001-0.000270, con las siguientes categorías de intensidad: muy baja (0.0-0.000038), baja (0.000039-0.000054), media (0.000055-0.000079), alta (0.000080-0.000137) y muy alta (0.000137-0.000270);

4) Densidad de disección del terreno (definida como el valor de la longitud del número de cauces sobre una unidad de superficie de 1km^2, que permite detectar las zonas del terreno que presentan una mayor propensión a los procesos erosivos de tipo fluvial) determinada por los valores de 0.0-0.013991, con las siguientes categorías de intensidad: muy baja (0.0-0.004042), baja (0.004043-0.005783), media (0.005784-0.07048), alta (0.007049-0.009446) y muy alta (0.009447-0.013991);

5) Precipitación total anual, es la cantidad de precipitación media anual en milímetros para la zona de Soyaniquilpan de Juárez y determinada por los valores <600mm->800mm con las siguientes categorías de intensidad: baja (<600mm), media (600-700mm), alta (700mm-800mm) y muy alta (>800mm); y,

6) Zonificación urbana, distinguidas por tres tipos principales de superficies, según el contexto de Soyaniquilpan de Juárez y ordenadas de menor a mayor susceptibilidad: baja (zona silvestre), media (zona de cultivo) y alta (zona urbana o con asentamientos humanos).

Entendida como la predisposición que tiene una ladera a desarrollar un proceso de remoción en masa, el análisis de susceptibilidad a volteo-deslizamiento se presenta mediante una metodología de análisis espacial, basada en la asignación de puntajes para los niveles de susceptibilidad teórica de cinco de las seis variables consideradas: litología, energía del relieve, densidad de disección, precipitación total anual y zonificación urbana.

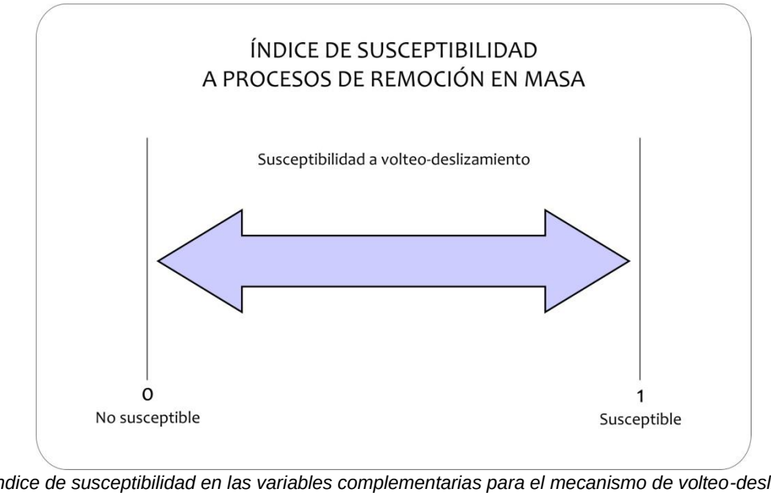


Figura 5.19 Modelo conceptual del índice de susceptibilidad en las variables complementarias para el mecanismo de volteo-deslizamiento. Fuente: Elaboración propia.

La asignación de dichas calificaciones se hizo de manera diferenciada entre la variable pendiente y las demás, planteamiento motivado por la importancia que tiene en la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Se consideró a esta como una variable independiente de las demás, por ser la principal detonante del mecanismo y por tanto, la asignación de sus puntajes obedeció a una escala de susceptibilidad teórica más amplia. Conviene entonces diferenciar a las variables consideradas como: variable independiente (pendiente del terreno); y variables complementarias (litología, energía del relieve, densidad de disección, precipitación total anual y zonificación urbana).

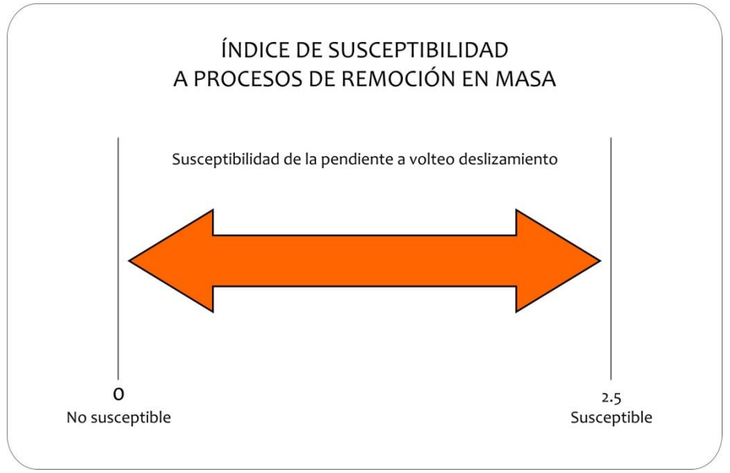


Figura 5.20 Modelo conceptual del índice de susceptibilidad de la pendiente al mecanismo de volteo-deslizamiento, planteado para 26° a 50° de inclinación del terreno. Fuente: Elaboración propia.

En virtud de que la magnitud de medida entre las seis variables planteadas es de distintas escalas entre sí, se ponderaron los valores de cada elemento considerado mediante factores jerárquicos para estimar un índice de susceptibilidad o propensión al deslizamiento del terreno (Tabla 3 y Tabla 4). El modelo teórico armado a partir de ello considera que, en el municipio de Soyaniquilpan de Juárez, el terreno presenta una mayor susceptibilidad al deslizamiento en aquéllos sitios donde los valores de pendiente que involucra coinciden con: las litologías más propensas, los valores más altos de energía del relieve, densidad de disección, precipitación total anual y las zonas de exposición de la zonificación urbana.

Nivel de susceptibilidad	Calificación de susceptibilidad
Muy Alto	0.9
Alto	0.7
Medio	0.5
Bajo	0.3
Muy Bajo	0.1

Tabla 5.8 Asignación de calificaciones de susceptibilidad de las variables complementarias para el mecanismo de volteo-deslizamiento. Fuente: Elaboración propia

Pendiente en grados	Calificación de susceptibilidad
26°	0.1
27°	0.2
28°	0.3
29°	0.4
30°	0.5
31°	0.6

Pendiente en grados	Calificación de susceptibilidad
32°	0.7
33°	0.8
34°	0.9
35°	1.0
36°	1.1
37°	1.2
38°	1.3
39°	1.4
40°	1.5
41°	1.6
42°	1.7
43°	1.8
44°	1.9
45°	2.0
46°	2.1
47°	2.2
48°	2.3
49°	2.4
50°	2.5

Tabla 5.9 Asignación de calificaciones de susceptibilidad a la variable pendiente para el mecanismo de volteo-deslizamiento. Fuente: Elaboración propia.

Así, el método establece una puntuación a la susceptibilidad teórico-empírica del proceso de volteo-deslizamiento, subdividida en cinco clases acordes a la intensidad de la susceptibilidad: una puntuación mayor corresponde a una susceptibilidad o propensión más alta y viceversa.

Variable/Proceso/Intensidad		Muy Baja (0.1)	Baja (0.3)	Media (0.5)	Alta (0.7)	Muy Alta (0.9)
Pendiente	Volteo - deslizamiento	26° 27° 28° 29° 30° 31° 32° 33° 34° 35° 36° 37° 38° 39° 40° 41° 42° 43° 44° 45° 46° 47° 48° 49° 50°				
Litología	Volteo - deslizamiento	material aluvial re-trabajado	depósitos de flujos piroclásticos de composición andesítica-basáltica y dacítica riolítica	depósitos de flujos piroclásticos andesíticos y de composición andesítico-riolítico	depósitos de flujos piroclásticos basálticos y andesíticos	conos de escoria de composición basáltica y domo volcánico de composición andesítico-riolítica
Energía del relieve	(diferencia altimétrica m / m2)	0.0-0.000038	0.000039-0.000054	0.000055-0.000079	0.000080-0.000137	0.000137-0.000270
Densidad de disección	(longitud escurrimientos / km2)	0.0-0.004042	0.004043-0.005783	0.005784-0.007048	0.007049-0.009446	0.009447-0.013991
Precipitación anual	(mm de precipitación anual)	----------	<600mm	600-700mm	700mm-800mm	>800mm
Zonificación urbana	zonas de exposición	----------	Zona silvestre	Zona de cultivo	Zona urbana	----------

Tabla 5.10 Ponderaciones de propensión-susceptibilidad de las variables de análisis para el mecanismo de volteo-deslizamiento. Fuente: Elaboración propia.

De la relación entre estas seis variables se calculó un índice de susceptibilidad a volteo-deslizamiento, manejando como unidades de análisis, superficies equivalentes a 100m^2 para la zona de estudio de Soyaniquilpan de Juárez, (***IsuscVDz***) definido por la siguiente fórmula:

$$IsuscVDz = \frac{\Sigma NsuscVDz_i}{n_i}$$

Donde:

IsuscVDz : Índice de susceptibilidad a volteo-deslizamiento;
$\Sigma NsuscVDz_i = p_i + l_i + er_i + dt_i + pa_i + zu_i$
$\Sigma NsuscVDz_i$: nivel de susceptibilidad a volteo-deslizamiento en la zona **i**;
n_i : número de variables consideradas para el análisis de susceptibilidad;
p_i : ponderación del valor de la pendiente del terreno en la zona **i**;
l_i : ponderación de la susceptibilidad de la litología en la zona **i**;
er_i : ponderación de la intensidad de la energía del relieve en la zona **i**.
dt_i : ponderación de la intensidad de la densidad de disección del terreno en la zona **i**;
pa_i : ponderación de la intensidad de la precipitación total anual en la zona **i**.
zu_i : ponderación de la susceptibilidad potencial de la zonificación urbana en la zona **i**.

De acuerdo con el esquema de análisis trabajado sobre la susceptibilidad o propensión a volteo-deslizamiento de terreno en la zona de estudio de Soyaniquilpan de Juárez, y de los niveles que se determinaron, también se construyeron 5 categorías de intensidad, descritas a continuación.

→ *Categoría de susceptibilidad 1* (**Muy baja**, valores índice 0.1987 – 0.3268): valores de pendiente de 26° a 42°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, conos de escoria de composición basáltica, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve media, alta y muy alta; densidad de disección muy baja, baja, media, alta y muy alta; precipitación total anual baja, media, alta y muy alta; y, zonas de tipo silvestre y urbana.

→ *Categoría de susceptibilidad 2* (**Baja**, valores índice 0.3269 – 0.4624): valores de pendiente de 26° a 44°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, conos de escoria de composición basáltica, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve media, alta y muy alta; densidad de disección muy baja, baja, media, alta y muy alta; precipitación total anual baja, media, alta y muy alta; y, zonas de tipo silvestre y urbana.

→ *Categoría de susceptibilidad 3* (**Media**, valores índice 0.4625 – 0.5529): valores de pendiente de 26° a 45°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, conos de escoria de composición basáltica, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve media, alta y muy alta; densidad de disección muy baja, baja, media, alta y muy alta; precipitación total anual baja, media, alta y muy alta; y, zonas de tipo silvestre y urbana.

→ *Categoría de susceptibilidad 4* (**Alta**, valores índice 0.5530 – 0.6886): valores de pendiente de 26° a 47°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, conos de escoria de composición basáltica, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve media, alta y muy alta; densidad de disección muy baja, baja, media, alta y muy alta; precipitación total anual baja, media y alta; y, zonas de tipo silvestre y urbana.

→ *Categoría de susceptibilidad 5* (**Muy alta**, valores índice 0.6887 – 0.8166): valores de pendiente de 28° a 50°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve alta y muy alta; densidad de disección baja, media y alta; precipitación total anual baja, media y alta; y, zonas de tipo silvestre y urbana.

Nivel	Índice	Categoría De Intensidad				
		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
1	0.3268	X				
2	0.4624		X			

Nivel	Índice	Categoría De Intensidad				
		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
3	0.5529			X		
4	0.6886				X	
5	0.8166					X

Tabla 5.11 Niveles de propensión-susceptibilidad a volteo-deslizamiento según intensidad máxima estimada. Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad y riesgo por deslizamiento de laderas

En el municipio de Soyaniquilpan se reconocieron algunas zonas propensas a presentar este tipo de procesos de remoción en masa, que zonas sin poblar, debido a que la población no se asienta en las laderas de los cerros que presentan esta problemática.

De esta manera, el riesgo por este tipo de fenómeno es **MUY BAJO** debido a la carencia de población expuesta.

5.5 Flujos

Son definidos como “Movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas ladera abajo, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla…”. Pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos. Principalmente se distinguen:

i. **Flujos de lodo**, masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas;

ii. **Flujos o avalancha de suelos y rocas**, movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan partículas sueltas, fragmentos de rocas, y vegetación con aire y agua entrampados, formando una masa viscosa o francamente fluida que se mueve pendiente abajo. Dichos movimientos también son conocidos como flujos de escombro**;** y,

iii. **Lahares**, flujo de suelos o detritos que se originan en el talud de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, por rotura de represas o desbordamiento de agua represada y/o por la ocurrencia de sismos.

Peligro por Flujos

Los elementos considerados para determinar las zonas susceptibles al mecanismo de flujo de detritos fueron los siguientes:

1) Zonas del terreno con pendientes entre 16° y 25°;

2) Las formaciones litológicas representadas por la morfología volcánica de la zona de estudio, con un orden definido en grupos de menor a mayor susceptibilidad al mecanismo de flujos con las siguientes categorías: muy baja (conos de escoria de composición basáltica y domo volcánico de composición andesítico-riolítica del campo volcánico Jilotepec), baja (depósitos de flujos piroclásticos basálticos y andesíticos y de composición andesítica-basáltica asociada a los conos de escoria), media (depósitos de flujos piroclásticos de composición andesítica-riolítica del campo volcánico Jilotepec), alta (depósitos de flujos piroclásticos andesíticos del volcán Santa María Macua y de flujos flujos piroclásticos de composición dacítica-riolítica) y muy alta (material aluvial re-trabajado);

3) Energía del relieve (definida como la intensidad relativa de la actividad endógena en relación con la exógena representada por la diferencia altitudinal en un área determinada) establecida por los valores 0.000001-0.000270, con las siguientes categorías de intensidad: muy baja (0.0-0.000038), baja (0.000039-0.000054), media (0.000055-0.000079), alta (0.000080-0.000137) y muy alta (0.000137-0.000270);

4) Densidad de disección del terreno (definida como el valor de la longitud del número de cauces sobre una unidad de superficie de 1km^2, que permite detectar las zonas del terreno que presentan una mayor propensión a los procesos erosivos de tipo fluvial) determinada por los valores de 0.0-0.013991, con las siguientes categorías de intensidad: muy baja (0.0-0.004042), baja (0.004043-0.005783), media (0.005784-0.07048), alta (0.007049-0.009446) y muy alta (0.009447-0.013991);

5) Precipitación total anual, es la cantidad de precipitación media anual en milímetros para la zona de Soyaniquilpan de Juárez y determinada por los valores <600mm->800mm con las siguientes categorías de intensidad: baja (<600mm), media (600-700mm), alta (700mm-800mm) y muy alta (>800mm); y,

6) Zonificación urbana, distinguidas por tres tipos principales de superficies, según el contexto de Soyaniquilpan de Juárez y ordenadas de menor a mayor susceptibilidad: baja (zona silvestre), media (zona de cultivo) y alta (zona urbana o con asentamientos humanos.

Entendida como la predisposición que tiene una ladera a desarrollar un proceso de remoción en masa, el análisis de susceptibilidad a flujos de detritos se presenta mediante una metodología de análisis espacial, basada en la asignación de puntajes para los niveles de susceptibilidad teórica de las seis variables consideradas: pendiente, litología, energía del relieve, densidad de disección, precipitación total anual y zonificación urbana.

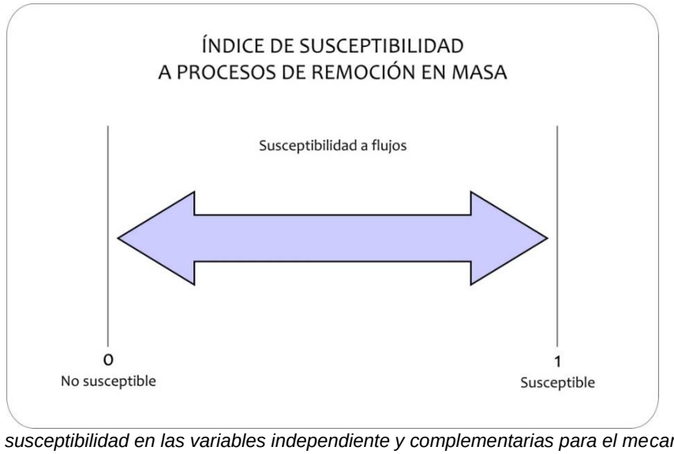


Figura 5.21 Modelo conceptual del índice de susceptibilidad en las variables independiente y complementarias para el mecanismo de flujos. Fuente: Elaboración propia.

La asignación de dichas calificaciones también se hizo de manera diferenciada entre la variable pendiente y las demás, planteamiento motivado por la importancia que tiene en la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Se consideró a esta como una variable independiente de las demás, por ser la principal detonante del mecanismo y por tanto, la asignación de sus puntajes obedeció a una escala de susceptibilidad teórica un poco más amplia, pero con factores de peso que se mueven entre 0 y 1. Conviene también diferenciar a las variables consideradas como: variable independiente (pendiente del terreno); y variables complementarias (litología, energía del relieve, densidad de disección, precipitación total anual y zonificación urbana).

En virtud de que la magnitud de medida entre las seis variables planteadas es de distintas escalas entre sí, se ponderaron los valores de cada elemento considerado mediante factores jerárquicos para estimar un índice de susceptibilidad o propensión a flujos de terreno. El modelo teórico armado a partir de ello considera que, en el municipio de Soyaniquilpan de Juárez, el terreno presenta una mayor susceptibilidad a flujos de detritos en aquéllos sitios donde los valores de pendiente que involucra coinciden con: las litologías más propensas, los valores más altos de energía del relieve, densidad de disección, precipitación total anual y las zonas de exposición de la zonificación urbana.

Nivel de susceptibilidad	Calificación de susceptibilidad
Muy Alto	0.9
Alto	0.7
Medio	0.5
Bajo	0.3
Muy Bajo	0.1

Tabla 5.12 Asignación de calificaciones de susceptibilidad de las variables complementarias para el mecanismo de flujos de detritos. Fuente: Elaboración propia.

Pendiente en grados	Calificación de susceptibilidad
16°	0.1
17°	0.2
18°	0.3
19°	0.4
20°	0.5
21°	0.6
22°	0.7
23°	0.8
24°	0.9
25°	1.0

Tabla 5.13 Asignación de calificaciones de susceptibilidad a la variable pendiente para el mecanismo de flujo de detritos. Fuente: Elaboración propia.

Así, el método establece una puntuación a la susceptibilidad teórico-empírica del proceso de flujos, subdividida en cinco clases acordes a la intensidad de la susceptibilidad: una puntuación mayor corresponde a una susceptibilidad o propensión más alta y viceversa.

Variable/Proceso/Intensidad		Muy Baja (0.1)	Baja (0.3)	Media (0.5)	Alta (0.7)	Muy Alta (0.9)
Pendiente	Flujo de detritos	16° 17° 18° 19° 20° 21° 22° 23° 24° 25°				
Litología	Flujo de detritos	conos de escoria de composición basáltica y domo volcánico de composición andesítico-riolítica	depósitos de flujos piroclásticos de composición andesítica-basáltica y basáltico-andesíticos	depósitos de flujos piroclásticos andesíticos y de composición andesítico-riolítica	depósitos de flujos piroclásticos de composición dacítica riolítica y andesíticos	material aluvial re-trabajado
Energía del relieve	(diferencia altimétrica m / m2)	0.0-0.000038	0.000039-0.000054	0.000055-0.000079	0.000080-0.000137	0.000137-0.000270
Densidad de disección	(longitud escurrimientos / km2)	0.0-0.004042	0.004043-0.005783	0.005784-0.007048	0.007049-0.009446	0.009447-0.013991
Precipitación anual	(mm de precipitación anual)	----------	<600mm	600-700mm	700mm-800mm	>800mm

Variable/Proceso/Intensidad		Muy Baja (0.1)	Baja (0.3)	Media (0.5)	Alta (0.7)	Muy Alta (0.9)
Zonificación urbana	zonas de exposición	----------	Zona silvestre	Zona de cultivo	Zona urbana	----------

Tabla 5.14 Ponderaciones de propensión-susceptibilidad de las variables de análisis para el mecanismo de flujo de detritos. Fuente: Elaboración propia.

De la relación entre estas siete variables se calculó un índice de susceptibilidad a flujo de detritos, manejando como unidades de análisis, superficies equivalentes a 100 m2 para la zona de estudio de Soyaniquilpan de Juárez, (***IsuscFld***) definido por la siguiente fórmula:

$$IsuscFld = \frac{\Sigma NsuscFld_i}{n_i}$$

Donde:

IsuscFld : Índice de susceptibilidad a flujo de detritos;
$\Sigma NsuscFld_i = p_i + l_i + er_i + dt_i + pa_i + zu_i$
$\Sigma NsuscFld_i$: sumatoria de los niveles de susceptibilidad a flujo de detritos en la zona **i**;
n_i : número de variables consideradas para el análisis;
p_i : ponderación del valor de la pendiente del terreno en la zona **i**;
l_i : ponderación de la susceptibilidad de la litología en la zona **i**;
er_i : ponderación de la intensidad de la energía del relieve en la zona **i**.
dt_i : ponderación de la intensidad de la densidad de disección del terreno en la zona **i**;
pa_i : ponderación de la intensidad de la precipitación total anual en la zona **i**.
zu_i : ponderación de la susceptibilidad potencial de la zonificación urbana en la zona **i**.

De acuerdo con el esquema de análisis trabajado sobre la susceptibilidad o propensión a flujos de terreno en la zona de estudio de Soyaniquilpan de Juárez, y de los niveles que se determinaron, también se construyeron 5 categorías de intensidad, descritas a continuación.

→ *Categoría de susceptibilidad 1* (**Muy baja**, valores índice 0.1936 – 0.3042): valores de pendiente de 16° a 25°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, conos de escoria de composición basáltica, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve muy baja, baja, media, alta y muy alta; densidad de disección muy baja, baja, media, alta y muy alta; precipitación total anual baja, media, alta y muy alta; y, zonas de cultivo, silvestre y urbana.

→ *Categoría de susceptibilidad 2* (**Baja**, valores índice 0.3043 – 0.4036): valores de pendiente de 16° a 25°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, conos de escoria de composición basáltica, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve muy baja, baja, media, alta y muy alta; densidad de disección muy baja, baja, media, alta y muy alta; precipitación total anual baja, media, alta y muy alta; y, zonas de cultivo, silvestre y urbana.

→ *Categoría de susceptibilidad 3* (**Media**, valores índice 0.4037 – 0.4566): valores de pendiente de 16° a 25°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, conos de escoria de composición basáltica, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve muy baja, baja, media, alta y muy alta; densidad de disección muy baja, baja, media, alta y muy alta; precipitación total anual baja, media, alta y muy alta; y, zonas de cultivo, silvestre y urbana.

→ *Categoría de susceptibilidad 4* (**Alta**, valores índice 0.4567 – 0.5560): valores de pendiente de 16° a 25°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, conos de escoria de composición basáltica, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve muy baja, baja, media, alta y muy alta; densidad de disección muy baja, baja, media, alta y muy alta; precipitación total anual baja, media, alta y muy alta; y, zonas de cultivo, silvestre y urbana.

→ *Categoría de susceptibilidad 5* (**Muy alta**, valores índice 0.5561 – 0.6666): valores de pendiente de 16° a 25°; materiales geológicos aluviales y re-trabajados, conos de escoria de composición basáltica, depósitos de flujos piroclásticos andesíticos, basálticos y andesíticos, de composición andesítica-riolítica y dacítica-riolítica y domo volcánico andesítico-riolítico; energía del relieve muy baja, media, alta y muy alta; densidad de disección muy baja, baja, media, alta y muy alta; precipitación total anual baja, media, alta y muy alta; y, zonas de cultivo, silvestre y urbana.

Nivel	Índice	Categoría De Intensidad				
		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
1	0.3042	X				
2	0.4036		X			
3	0.4566			X		
4	0.5560				X	
5	0.6666					X

Grafica 5.1 Niveles de propensión-susceptibilidad a flujos de detritos según intensidad máxima estimada. Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad y riesgo por Flujos

En el municipio de Soyaniquilpan se reconocieron algunas zonas propensas a presentar este tipo de procesos de remoción en masa, que no afectarían edificaciones, viviendas o infraestructura, debido a que ocurrirían en las laderas de los cerros. De esta manera, el riesgo por este tipo de fenómeno es **MUY BAJO** debido a la falta de población expuesta. Las únicas localidades donde se identificó algún grado de riesgo son las siguientes:

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Flujos	Riesgo por Flujos
150790003	El Divisadero Fresno	1059	Alto	Muy Bajo	Medio
1507900010079007	Col. Loma del Perdon (San Francisco Soyaniquilpan)	80	Medio	Muy Bajo	Bajo
1507900010115001	Col. El Quinte (San Francisco Soyaniquilpan)	131	Medio	Muy Bajo	Bajo
1507900010115003	Col. El Quinte (San Francisco Soyaniquilpan)	94	Medio	Muy Bajo	Bajo
150790001012A001	San Francisco Soyaniquilpan	34	Medio	Muy Bajo	Bajo
150790001012A002	Col. El Capulin (San Francisco Soyaniquilpan)	24	Medio	Muy Bajo	Bajo
1507900010134003	Col. Loma del Perdon (San Francisco Soyaniquilpan)	23	Medio	Muy Bajo	Bajo

Tabla 5.15 Identificación del peligro, vulnerabilidad y riesgo por Flujos en el Municipio de Soyaniquilpan, a nivel Localidad. Fuente: Elaboración propia.

5.6 Caídos y Derrumbes

Los derrumbes ocurren cuando la resultante de las fuerzas aplicadas a un bloque cae fuera del tercio medio en la base del mismo. El giro o volteo se produce alrededor de un punto de pivote. Este tipo de falla es común en masas rocosas con discontinuidades casi verticales. Hay dos formas:

- Volteo con flexión: Se presenta cuando un sistema de discontinuidades orientado subverticalmente y con echado en contra del talud, delimita capas o columnas semi-continuas, donde la fuerza del peso induce un momento y los bloques tienden a flexionarse. Este mecanismo de falla puede ser inducido por erosión o excavaciones y alteraciones en la geometría del pie de un talud.
- Volteo de Bloques: Este mecanismo de falla ocurre cuando se trata de bloques singulares que son divididos por discontinuidades muy espaciadas y con gran apertura.

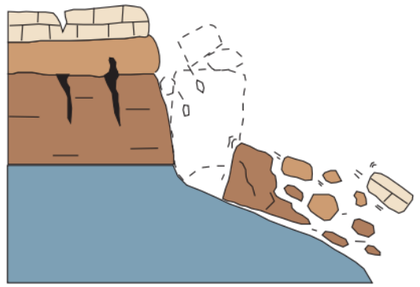


Figura 5.22 Mecanismo Potencial de Falla Volteo. Fuente: USGS.

Por otro lado, los Caídos, son movimientos que se refieren al descenso rápido y libre de bloques de roca con tamaños y geometría variable, con fuerte pendiente de acantilados y son fuertemente influenciados por factores como la gravedad, la erosión y el agua. El movimiento puede incluir deslizamiento, rodamiento, rebotes y caída libre. La separación y generación de bloques se produce a lo largo de una serie de discontinuidades. También hay dos variantes:

- Caída Primaria o desprendimiento: involucra material fresco que se ha separado del talud.
- Caída Secundaria o rodamiento: involucra material disgregado que ha quedado como un residuo del primario; es decir, material que se volverá a mover para depositarse en otros sitios.

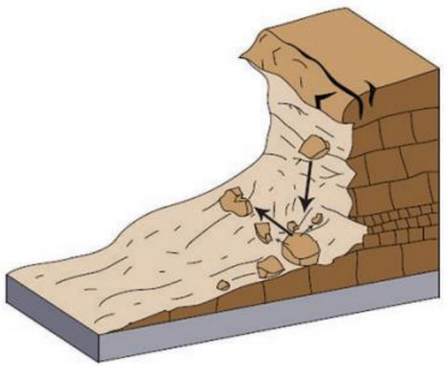


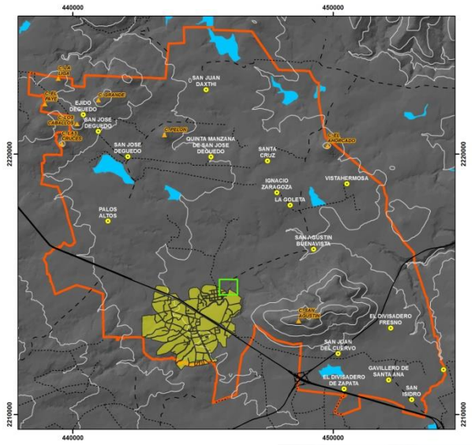
Figura 5.23 Mecanismo Potencial de Falla Caída o desprendimiento. Fuente: USGS.

Peligros por Caídos y Derrumbes

Debido a la extensión de la superficie municipal de Soyaniquilpan de Juárez, no fue posible obtener de manera indirecta a partir de datos altimétricos, las zonas y/o sitios que presentan susceptibilidad al mecanismo de falla de caídos (derrumbes). No obstante, es un apartado de análisis que se verifico con trabajo de campo, en virtud de que se tiene conocimiento de zonas que si cumplen con la pendiente en la que trabajan dichos procesos, aun cuando correspondan con cortes de terreno dedicados a obras civiles.

En el Municipio de Soyaniquilpan este proceso aun no afecta de manera directa a la población; debido a que los sitios identificados corresponden a zonas que sirven o sirvieron como bancos de nivel, donde la acción antrópica origino una modificación en la geometría natural, dejando zonas escarpadas con pendientes superiores a los 80°. Estos sitios son propensos a desarrollar este fenómeno debido a las características del talud y el tipo de material que lo conforma.

El primer sitio se localiza hacia el extremo sur del Municipio en un banco de material el cual está conformado por secuencias de flujos piroclásticos de bloques y ceniza de composición acida con distintos espesores (2-4 metros), estas se encuentran intercaladas con capas de ceniza mostrando una pseudoestrtificación. La altura del talud es de aproximadamente 15 metros, con pendientes superiores de 80°, el frente del talud tiene una longitud de 200 metros; al pie del talud se observa material acumulado de algunos desprendimientos.



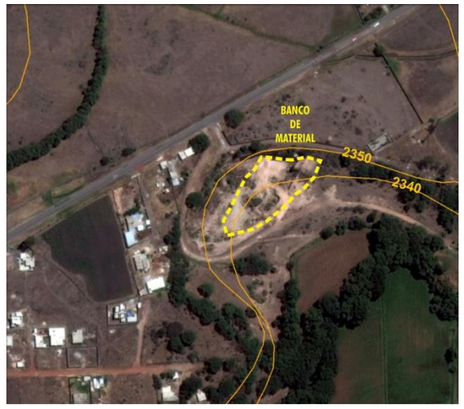
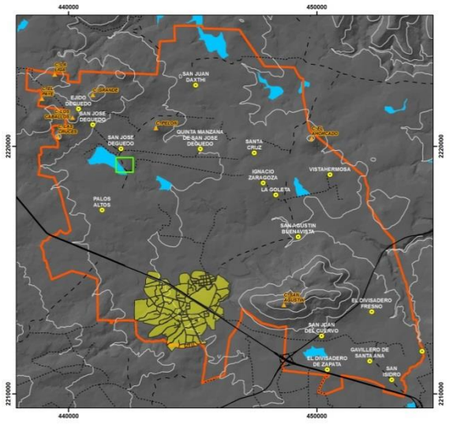


Figura 5.24 Localización de un Talud inestable, identificado sobre un antiguo banco de material hacia el extremo sur del Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia.

El segundo sitio está localizado hacia el sector noroeste del Municipio, en esta zona se tiene dos bancos de material conformados por secuencias de flujos piroclásticos de escoria, intercalada con secuencias de bloques y ceniza de composición basáltica. Una de las principales características es que no se encuentra cementado y su soporte es grano a grano; la modificación en su geometría genero pendientes superiores a 80° y zonas con pendiente negativa, con zonas en posición de cantillever. La altura promedio es de 8 metros.



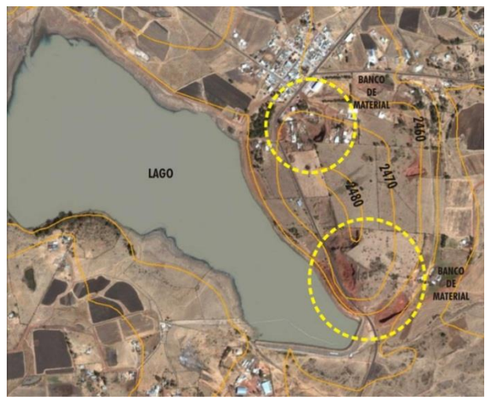


Figura 5.25 Localización de un Talud inestable, identificado sobre un antiguo banco de material hacia el extremo noroeste del Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad y riesgo por caídos y derrumbes

En el municipio de Soyaniquilpan se reconocieron algunas zonas propensas a presentar este tipo de procesos de remoción en masa, que afectarían edificaciones, viviendas o infraestructura, debido a que la población se asienta en la parte de las laderas de los cerros cercanos. De esta manera, el riesgo por este tipo de fenómeno es **BAJO** debido a la población expuesta. Las únicas localidades donde se identificó algún grado de riesgo son las siguientes:

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Derrumbes	Riesgo por Derrumbes
150790001012A001	San Francisco Soyaniquilpan	34	Medio	Alto	Alto
150790018	San José Deguedo	799	Medio	Alto	Alto

Tabla 5.16 Identificación del peligro, vulnerabilidad y riesgo por Flujos en el Municipio de Soyaniquilpan, a nivel Localidad. Fuente: Elaboración propia.

5.7 Hundimientos y Subsidencia

Los procesos de hundimiento son movimientos verticales descendentes del terreno, habitualmente en áreas con baja pendiente. Los hundimientos se producen por inestabilidad debida a la presencia de huecos subterráneos en el suelo o roca, permitiendo que las estructuras superficiales colapsen abrupta y repentinamente o se asienten a través de periodos de tiempo relativamente largos. Otro tipo de hundimiento se puede deber a un encogimiento de los materiales debido a deshidratación, principalmente en arcillas.

En el municipio de Soyaniquilpan no se detectaron este tipo de procesos por lo que el riesgo es **NULO**. Sim embargo, se encontró un solo caso en todo el municipio, originado por acción del hombre, y que no representa un problema generalizado.

El sitio muestra una afectación alrededor de toda una estructura de un campo de fútbol con techumbre; en el sitio se muestra un asentamiento del terreno provocado por la infiltración de agua proveniente de los tubos de descarga de aguas pluviales. Esta característica ha provocado una serie de socavamientos principalmente en la zona de descarga. Se recomienda **e**vitar la infiltración de agua de manera directa, por ello se deberá de canalizar hacia la parte más baja del terreno por medio de tubos complementarios de PVC o el empleo de canaletas. Para el mejoramiento del suelo se recomienda remover el material y compactarlo adecuadamente, o en su caso revolverlo con tepetate sano y nuevamente compactar.

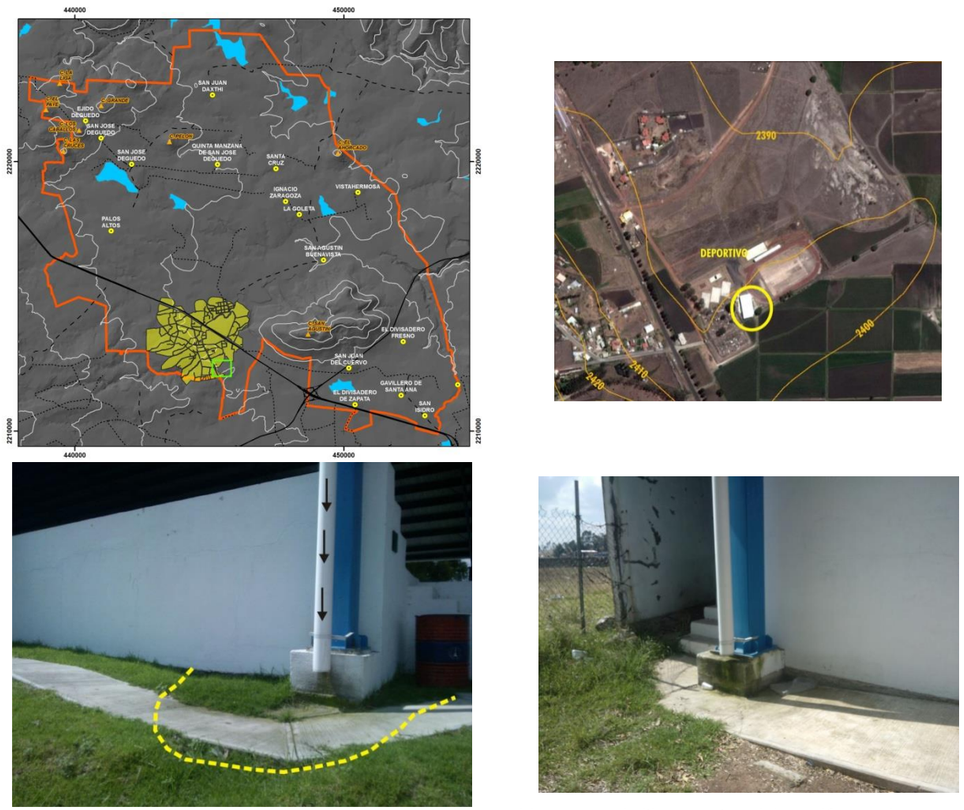


Figura 5.26 Localización de la zona de estudio y problemas en el sitio. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la subsidencia es un tipo de hundimiento que se presenta cuando en una región, el acuífero se sobreexplota creando que el suelo pierda humedad, y por lo tanto volumen. En el caso del municipio de Soyaniquilpan no se detectaron este tipo de procesos por lo que el riesgo es **NULO**.

5.8 Agrietamientos

En la zona de estudio del municipio de Soyaniquilpan de Juárez no se encuentran sistemas de fallas activos. Sin embargo, hacia el extremo sur tiene contacto con uno de los sistemas de fallas y fracturas más significativos del país: el sistema de Fallas Santa María de Ilucan, caracterizado por fallas con orientación predominante NE-SW, aunque pueden variar individual o localmente desde N40°E hasta E-W, con inclinaciones cercanas a la vertical, tanto al norte como al sur y desplazamientos que pueden alcanzar desde unos cuantos centímetros hasta treinta metros. Esta falla se sitúa regionalmente en la prolongación oriental de la falla Pastores, pudiendo de esta manera representar su continuidad estructural hacia el territorio municipal. Sin embargo, no hay evidencia de que este fenómeno esté ocurriendo, por lo que el riesgo se considera **MUY BAJO**.

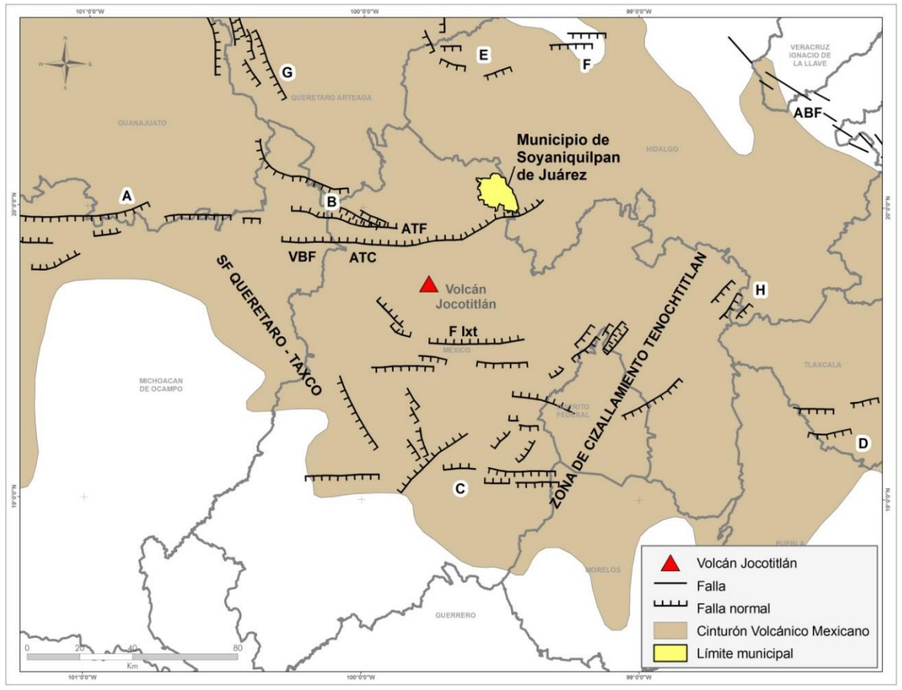


Figura 5.27 Figura 3. Mapa estructural del CVTM y sus principales sistemas de fallas. Abreviaciones A=Graben de Cuitzeo, B=Graben de Acambay, C=Sistema de Falla Tenango, D=Medio Graben de Puebla, E= Medio Graben de Aljibes, F=Graben del Mezquital, G=Graben de Querétaro, H=fallas normales de Apan, ABF= falla Agua Blanca, ATF= Falla Acambay-Tixmadeje, F Ixt= Falla Ixtlahuaca, VBF= Falla Venta de Bravo, ATC=Atlacomulco. Fuente: Salinas-Sánchez, 2013.

5.9 Erosión

En el municipio de Soyaniquilpan de Juárez la mayor parte de la erosión identificada a través de distintas geoformas es hídrica. Dicho tipo de erosión es el proceso físico que requiere de una cantidad de energía para realizar un trabajo mecánico, que consiste en romper los agregados del suelo, salpicar y dispersar las partículas, para luego transportar las mismas partículas desprendidas y depositarlas en otro lugar. La remoción de las partículas de suelo puede deberse a la erosión laminar, de canalillos, de cárcavas y de canales.

Erosión Laminar. Es la remoción de una capa de suelo delgada y relativamente uniforme. Tiene lugar cuando el impacto de las gotas de lluvia contra el terreno produce un desprendimiento de partículas de suelo que, aun cuando se depositen, quedan en estado suelto. El desprendimiento de partículas o salpicamiento es función directa de la energía cinética de las gotas de lluvia (de su masa y velocidad).

Erosión en canalillos. Una vez que se inicia el flujo superficial, el escurrimiento puede producir pequeños canalillos de varios milímetros de ancho y profundidad que aportan importantes cantidades de sedimento. Los canalillos cambian de una tormenta a otra, o bien desaparecen con las labores agrícolas.

Erosión en cárcavas. Si los canalillos de ciertas dimensiones no desaparecen con el laboreo normal del suelo, se denominan cárcavas o barrancas que tienen dimensiones desde pequeños agrietamientos en centímetros hasta grandes barrancas que en la salida tengan varios metros de ancho y profundidad. Una característica de las cárcavas es el constante crecimiento hacia aguas arribas y su profundización, presentándose continuos deslizamientos en las paredes de las márgenes, y consecuentemente una perdida acelerada de suelo.

Erosión de canales. Una vez que el flujo se ha concentrado, y escurre en cauces o canales bien definidos, los esfuerzos cortantes ejercidos por el agua contra el fondo y las paredes de dichos canales, producen este tipo de erosión. En la erosión de canales, el aporte de sedimento depende de la capacidad erosiva de la corriente y de la resistencia del material del cauce.

Los factores se agrupan en tres categorías: energía, resistencia y protección. La energía incluye el potencial de la lluvia, el escurrimiento y el viento; la resistencia de erosión incluye la erosionabilidad del suelo, que depende de sus propiedades mecánicas y químicas y la protección al suelo, se centra en la cobertura vegetal, mediante la intercepción de la lluvia y la reducción de la velocidad del escurrimiento y viento.

Peligro por Erosión

La mayor parte de estos procesos se localizan hacia el extremo sur del municipio de manera cercana al Cerro de San Agustín hacia su sector norte, donde la acción de los agentes erosivos ha afectado gran parte del terreno; estos sitios en su mayoría corresponden a zonas que sirven de cultivo.

El primer sitio se localiza sobre la Calle Estación casi esquina las Peñas, este corresponde a una zona donde los materiales que conforman el subsuelo corresponden principalmente a secuencias volcánicas de flujos piroclásticos de escoria y bloques de ceniza de composición basáltica de distinta granulometría. Esta zona sirve de aporte para materiales debido a que por sus características mecánicas es fácilmente atacable por los agentes erosivos principalmente el agua; esta acción provoca la separación y/o desfragmentación de la roca o materiales granulares, facilitando su arrastre hacia las partes bajas dejando pequeños surcos que al paso del tiempo provocan mayor disección sobre el terreno y profundizan más.

Figura 5.28 Sitio de Estudio localizado hacia el extremo suroeste del Municipio en los límites con Jilotepec. Fuente: Elaboración propia

Figura 5.29 Sitio de Estudio y el área afectada por la acción de la erosión hídrica (izquierda) y hacia la derecha se muestra el arrastre del material. Fuente: Elaboración propia

El sitio 2 se localiza hacia el extremo norte del Cerro de San Agustín, cercano a la localidad de San Agustín de Buenavista, esta es la zona de mayor afectación donde la erosión hídrica ha provocado sitios con afectaciones elevadas (cárcavas mayores a los 3 metros y una longitud de 200 metros, surcos y erosión laminar), los materiales que lo conforman son secuencias de flujos piroclásticos de composición acida con espesores variables entre 1 y 3 metros dispuestos en capas.

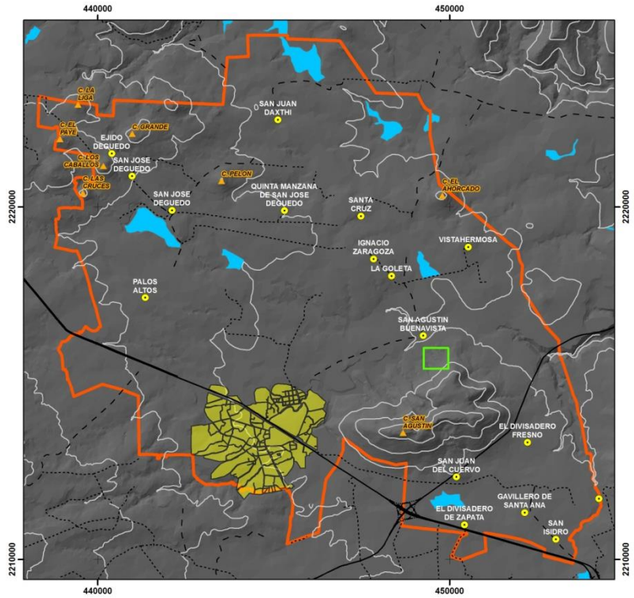


Figura 5.30 Sitio de Estudio localizada hacia el extremo sur del municipio. Fuente: Elaboración propia

La principal característica mecánica de estos materiales es su granulometría (cenizas-lapilli y bloques) y su grado de cementación es bajo, facilitando su transporte hacia las zonas con pendientes más bajas, otro elemento a destacar es que esta zona no tiene mucha cobertura vegetal y el uso de suelo es de tipo agrícola, lo que acelera el proceso de la erosión hídrica. En la zona se muestra que la erosión está avanzando hacia las partes altas donde se muestran ligeros surcos.

Figura 5.31 Localización de la zona de estudio y sus los efectos de la erosión hídrica (erosión laminar, cárcavas y surcos). Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad y riesgo por Erosión

La erosión en el municipio de Soyaniquilpan se expresa en amplias áreas rurales y urbanas, por lo que la exposición a este problema es alta en algunos sitios; aunado a la vocación agropecuaria de un número importante de la población local, implica que la vulnerabilidad a este fenómeno es alta. En general, considerando el peligro, la vulnerabilidad y la exposición a la erosión, el riesgo se determina como **BAJO.** A continuación se muestra el grado de riesgo por manzana urbana y Localidad.

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Erosión	Riesgo por Erosión
1507900010100010	Col. El Capulin (San Francisco Soyaniquilpan)	0	Alto	Medio	Alto
1507900010100017	Col. El Capulin (San Francisco Soyaniquilpan)	0	Alto	Medio	Alto
1507900010100018	Col. El Capulin (San Francisco Soyaniquilpan)	0	Alto	Medio	Alto
1507900010079007	Col. Loma del Perdon (San Francisco Soyaniquilpan)	80	Medio	Medio	Medio
1507900010100014	Col. El Capulin (San Francisco Soyaniquilpan)	108	Medio	Medio	Medio
1507900010100019	Col. El Quinte (San Francisco Soyaniquilpan)	199	Bajo	Medio	Medio
1507900010100022	Col. El Capulin (San Francisco Soyaniquilpan)	41	Medio	Medio	Medio
1507900010115001	Col. El Quinte (San Francisco Soyaniquilpan)	131	Medio	Medio	Medio
1507900010115003	Col. El Quinte (San Francisco Soyaniquilpan)	94	Medio	Medio	Medio
1507900010115005	Col. El Quinte (San Francisco Soyaniquilpan)	111	Medio	Medio	Medio
1507900010115008	Col. El Quinte (San Francisco Soyaniquilpan)	33	Bajo	Medio	Medio
150790001012A001	San Francisco Soyaniquilpan	34	Medio	Medio	Medio
150790001012A002	Col. El Capulin (San Francisco Soyaniquilpan)	24	Medio	Medio	Medio
150790030	3ra Mza San Juan del Cuervo	79	Medio	Medio	Medio
150790007	San AgustÝn Buenavista	1271	Medio	Medio	Medio

Tabla 5.17 Identificación del peligro, vulnerabilidad y riesgo por Erosión en el Municipio de Soyaniquilpan, a nivel Localidad. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO y SMN.

5.10 Ondas cálidas y gélidas

5.10.1 Ondas Cálidas

Las ondas cálidas u olas de calor son un calentamiento importante del aire o invasión de aire muy caliente, sobre una zona extensa, y que suele durar de unos días a una semana. Este fenómeno representa un riesgo para la población debido a que acelera procesos tales como las enfermedades gastrointestinales, la deshidratación y la insolación, que asociadas incrementan la morbilidad, particularmente de los grupos vulnerables como bebes, ancianos y personas en situación de alta marginación; adicionalmente pueden causar otros daños notorios como incendios forestales.

Peligro por Ondas Cálidas

El Municipio de Soyaniquilpan, debido a su ubicación en la zona templada del centro de México es poco susceptible a la presencia constante de ondas de calor cuyos efectos puedan poner en peligro a la población. Sin embargo, las temperaturas máximas extremas que se han presentado históricamente, representan un peligro potencial en caso de repetirse, por lo que se realizaron análisis de periodos de retorno de los eventos más extremos de temperaturas altas.

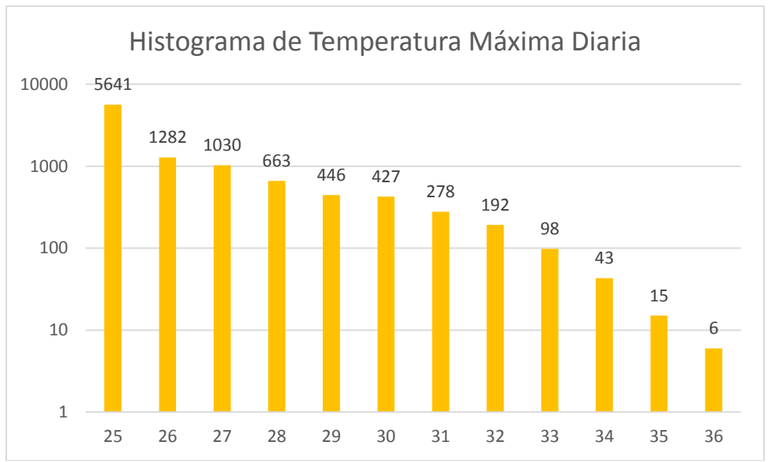
Para identificar las ondas cálidas más comunes, se analizaron las temperaturas máximas promedio y máximas extremas en el área de estudio, por medio de los datos de 7 estaciones meteorológicas ubicadas en zonas cercanas y dentro del Municipio de Soyaniquilpan. Estas estaciones se observan en la siguiente tabla.

Estación	Nombre	Municipio	Temp. máxima promedio	Temp. máxima extrema	Coord. X UTM 14N	Coord. Y UTM 14N
13080	Presa Endho	Tepetitlan	26.0	38.0	461944.7	2229228.7
13092	Tula (Dge)	Tula De Allende	26.3	39.4	463633.3	2217728.4
13149	El Banco	Tepeji Del Rio De Ocampo	22.8	40.0	452998.3	2205550.0
15064	Oxthoc	Jilotepec	23.5	37.0	443090.7	2224822.8
15217	San Juan Acazuchitlan	Jilotepec	21.9	39.0	437030.3	2227087.8
15225	Jilotepec	Jilotepec	25.0	36.0	444369.5	2206927.8
15333	El Palmito	Timilpan	22.9	37.0	428830.0	2202465.0

Tabla 5.18 Estadística de temperaturas máximas en las estaciones meteorológicas del área circundante al Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Normales Climatológicas 1951-2010, Servicio Meteorológico Nacional.

Los datos de estas estaciones se interpolaron geográficamente mediante el sistema geoestadístico de Natural Neighbor, a fin de modelar el comportamiento de las temperaturas máximas promedio y absolutas a través del territorio municipal. De acuerdo con el análisis realizado con datos de las 7 estaciones meteorológicas, las temperaturas máximas promedio registradas durante el periodo de 1951 a 2010, van de 24°C al poniente del municipio y 25°C en el oriente. Por otro lado, las temperaturas máximas extremas, es decir, aquellas ondas de calor más intensas registradas en el periodo de 1951-2010, han sido de 37°C al sur, 38°C para la zona occidental del municipio, llegando hasta los 39°C en el extremo oriental del mismo. Así mismo, se observa que los meses en los que se presentan los mayores registros de temperatura son mayo, junio y julio.

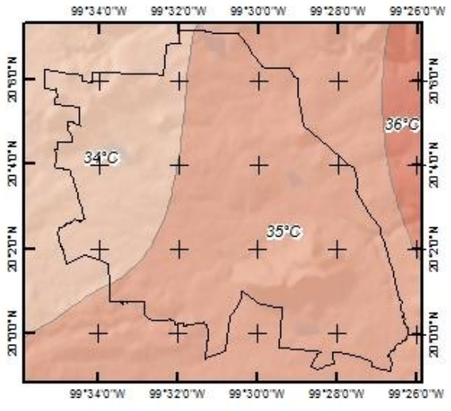
Como resultado relevante, en la estación 15225 ubicada en Jilotepec (las más cercana al Municipio de Soyaniquilpan), se obtuvo que la temperatura máxima que se presenta con mayor frecuencia es de 25°C o menor, con un 55.5% de las mediciones totales desde el año de 1976; en 10.4% de los casos la temperatura es de 30°C o mayor; en 1.5% de los registros ha habido una temperatura de 33°C o mayor; así mismo, en 6 ocasiones desde 1976, la temperatura máxima ha sido mayor de 36°C.



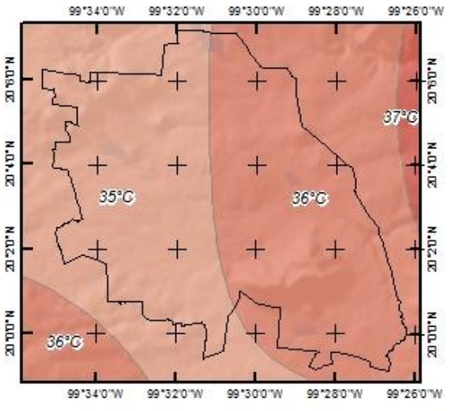
Grafica 5.2 Histograma de frecuencias de temperaturas máximas diarias en la Estación 15225 Jilotepec, periodo 1976-2010. Fuente: Elaboración propia con datos de CNA, Normales Climatológicas.

Adicionalmente a lo anterior, se analizaron los periodos de retorno de las ondas de calor para los periodos de 5, 10, 25 y 50 años, mediante el uso de los datos recopilados por el Servicio Meteorológico Nacional, en donde se registra la temperatura máxima por mes en el periodo 1951-2010.

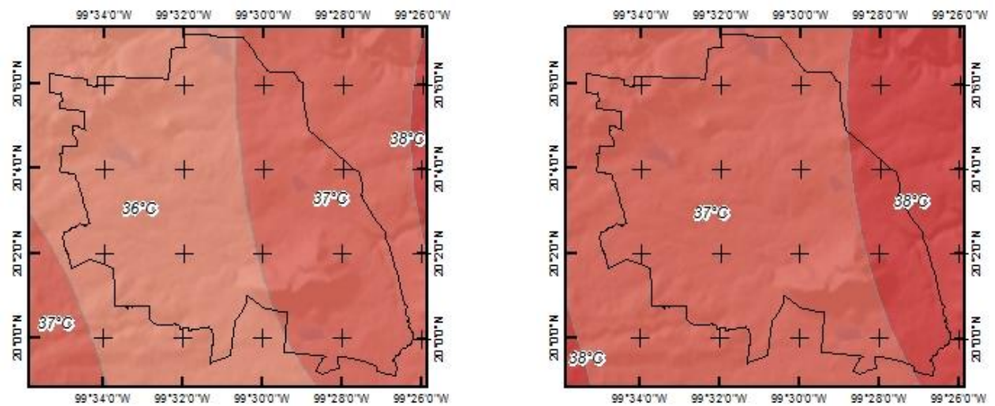
En el Municipio de Soyaniquilpan las ondas de calor esperadas según varios periodos de retorno, tienen una componente que va de menor a mayor en sentido oriente-poniente. Para un periodo de retorno de 5 años, se espera una temperatura máxima de hasta 34 grados en el oeste, y 35°C para el este, incluyendo la cabecera municipal; para 10 años, 35°C en el poniente, y 36°C en el oriente; para 25 años, 36° en el oeste y hasta 37 en el este; y para 50 años, 37° en prácticamente todo el territorio municipal, salvo el extremo oriente donde se espera hasta y 38°C.



Periodo de retorno de 5 años



Periodo de retorno de 10 años



Periodo de retorno de 25 años *Periodo de retorno de 50 años*

Figura 5.32 Ondas cálidas esperadas en el Municipio de Soyaniquilpan a diferentes periodos de retorno. Fuente: Elaboración propia con datos de Servicio Meteorológico Nacional, Proyecto Bases de Datos Climatológicos.

En las estaciones meteorológicas ubicadas en la región del Municipio de Soyaniquilpan se obtuvieron los siguientes resultados:

Estación	Nombre	Municipio	Periodo retorno 5 años	Periodo retorno 10 años	Periodo retorno 25 años	Periodo retorno 50 años
13080	Presa Endho	Tepetitlan	35.8	36.7	37.6	38.2
13092	Tula (Dge)	Tula De Allende	36.9	37.8	38.8	39.4
13149	El Banco	Tepeji Del Rio De Ocampo	33.4	34.5	35.8	36.6
15064	Oxthoc	Jilotepec	33.8	34.7	35.6	36.2
15217	San Juan Acazuchitlan	Jilotepec	32.8	34.0	35.2	36.0
15225	Jilotepec	Jilotepec	34.4	35.0	35.6	36.0
15333	El Palmito	Timilpan	34.4	36.2	38.0	39.2

Tabla 5.19 Periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años de ondas cálidas en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de Servicio Meteorológico Nacional, Proyecto Bases de Datos Climatológicos.

Con base a los datos obtenidos, se observa que las ondas cálidas de mayor magnitud, se esperan al oriente, mientras que al poniente disminuiría la magnitud del peligro, aunque no de forma significativa.

Vulnerabilidad y Riesgo por Ondas Cálidas

La vulnerabilidad de la población a las altas temperaturas se deriva de malestares fisiológicos producidos directamente por el incremento de calor, o bien por fenómenos asociados, como un incremento en el metabolismo de los organismos bacteriológicos existentes en los alimentos, aire, agua y suelos. Adicionalmente la vulnerabilidad se incrementa en la población infantil y adultos mayores, así como en personas en situación de indigencia. A continuación se presenta una tabla con los principales factores asociados a la incidencia de altas temperaturas:

Temperatura	Designación	Vulnerabilidad	Grado
28 a 31°C	Incomodidad	La evapotranspiración de los seres vivos se incrementa. Aumentan dolores de cabeza en humanos.	Bajo
31.1 a 33°C	Incomodidad extrema	La deshidratación se torna evidente. Las tolvaneras y la contaminación por partículas pesadas se incrementan, presentándose en ciudades.	Medio
33.1 a 35°C	Condición de estrés	Las plantas comienzan a evapotranspirar con exceso y se marchitan. Los incendios forestales aumentan.	Alto
> 35°C	Límite superior de tolerancia	Se producen golpes de calor, con inconciencia en algunas personas. Las enfermedades aumentan.	Muy Alto

Tabla 5.20 Vulnerabilidad por altas temperaturas. Fuente: SEDATU (2013).

En el Municipio de Soyaniquilpan, el peligro asociado a los fenómenos de temperaturas extremas se calculó con base en los datos obtenidos por el periodo de retorno de 25 años, debido a que se considera un evento máximo dentro de los límites razonables de tiempo, y que la frecuencia esperada de ondas de calor es alta bajo dicho escenario estadístico. La vulnerabilidad se calculó de acuerdo a índice de marginación de la CONAPO, toda vez que el contexto socioeconómico de una persona determina el grado de exposición al fenómeno natural, no solo de forma directa, sino indirecta, como puede ser el acceso a servicios de salud, de agua limpia, de drenaje y otros.

Con base en lo anterior, se determinó que el riesgo por ondas de calor en es **MUY ALTO** en general para el Municipio de Soyaniquilpan. A continuación se muestra el grado de vulnerabilidad por AGEB y Localidad.

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Ondas de Calor	Riesgo por Ondas de Calor
1507900010030	San Francisco Soyaniquilpan	1340	Medio	Muy Alto	Alto
1507900010064	San Francisco Soyaniquilpan	441	Bajo	Muy Alto	Medio
1507900010079	San Francisco Soyaniquilpan	428	Alto	Muy Alto	Muy Alto
1507900010083	San Francisco Soyaniquilpan	426	Alto	Muy Alto	Muy Alto
1507900010098	San Francisco Soyaniquilpan	380	Alto	Muy Alto	Muy Alto
1507900010100	San Francisco Soyaniquilpan	781	Medio	Muy Alto	Alto
1507900010115	San Francisco Soyaniquilpan	369	Medio	Muy Alto	Alto
150790001012A	San Francisco Soyaniquilpan	58	Alto	Muy Alto	Muy Alto
1507900010134	San Francisco Soyaniquilpan	65	Alto	Muy Alto	Muy Alto
150790002	El Divisadero de Zapata	520	Alto	Muy Alto	Muy Alto
150790003	El Divisadero Fresno	1059	Alto	Muy Alto	Muy Alto

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Ondas de Calor	Riesgo por Ondas de Calor
150790004	La Goleta	304	Medio	Muy Alto	Alto
150790005	Ignacio Zaragoza	815	Alto	Muy Alto	Muy Alto
150790006	Palos Altos	337	Medio	Muy Alto	Alto
150790007	San Agustín Buenavista	1271	Medio	Muy Alto	Alto
150790009	San Juan Daxthi	1089	Alto	Muy Alto	Muy Alto
150790010	Vistahermosa	229	Alto	Muy Alto	Muy Alto
150790012	San Juan del Cuervo	203	Alto	Muy Alto	Muy Alto
150790013	Gavillero de Santa Ana	141	Medio	Muy Alto	Alto
150790017	San Isidro	306	Alto	Muy Alto	Muy Alto
150790018	San José Deguedó	799	Medio	Muy Alto	Alto
150790020	Santa Cruz	198	Alto	Muy Alto	Muy Alto
150790029	5ta Mza San José Deguedó	161	Alto	Muy Alto	Muy Alto
150790030	3ra Mza San Juan del Cuervo	79	Medio	Muy Alto	Alto

Tabla 5.21 Identificación del peligro, vulnerabilidad y riesgo por Ondas Cálidas en el Municipio de Soyaniquilpan, a nivel AGEB y Localidad. Fuente: Elaboración propia.

5.10.2 Ondas Gélidas

Las ondas gélidas son producidas cuando grandes masas de aires provenientes del norte ingresan al territorio municipal implicando un descenso significativo de la temperatura ambiente, que puede prolongarse por horas o incluso días. Este fenómeno representa un riesgo para la población debido a que origina enfermedades en las vías respiratorias, incrementando la morbilidad, particularmente de los grupos vulnerables como bebes, ancianos y personas en situación de alta marginación.

Peligro por Ondas Gélidas

El Municipio de Soyaniquilpan, debido a su ubicación en la zona templada del centro de México es poco susceptible a la presencia constante de ondas gélidas cuyos efectos puedan poner en peligro a la población. Sin embargo, precisamente el hecho de que no sean comunes, hace que la población no esté preparada para las ondas gélidas. Ahora bien, las temperaturas mínimas extremas que se han presentado históricamente, representan un peligro potencial en caso de repetirse, por lo que se realizaron análisis de periodos de retorno de los eventos más extremos de temperaturas altas.

Para identificar las ondas cálidas más comunes, se analizaron las temperaturas mínimas promedio y mínimas extremas en el área de estudio, por medio de los datos de 7 estaciones meteorológicas ubicadas en zonas cercanas y dentro del Municipio de Soyaniquilpan. Estas estaciones se observan en la siguiente tabla.

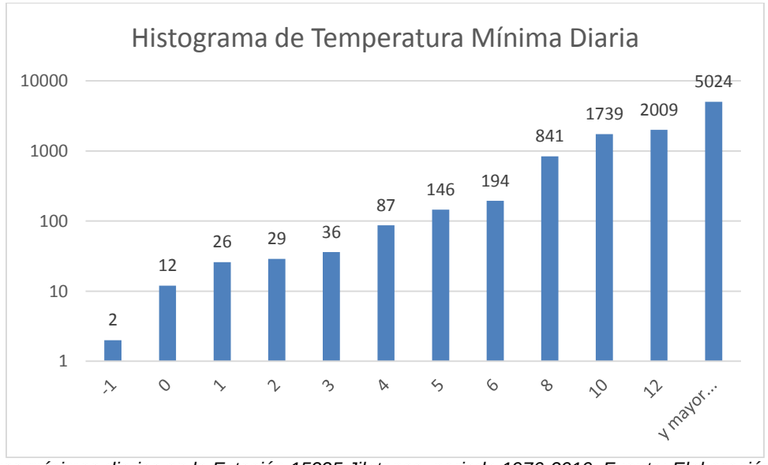
Estación	Nombre	Municipio	Temp. mínima promedio	Temp. mínima extrema	Coord. X UTM 14N	Coord. Y UTM 14N
13080	Presa Endho	Tepetitlan	8.5	-6.0	461944.7	2229228.7
13092	Tula (Dge)	Tula De	8.9	-9.0	463633.3	2217728.4

Estación	Nombre	Municipio	Temp. mínima promedio	Temp. mínima extrema	Coord. X UTM 14N	Coord. Y UTM 14N
		Allende				
13149	El Banco	Tepeji Del Rio	6.3	-5.5	452998.3	2205550.0
15064	Oxthoc	Jilotepec	8.0	-6.5	443090.7	2224822.8
15217	San Juan Acazuchitlan	Jilotepec	8.1	-7.0	437030.3	2227087.8
15225	Jilotepec	Jilotepec	11.8	-3.0	444369.5	2206927.8
15333	El Palmito	Timilpan	3.4	-13.0	428830.0	2202465.0

Tabla 5.22 Estadística de temperaturas mínimas en las estaciones meteorológicas del área circundante al Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Normales Climatológicas 1951-2010, Servicio Meteorológico Nacional.

Los datos de estas estaciones se interpolaron geográficamente mediante el sistema geoestadístico de Natural Neighbor, a fin de modelar el comportamiento de las temperaturas mínimas promedio y absolutas a través del territorio municipal. De acuerdo con el análisis realizado con datos de las 7 estaciones meteorológicas, las temperaturas mínimas promedio registradas durante el periodo de 1951 a 2010, van de 8°C al sur del municipio, incluyendo la cabecera municipal, y 9°C en el resto. Sin embargo, las temperaturas mínimas extremas, es decir, aquellas ondas gélidas más intensas registradas en el periodo de 1951-2010, han sido de -4°C al sur, -5°C para la zona central del municipio, llegando hasta los -6°C en el norte, este y oeste. Así mismo, se observa que los meses en los que se presentan los mayores registros de temperatura son diciembre, enero y febrero.

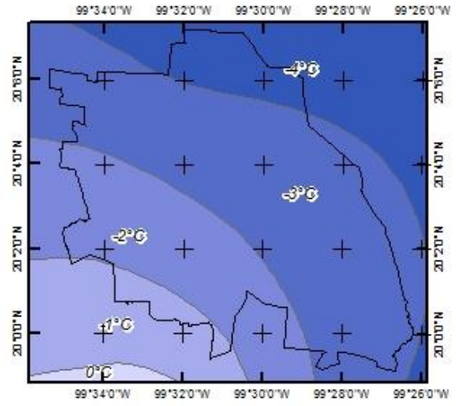
Como resultado relevante, en la estación 15225 ubicada en Jilotepec (las más cercana a la cabecera municipal de Soyaniquilpan), se obtuvo que la temperatura mínima que se presenta con mayor frecuencia es superior a los 12°C, y desde 1976 sólo en 14 ocasiones el termómetro registró temperaturas iguales o menores a los 0°C.



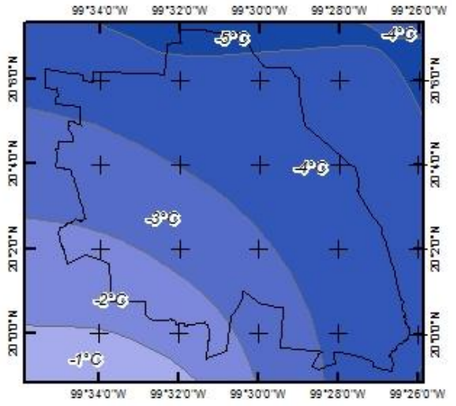
Grafica 5.3 Histograma de frecuencias de temperaturas mínimas diarias en la Estación 15225 Jilotepec, periodo 1976-2010. Fuente: Elaboración propia con datos de CNA, Normales Climatológicas.

Adicionalmente a lo anterior, se analizaron los periodos de retorno de las ondas gélidas para los periodos de 5, 10, 25 y 50 años, mediante el uso de los datos recopilados por el Servicio Meteorológico Nacional, en donde se registra la temperatura máxima por mes en el periodo 1951-2010.

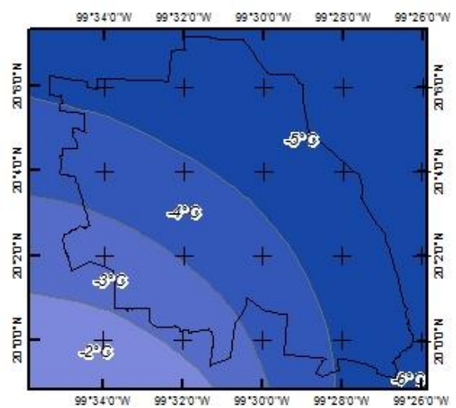
En el Municipio de Soyaniquilpan las ondas gélidas esperadas según varios periodos de retorno, tienen una componente que va de menor a mayor en sentido noreste-suroeste. Para un periodo de retorno de 5 años, se espera una temperatura mínima de hasta -1 grados en el suroeste, y hasta -4°C para el noreste; para 10 años, -2°C en el sur, y -5°C en el norte; para 25 años, -3° en el suroeste y hasta -5 en el noreste; y para 50 años, -3° en el suroeste y -6°C en el noreste.



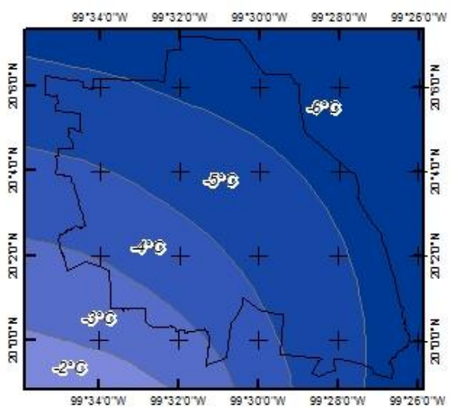
Periodo de retorno de 5 años



Periodo de retorno de 10 años



Periodo de retorno de 25 años



Periodo de retorno de 50 años

Figura 5.33 Ondas gélidas esperadas en el Municipio de Soyaniquilpan a diferentes periodos de retorno. Fuente: Elaboración propia con datos de Servicio Meteorológico Nacional, Proyecto Bases de Datos Climatológicos.

En las estaciones meteorológicas ubicadas en la región del Municipio de Soyaniquilpan se obtuvieron los siguientes resultados:

Estación	Nombre	Municipio	Periodo retorno 5 años	Periodo retorno 10 años	Periodo retorno 25 años	Periodo retorno 50 años
13080	Presa Endho	Tepetitlan	-3.9	-4.7	-5.6	-6.1
13092	Tula (Dge)	Tula De Allende	-4.3	-5.3	-6.4	-7.1

Estación	Nombre	Municipio	Periodo retorno 5 años	Periodo retorno 10 años	Periodo retorno 25 años	Periodo retorno 50 años
13149	El Banco	Tepeji Del Rio De Ocampo	-4.4	-5.3	-6.2	-6.8
15064	Oxthoc	Jilotepec	-4.5	-5.2	-6.0	-6.5
15217	San Juan Acazuchitlan	Jilotepec	-4.1	-5.1	-6.1	-6.8
15225	Jilotepec	Jilotepec	-0.1	-0.9	-1.7	-2.2
15333	El Palmito	Timilpan	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 5.23 Periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años de ondas gélidas en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de Servicio Meteorológico Nacional, Proyecto Bases de Datos Climatológicos.

Con base a los datos obtenidos, se observa que las ondas gélidas de mayor magnitud, se esperan al noreste, mientras que al poniente disminuiría la magnitud del peligro, aunque no de forma significativa.

Vulnerabilidad y Riesgo por Ondas Gélidas

La vulnerabilidad de la población a las altas temperaturas se deriva de malestares fisiológicos producidos directamente por el decremento de temperatura, o bien por fenómenos asociados, como aparición de una mayor morbilidad por enfermedades de las vías respiratorias, tales como tos, gripe o bronquitis. Además la vulnerabilidad se incrementa en la población infantil y adultos mayores, así como en personas en situación de indigencia.

En el Municipio de Soyaniquilpan, el peligro asociado a los fenómenos de temperaturas mínimas extremas se calculó con base en los datos obtenidos por el periodo de retorno de 25 años, debido a que se considera un evento máximo dentro de los límites razonables de tiempo, y que la frecuencia esperada de ondas gélidas es alta bajo dicho escenario estadístico. La vulnerabilidad se calculó de acuerdo a índice de marginación de la CONAPO, toda vez que el contexto socioeconómico de una persona determina el grado de exposición al fenómeno natural, no solo de forma directa, sino indirecta, como puede ser el acceso a servicios de salud.

Con base en lo anterior, se determinó que el riesgo por ondas gélidas en es **ALTO** en general para el Municipio de Soyaniquilpan. A continuación se muestra el grado de vulnerabilidad por AGEB y Localidad.

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Ondas Gélidas	Riesgo por Ondas Gélidas
1507900010030	San Francisco Soyaniquilpan	1340	Medio	Medio	Medio
1507900010064	San Francisco Soyaniquilpan	441	Bajo	Medio	Bajo
1507900010079	San Francisco Soyaniquilpan	428	Alto	Medio	Medio
1507900010083	San Francisco Soyaniquilpan	426	Alto	Medio	Medio
1507900010098	San Francisco Soyaniquilpan	380	Alto	Medio	Medio
1507900010100	San Francisco Soyaniquilpan	781	Medio	Medio	Medio
1507900010115	San Francisco Soyaniquilpan	369	Medio	Medio	Medio
150790001012A	San Francisco Soyaniquilpan	58	Alto	Medio	Alto
1507900010134	San Francisco Soyaniquilpan	65	Alto	Medio	Alto
150790002	El Divisadero de Zapata	520	Alto	Medio	Medio

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Ondas Gélidas	Riesgo por Ondas Gélidas
150790003	El Divisadero Fresno	1059	Alto	Alto	Alto
150790004	La Goleta	304	Medio	Alto	Medio
150790005	Ignacio Zaragoza	815	Alto	Alto	Alto
150790006	Palos Altos	337	Medio	Medio	Medio
150790007	San Agustín Buenavista	1271	Medio	Alto	Medio
150790009	San Juan Daxthi	1089	Alto	Alto	Alto
150790010	Vistahermosa	229	Alto	Alto	Alto
150790012	San Juan del Cuervo	203	Alto	Medio	Medio
150790013	Gavillero de Santa Ana	141	Medio	Alto	Medio
150790017	San Isidro	306	Alto	Alto	Alto
150790018	San José Deguedó	799	Medio	Medio	Medio
150790020	Santa Cruz	198	Alto	Alto	Alto
150790029	5ta Mza San José Deguedó	161	Alto	Alto	Alto
150790030	3ra Mza San Juan del Cuervo	79	Medio	Alto	Medio

Tabla 5.24 Identificación del peligro, vulnerabilidad y riesgo por Ondas gélidas en el Municipio de Soyaniquilpan, a nivel AGEB y Localidad. Fuente: Elaboración propia.

5.11 Sequías

La sequía meteorológica es una anomalía atmosférica transitoria en la que la disponibilidad de agua se sitúa por debajo de las necesidades de las plantas, los animales y la sociedad. La causa principal es una disminución significativa en la precipitación pluvial promedio de una zona dada. Si este fenómeno perdura por varias temporadas, deriva en una sequía hidrológica caracterizada por la desigualdad entre la disponibilidad natural de agua y las demandas naturales de agua. En casos extremos se puede llegar a la aridez. Las consecuencias inmediatas de la sequía meteorológica son pérdida de cosechas, perdida de cabezas de ganado vacuno, ovino y caprino y en casos agudos, insuficiencia de agua para uso doméstico e industrial.

Peligro por Sequías

El Índice de Aridez de M. E. Hernández es una valoración del grado de humedad que existe en el ambiente mediante una sencilla ecuación que divide la precipitación promedio de un periodo de tiempo determinado, sobre la evaporación en el mismo periodo. La humedad es un elemento central para la clasificación de la sequía agrícola e hidrológica, por lo que su cálculo es necesario para este estudio.

De acuerdo a dicho Índice de Aridez, a nivel histórico (periodo de datos: 1976-2002) el municipio se encuentra en una zona subhúmeda. Sin embargo, los datos anteriores no necesariamente indican la probabilidad de sequía en escenarios futuros, por lo que se realizó el cálculo de periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años. El cálculo se realizó mediante la aplicación de la ecuación:

IA = P / E

Dónde:

IA: índice de aridez; P: precipitación anual (mm); E: evaporación anual (mm)

Se tomaron los valores de la precipitación total anual desde 1976 hasta el año 2002 de las estaciones cercanas a la zona de estudio. En el siguiente ejemplo se muestran los datos de la estación meteorológica 15225 ubicada en Jilotepec.

Año	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Índice de Aridez
1976	982.2	1793.4	0.548
1977	823.5	1837.2	0.448
1978	1050.6	1845.2	0.569
1979	783.4	1864.1	0.420
1980	1315.5	1619.4	0.812
1981	753.2	1836.9	0.410
1982	948.7	2095.8	0.453
1983	830.4	1566.9	0.530
1984	633.8	1466.3	0.432
1985	506.9	1572.3	0.322
1986	898.0	1302.6	0.689
1987	897.8	1207.5	0.744
1988	956.0	1420.9	0.673
1998	594.7	1115.7	0.533
1999	631.0	1237.7	0.510
2000	696.9	1077.7	0.647
2002	715.3	1270.0	0.563

Tabla 5.25 Precipitación total anual y evaporación total anual en la estación meteorológica 15225. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

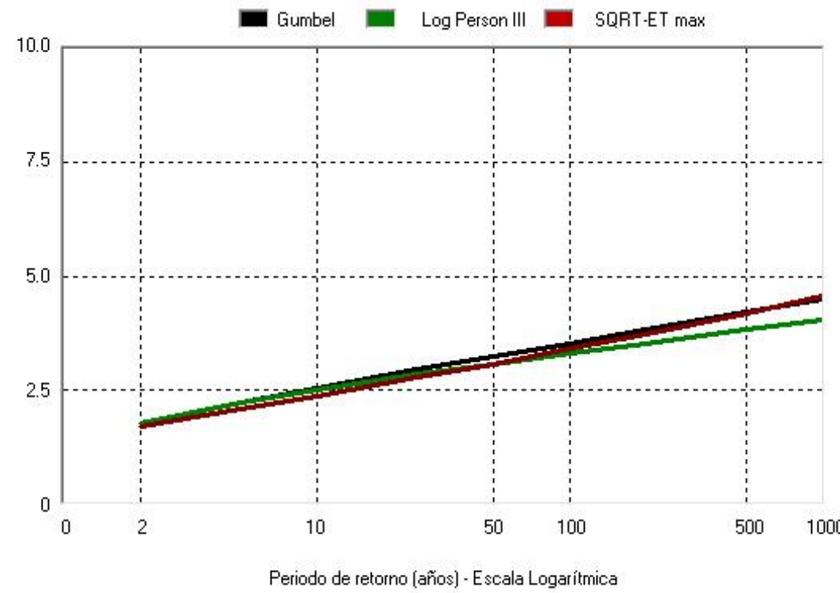
Con base en los anteriores datos se realizó el cálculo de los periodos de retorno con un análisis estadístico, cuyos resultados para la estación meteorológica 15225 fueron los siguientes:

Años	IA (Gumbel)	IA (Log Pearson III)	SQRT
2	0.571	0.565	0.599
5	0.450	0.450	0.481
10	0.394	0.402	0.422
25	0.341	0.353	0.362
50	0.310	0.326	0.326
100	0.284	0.303	0.295
200	0.262	0.284	0.269
500	0.238	0.262	0.239

Índice de Aridez	Grado de Aridez
<0.25	Árido
0.25-.50	semiárido
0.50-2.0	subhúmedo
>2.0	húmedo

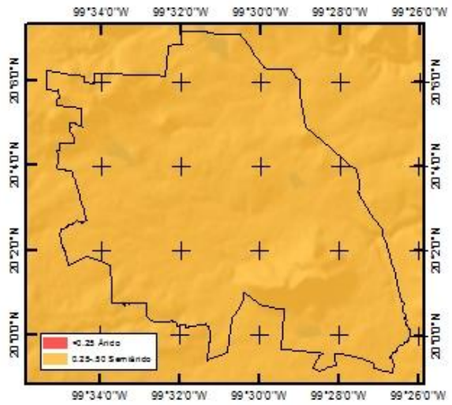
1000	0.223	0.248	0.219

Tabla 5.26 Calculo del Periodo de Retorno (TR) del Índice de Aridez de la estación meteorológica 15225. Fuente: Elaboración propia con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

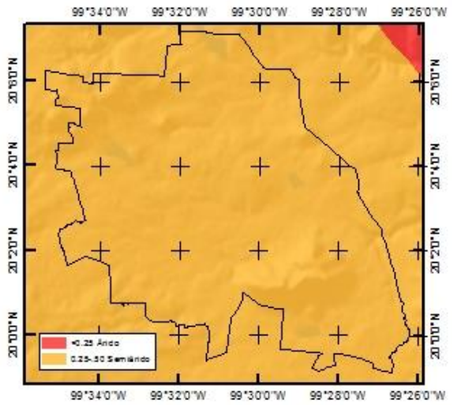


Grafica 5.4 Representación de los Periodos de Retorno del Índice de Aridez, para la estación meteorológica 15225, con base en las distribuciones de Gumbel, Log-Pearson III (LPIII) y SQRT. Fuente: Elaboración propia con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

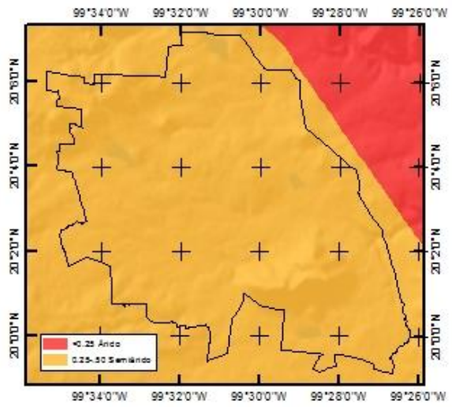
Además de la estación 15225, se analizaron los datos otras 6 estaciones meteorológicas de la zona para obtener la distribución geográfica de los periodos de retorno del índice de aridez, los cuales se presentan a continuación.



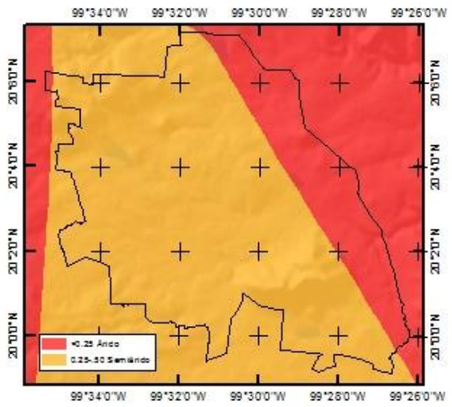
Periodo de retorno de 5 años



Periodo de retorno de 10 años



Periodo de retorno de 25 años

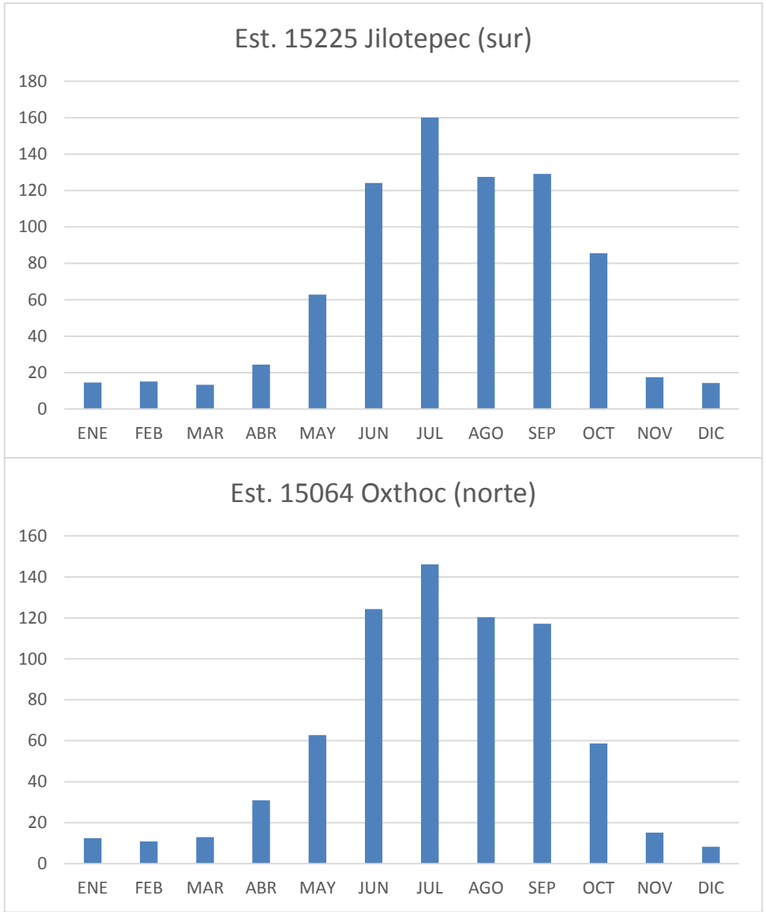


Periodo de retorno de 50 años

Figura 5.34 Periodo de Retorno del Índice de Aridez a 5, 10, 25 y 50 años. Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMN, Proyecto de Base de Datos Climatológicos.

Es importante hacer notar que según esta metodología, la sequía en el Municipio de Soyaniquilpan es un evento que podría producirse en el mediano plazo, aunque se presentaría en el área del noreste, sin abarcar la totalidad del municipio.

Adicionalmente al análisis del índice de aridez, se realizó el estudio de la sequía intraestival en el Municipio de Soyaniquilpan. Se observó que dicho fenómeno se presenta al sur de la zona de estudio, mas no al norte. Esta sequía intraestival, no representa ningún riesgo ya que es un fenómeno insignificante por la magnitud de su impacto, como se muestra a continuación:



Grafica 5.5 Promedio mensual histórico de precipitación (mm) en dos estaciones meteorológicas de interés. Fuente: SMN, Proyecto de Base de Datos Climatológicos.

Por otro lado, se realizó un análisis de los datos del promedio de la precipitación mensual por año, con los que se calculó el Índice de Severidad de la Sequía Meteorológica. Los resultados del procesamiento de los datos indican que en la zona se presenta un grado de sequía meteorológica leve, es decir, existe una disminución mínima de la precipitación mensual de cada año con respecto al promedio mensual del periodo completo.

Para el caso de Soyaniquilpan, se determinó la peligrosidad de la sequía meteorológica mediante el método de M. E. Hernández, el cual se diseñó para un escenario a futuro, utilizando el modelo climático de circulación general GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory). Este método proporciona un índice que determina el nivel de severidad de sequía meteorológica. En su aplicación para el Municipio de Soyaniquilpan, se encontró que la probabilidad de sequía es 'fuerte' para todo el municipio, lo que implica una potencial insuficiencia de agua para los usos a urbanos en el mediano plazo.

Para obtener los resultados anteriormente expuestos, se utilizaron datos de precipitación media mensual de las estaciones meteorológicas cercanas; sin embargo el periodo de años de observación de las estaciones es variable, por lo que sólo se consideró el lapso 1950-1980. El cálculo del índice de severidad para cada año en el periodo estudiado, se realizó con los datos de precipitación, comparados con sus respectivas medias, como se muestra a continuación:

Índice de Severidad (IS):

IS = $(\sum Y - \sum X)/\sum X \; \sum Y < \sum X$

Dónde:

$\sum Y$= sumatoria de la Precipitación mensual registrada (2011)

$\sum X$= sumatoria de la Precipitación mensual normal (histórico)

Si $\sum Y - \sum X$ es menor de 0.0, hay sequía meteorológica.

Se calculó el índice con la fórmula. El índice de severidad de la sequía meteorológica se clasifica en siete grados: extremadamente severo (mayor de 0.8), muy severo (0.6 a 0.8), severo (0.5 a 0.6), muy fuerte (0.4 a 0.5), fuerte (0.35 a 0.4), leve (0.2 a 0.35) y ausente (<0.2). Para determinar un escenario a futuro, se utilizó el modelo climático de Circulación General GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), para simular los cambios en el equilibrio climático resultante del incremento de dos veces las concentraciones del CO2. Los datos de precipitación media mensual se ajustaron a los cambios planteados por los modelos GFDL-R30 para simular los efectos de un posible incremento de dos veces la concentración de CO2. Esto se hizo al multiplicar los registros de precipitación media mensual de enero a diciembre de los treinta años estudiados por los cambios en porcentaje propuestos en condiciones de 2XCO2. De esta forma se obtuvo un archivo con datos de precipitación simulados, que se importaron a la base de datos para calcular el índice de severidad de la sequía meteorológica con un programa estadístico, que calcula el I.S. considerando la media mensual normal del periodo 1950-1980. Con los I.S. obtenidos para todas las estaciones modificadas, se generó el mapa de los escenarios futuros, mediante el trazo de isolíneas.

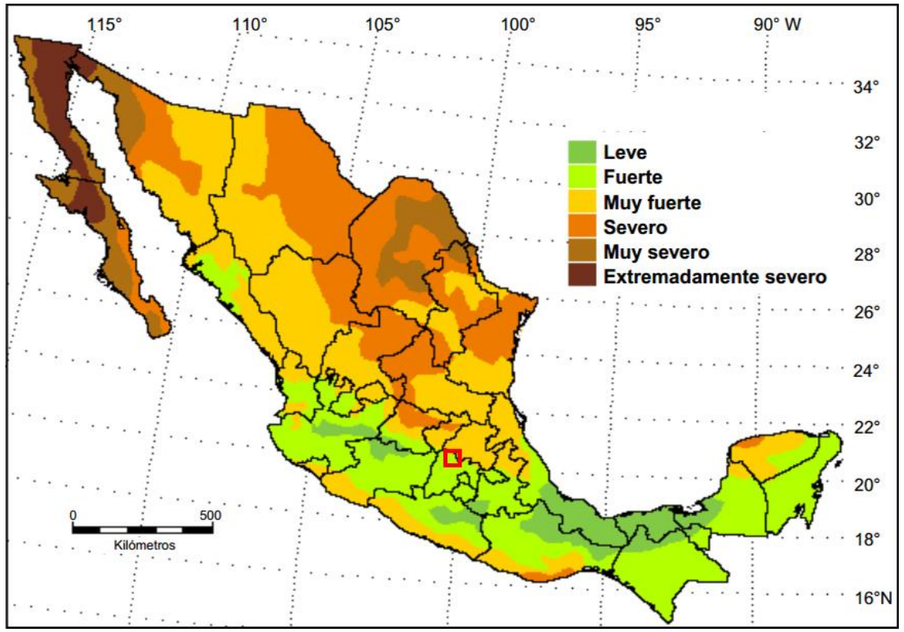


Figura 5.35 Índice de severidad de la sequía meteorológica, modelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory GFDL-R30. Fuente: M. E. Hernández Cerda et al, Sequía Meteorológica, IGG UNAM.

Sin embargo, la metodología empleada anteriormente es para escenarios a futuro, y no contempla los escenarios actuales, por lo que para este trabajo se han usado los datos del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM), el cual realiza una Clasificación de la Intensidad de la Sequía de acuerdo a los datos de anomalías de lluvia registradas por las estaciones meteorológicas locales de todo el país. La clasificación de la sequía se aplica principalmente para riesgos alimentarios y se divide en los siguientes rangos:

- **D0 Anormalmente Seco:** Se trata de una condición de sequedad, no es una categoría de sequía. Se presenta al inicio o al final de un periodo de sequía. Al inicio de un período de sequía: debido a la sequedad de corto plazo puede ocasionar el retraso de la siembra de los cultivos anuales, un limitado crecimiento de los cultivos o pastos y existe el riesgo de incendios. Al final del período de sequía: puede persistir déficit de agua, los pastos o cultivos pueden no recuperarse completamente.
- **D1 Sequía Moderada:** Se presentan algunos daños en los cultivos y pastos; existe un alto riesgo de incendios, bajos niveles en ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos, se sugiere restricción voluntaria en el uso del agua.
- **D2 Sequía Severa:** Probables pérdidas en cultivos o pastos, alto riesgo de incendios, es común la escasez de agua, se deben imponer restricciones en el uso del agua.
- **D3 Sequía Extrema:** Pérdidas mayores en cultivos y pastos, el riesgo de incendios forestales es extremo, se generalizan las restricciones en el uso del agua debido a su escasez.
- **D4 Sequía Excepcional**: Pérdidas excepcionales y generalizadas de cultivos o pastos, riesgo excepcional de incendios, escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos, es probable una situación de emergencia debido a la ausencia de agua.

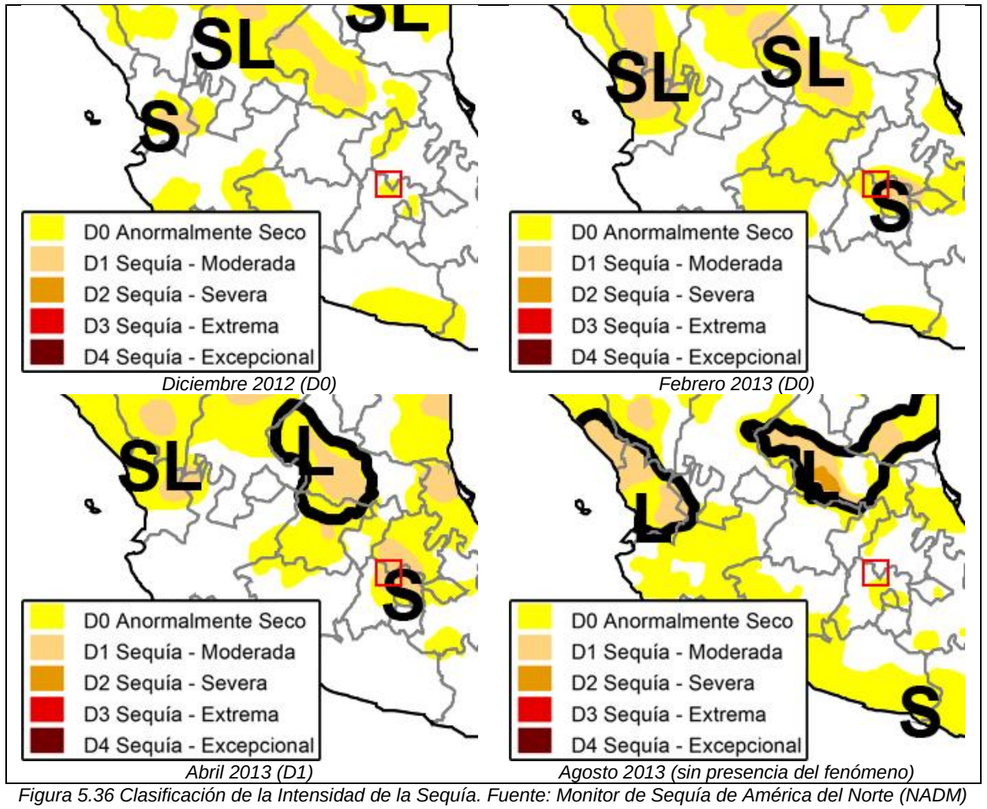


Figura 5.36 Clasificación de la Intensidad de la Sequía. Fuente: Monitor de Sequía de América del Norte (NADM)

A partir de los datos observados en el Monitor de la Sequía, se observa que este fenómeno hidrometeorológico comenzó a afectar al Municipio de Soyaniquilpan en el mes de diciembre del año 2012, bajo la modalidad de tiempo “anormalmente seco”, alcanzando un pico en abril 2013, al mostrarse una sequía moderada.

Vulnerabilidad y Riesgo por Sequías.

Las sequías son algunos de los fenómenos más desastrosos porque la carencia de agua implica caídas sustanciales en la producción de alimentos. Inicialmente afectan la economía agropecuaria, pero pueden llegar incluso a acelerar la mortalidad de la población debido a la falta de agua, lo que conlleva a problemas de higiene, gastrointestinales, y eventualmente de deshidratación como fenómeno de salud pública.

La vulnerabilidad en el Municipio de Soyaniquilpan, puede medirse de dos formas diferentes: por un lado, la exposición directa al fenómeno es alta en tanto que las actividades económicas tienen vocación agropecuaria y forestal; por otro lado, la vulnerabilidad hídrica, medida por el Instituto Mexicano del Agua, es baja. Los indicadores que se toman en cuenta para la construcción de este índice son salud, educación, vivienda, empleo e ingreso, y población (este último implica población indígena, densidad y dispersión).

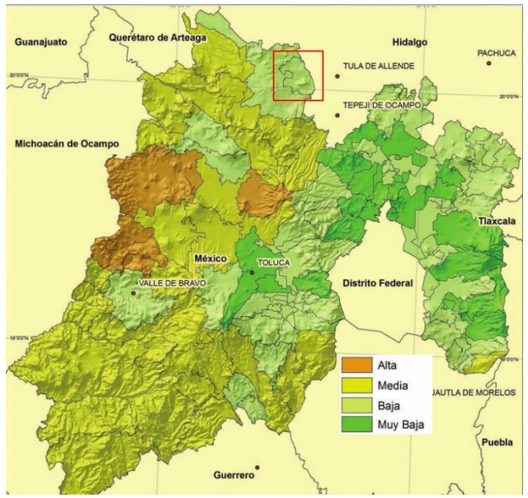


Figura 5.37 Vulnerabilidad social a fenómenos hídricos en el Estado de México. Fuente: Atlas de Vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático en México, IMTA 2010

Con base en lo anterior y en función del Índice de Aridez, se estima que para el Municipio de Soyaniquilpan, el riesgo de sequía es **MEDIO**.

5.12 Heladas

La helada es un fenómeno atmosférico que consiste en un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua (0°C) y hace que el agua o el vapor que está en el aire se congele depositándose en forma de hielo en las superficies, el cual se presenta en las primeras horas del día (de las 3 a las 6 horas). Es un fenómeno que está estrechamente coligado a las temperaturas bajas, las cuales a diferencia de las heladas, pueden no congelar la humedad

del aire, pero son condición necesaria para que ocurran las heladas. Ambos fenómenos son dañinos principalmente para la salud de la población, así como para los cultivos; también, pueden entorpecer el funcionamiento de la infraestructura, como los caminos, que se hacen inseguros por el hielo acumulado en el pavimento y pueden ocasionar accidentes. Son particularmente perjudiciales para las personas en situación de alta marginación, en donde los niños y adultos mayores son los más vulnerables.

Una helada ocurre cuando la temperatura del aire húmedo cercano a la superficie de la tierra desciende a 0° C, en un lapso de 12 horas. Existen dos fenómenos que dan origen a las heladas; el primero consiste en la radiación, durante la noche, desde la Tierra hacia la atmósfera que causa la pérdida de calor del suelo; el otro es la advección, debido al ingreso de una gran masa de aire frío, proveniente del norte.

Las heladas por radiación se forman en los valles, cuencas y hondonadas próximas a las montañas, ya que son zonas de acumulación de aire frío. Durante la noche desciende el aire húmedo y se concentra en las partes bajas. Para que esta helada ocurra, se requiere de la ausencia de viento, cielo despejado, baja concentración de vapor de agua, y fuertes inversiones térmicas en la superficie. Este es el tipo de helada más común en la parte oriente del municipio de Soyaniquilpan.

Peligro por Heladas

El Municipio de Soyaniquilpan se caracteriza por una relativa homogeneidad de condiciones de temperatura y humedad; aunque por su ubicación geográfica se encuentra entre tres tipos de climas, todos son templados subhúmedos con ligeras variaciones en cuanto a la precipitación. Según la época del año se producen diversos fenómenos atmosféricos, por ejemplo, en el invierno que es frío y seco, el municipio se encuentra bajo los efectos de los frentes fríos, que ocasionan descensos de temperatura. Estos descensos de temperatura son más evidentes en las partes noreste y noroeste, sin embargo, también ocurren en el resto del municipio. Ahora bien, de acuerdo con datos de la UNAM, las heladas son menos frecuentes en el extremo oriente del territorio municipal, ya que en promedio ocurren entre 25 a 50 eventos por año en esa zona, mientras que en el resto del municipio ocurren entre 50 y 100 eventos anuales. Las heladas en Soyaniquilpan se presentan mayormente durante los meses de noviembre a febrero.

Según los criterios establecidos por el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED), el peligro por heladas es muy alto si hay más de 100 días al año con presencia de este fenómeno; alto si hay de 50 a 100 días; medio si hay de 25 a 50; bajo si hay de 10 a 25; y muy bajo si hay menos de 10 evento por año. Además de la frecuencia de heladas, la intensidad de estas puede variar significativamente. La distribución geográfica de la intensidad de las heladas también obedece a los microclimas que produce la presencia de vegetación. En la parte del noroeste, se esperan heladas más intensas que en el resto del municipio.

La diferencia entre estos gradientes de temperatura es muy significativa debido a que una helada más intensa, puede ocasionar mayores daños que una helada de menor magnitud. Por ejemplo, una helada de 0°C causa daños principalmente a la agricultura, mientras que una de -11.5°C puede causar muertes en adultos mayores y niños. Los daños que producen las diferentes intensidades de heladas se refieren en la siguiente tabla.

Temperatura	Intensidad	Daños
0 a -3.5°	Ligera	El agua comienza a congelarse. Daños pequeños a las hojas y tallos de la vegetación. Si hay humedad el ambiente se torna blanco por la escarcha.
-3.6 a -6.4	Moderada	Los pastos, las hierbas y hojas de plantas se marchitan y aparece un color café o negruzco en su follaje. Aparecen los problemas de enfermedades en los humanos de sus vías respiratorias. Se comienza a utilizar la calefacción.
-6.5 a -11.5	Severa	Los daños son fuertes en las hojas y frutos de los árboles frutales. Se rompen algunas tuberías de agua por aumento de volumen del hielo. Se incrementan las enfermedades respiratorias. Existen algunos decesos por hipotermia.
< 11.5	Muy severa	Muchas plantas pierden todos sus órganos. Algunos frutos no protegidos se dañan totalmente. Los daños elevados son en las zonas tropicales.

Tabla 5.27 Daños por diferentes intensidades de heladas. Fuente: SEDATU (2014).

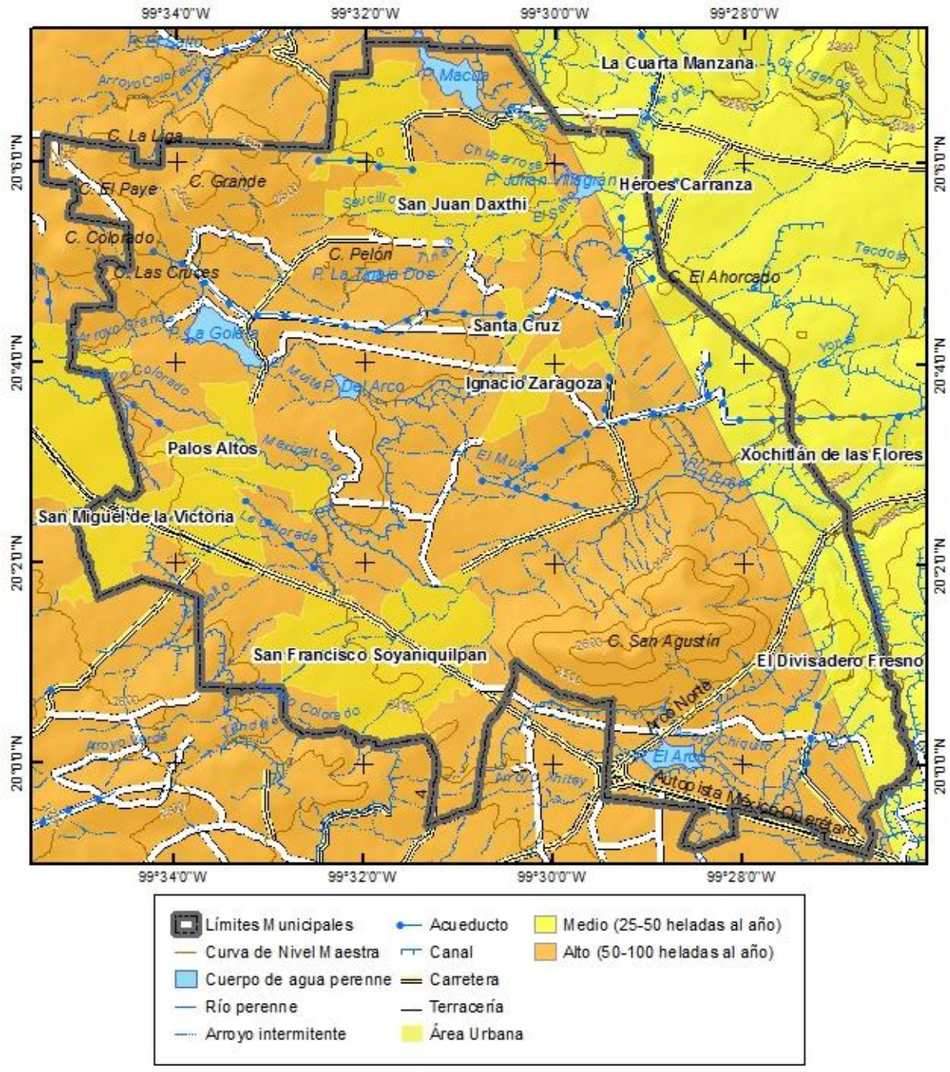


Figura 5.38 Mapa de peligro por heladas en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: UNAM, Atlas Nacional de México.

Vulnerabilidad y Riesgo por Heladas

Aunque las temperaturas sean las mismas en dos días o dos lugares diferentes, sus efectos pueden ser diferentes. Esto depende del viento, la humedad atmosférica y la radiación solar. Si hay viento y la humedad es alta ocurre el congelamiento. Por otra parte, el clima puede ser agradable con temperaturas de 0º C, siempre y cuando no exista viento y la radiación solar sea alta.

Normalmente un ser humano produce una capa de aire más cálida cerca de su cuerpo. Cuando el viento elimina esta capa, el cuerpo tiene que calentarse nuevamente. En este proceso aumenta el consumo de energía, por lo que la temperatura del cuerpo desciende. Otro efecto del viento es que provoca mayor evaporación en el cuerpo. Adicionalmente éste pierde energía cuando hay sudor. Por eso se siente un enfriamiento más rápido cuando el cuerpo está mojado. Por lo anterior, las temperaturas bajas son peligrosas cuando la humedad atmosférica es alta.

Las radiaciones solar y atmosférica ayudan al ser humano a mantener una temperatura agradable. Con la misma temperatura del aire se siente menos frío cuando hay sol, entonces el cuerpo puede absorber una parte de la radiación y calentarse de esta manera.

Aunque es un problema complejo, existen varios métodos para evaluar la vulnerabilidad de las personas a las bajas temperaturas. Para la zonificación de áreas vulnerables a heladas y bajas temperaturas es imprescindible estimar las características socioeconómicas de la población expuesta. En este caso, se utilizó el método del índice de marginación elaborado por CONAPO con base a los datos del Censo de Población y Vivienda del INEGI.

El método utiliza los datos de: Tamaño de la localidad; Viviendas particulares habitadas; Porcentaje de Población de 15 años o más analfabeta; Porcentaje de Población de 15 años o más sin primaria completa; Porcentaje de Viviendas particulares habitadas sin excusado; Porcentaje de Viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica; Porcentaje de Viviendas particulares habitadas sin disponibilidad de agua entubada; Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas; Porcentaje de Viviendas particulares habitadas con piso de tierra; y Porcentaje de Viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador. Con ellos se construye el índice de marginación, el cual tiene como corolario, entre mayor grado de marginación, hay menores probabilidades de presentar niveles adecuados de acceso a instituciones de salud, alimentación, condición sanitaria, conocimiento sobre cuidados a niños y ancianos, así como clase de vivienda, por lo que la vulnerabilidad se incrementa.

Los rangos establecidos presentan las siguientes características:

1. Vulnerabilidad muy baja: Manifiesta excelentes condiciones en la estructura social y económica de la población, que permiten resistir a las bajas temperaturas.

2. Vulnerabilidad baja: Tiene condiciones favorables en su estructura social, principalmente en la vivienda y servicios básicos, que permiten afrontar las consecuencias ocasionadas por bajas temperaturas.

3. Vulnerabilidad media: Expone valores intermedios en la estructura social de la población, que resulta en algunas dificultades como su organización para asimilar los estragos de las bajas temperaturas.

4. Vulnerabilidad alta: Muestra las carencias existentes en la estructura social y económica de la población, para afrontar bajas temperaturas. Además, requiere de ayuda y de periodos largos para solucionar sus necesidades básicas.

5. Vulnerabilidad muy alta: Presenta a la población con sus niveles más bajos en el sector educación, salud, vivienda e ingresos. Por ello, demanda de ayuda externa para recuperarse del desastre, así como de varios años para recobrar la estabilidad en la comunidad. Además, quedan secuelas de largo plazo. Esto implica la tarea de trabajar arduamente en programas de prevención y desarrollo social.

Una vez calculada la vulnerabilidad, se hace la función de riesgo con los datos previamente obtenidos de peligro por localidad, con la ecuación:

Riesgo = Peligro × Vulnerabilidad

En función de lo anterior, el riesgo por AGEB y localidad del Municipio de Soyaniquilpan se desglosa de la siguiente manera:

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por heladas	Riesgo por heladas
1507900010030	San Francisco Soyaniquilpan	1340	Medio	Alto	Medio
1507900010064	San Francisco Soyaniquilpan	441	Bajo	Alto	Medio
1507900010079	San Francisco	428	Alto	Alto	Alto

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por heladas	Riesgo por heladas
	Soyaniquilpan				
1507900010083	San Francisco Soyaniquilpan	426	Alto	Alto	Alto
1507900010098	San Francisco Soyaniquilpan	380	Alto	Alto	Alto
1507900010100	San Francisco Soyaniquilpan	781	Medio	Alto	Medio
1507900010115	San Francisco Soyaniquilpan	369	Medio	Alto	Medio
150790001012A	San Francisco Soyaniquilpan	58	S/D	Alto	S/D
1507900010134	San Francisco Soyaniquilpan	65	S/D	Alto	S/D
150790002	El Divisadero de Zapata	520	Alto	Alto	Alto
150790003	El Divisadero Fresno	1059	Alto	Medio	Alto
150790004	La Goleta	304	Medio	Alto	Medio
150790005	Ignacio Zaragoza	815	Alto	Alto	Alto
150790006	Palos Altos	337	Medio	Alto	Medio
150790007	San Agustín Buenavista	1271	Medio	Alto	Medio
150790009	San Juan Daxthi	1089	Alto	Alto	Alto
150790010	Vistahermosa	229	Alto	Medio	Alto
150790012	San Juan del Cuervo	203	Alto	Alto	Alto
150790013	Gavillero de Santa Ana	141	Medio	Alto	Medio
150790017	San Isidro	306	Alto	Alto	Alto
150790018	San José Deguedó	799	Medio	Alto	Medio
150790020	Santa Cruz	198	Alto	Alto	Alto
150790029	5ta Mza San José Deguedó	161	Alto	Alto	Alto
150790030	3ra Mza San Juan del Cuervo	79	Medio	Medio	Medio

Tabla 5.28 Identificación del peligro, vulnerabilidad y riesgo por Heladas en el Municipio de Soyaniquilpan, a nivel AGEB y Localidad. Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO y SMN.

En general, se observa que los AGEBs de alta marginación son las que presentan muy alto riesgo por la intensidad de heladas. En general, si bien la recurrencia de heladas es media, el riesgo general por intensidad de las Heladas en el Municipio de Soyaniquilpan es **ALTO**.

5.13 Tormentas de Granizo

El granizo es un tipo de precipitación en forma de piedras de hielo y se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulonimbos son arrastrados por corrientes ascendentes de aire.

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. Las piedras de granizo tienen diámetros que varían entre 2 mm y 13 cm, y las mayores pueden ser muy destructivas. A veces, varias piedras pueden solidificarse juntas formando grandes masas informes y pesadas de hielo y nieve.

La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. En las zonas rurales, los granizos destruyen las siembras y plantíos; a veces causan la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones y áreas verdes. En ocasiones, el granizo se acumula en cantidad suficiente dentro del drenaje para obstruir el paso del agua y generar inundaciones durante algunas horas.

Peligro por granizadas

Para determinar el grado de peligro que existe por el fenómeno de granizadas en el Municipio de Soyaniquilpan, se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas del municipio y zonas cercanas, cuyos registros se pueden consultar en el Proyecto Bases de Datos Climatológicos del Servicio Meteorológico Nacional. Con dichos datos se realizó mediante un sistema de información geográfica, una interpolación geoestadística bajo el método de “Natural Neighbor”. Las estaciones utilizadas en dicho método, se presenta a continuación.

Estación	Nombre	Municipio	Granizadas Al Año	Precipitación Promedio Anual	Coord. X (UTM 14N)	Coord. Y (UTM 14N)
13080	Presa Endho	Tepetitlan	0.2	489.0	461945	2229229
13092	Tula (Dge)	Tula De Allende	2.6	557.3	463633	2217728
13149	El Banco	Tepeji Del Rio De Ocampo	8.1	813.2	452998	2205550
15064	Oxthoc	Jilotepec	0.1	724.8	443091	2224823
15217	San Juan Acazuchitlan	Jilotepec	1.3	798.5	437030	2227088
15225	Jilotepec	Jilotepec	0.0	792.4	444370	2206928
15333	El Palmito	Timilpan	0.0	739.7	428830	2202465

Tabla 5.29 Estaciones meteorológicas relevantes para el estudio del granizo en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Proyecto Bases de Datos Climatológicos.

Como resultado de la interpolación, y en función de los criterios del Atlas Nacional de Riesgos, se determinó que en el municipio de Soyaniquilpan, la presencia del fenómeno de granizadas es baja en prácticamente todo el territorio, con la salvedad del extremo oriental, en donde la frecuencia de las granizadas aumenta a media. En el extremo oriente, se encuentra la zona con mayor frecuencia de granizadas, la cual presenta de 6 a 8 eventos al año.

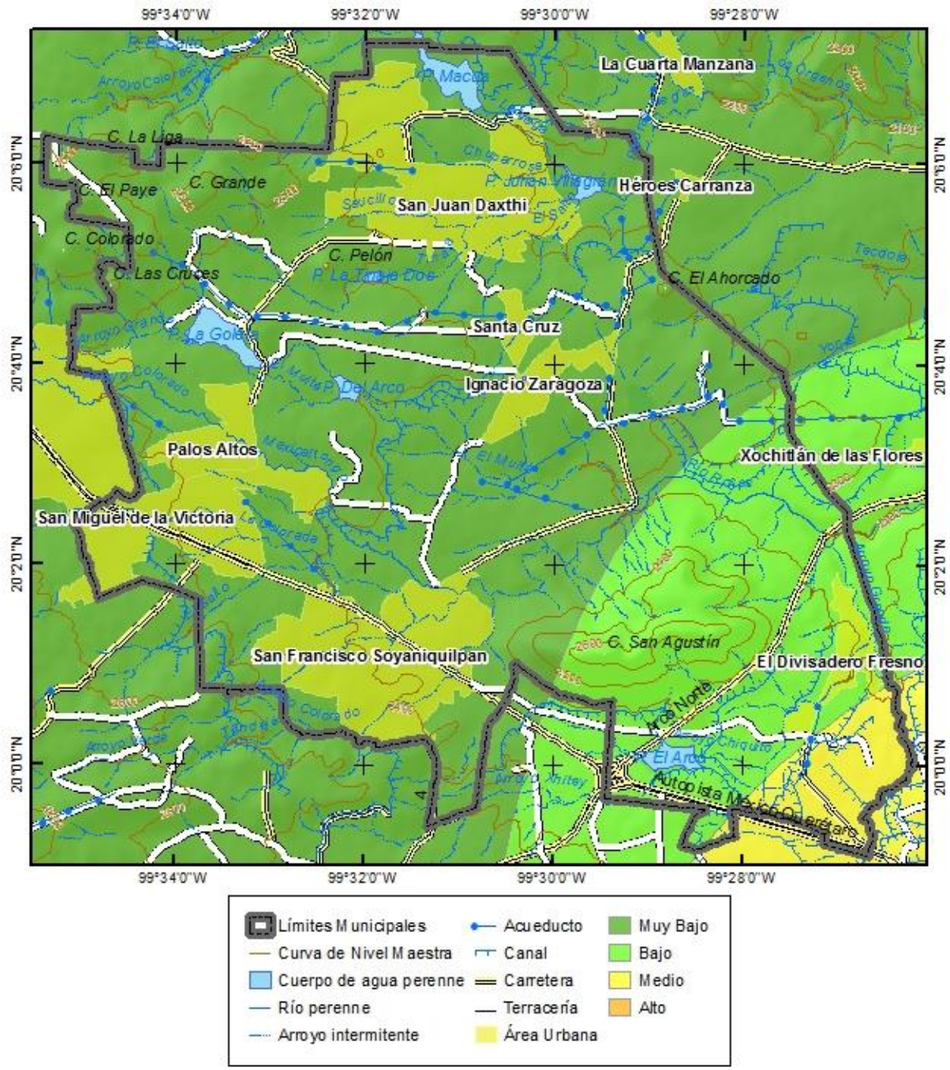


Figura 5.39 Mapa de peligro por Granizadas en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración Propia con datos de SMN

Vulnerabilidad y Riesgo por Granizadas

Para medir la vulnerabilidad de la población al fenómeno de granizadas, se usó el mismo criterio que sobre temperaturas bajas y heladas. Este consiste en la valoración socioeconómica de la población para determinar el grado de acceso que tendría a los servicios médicos, materiales de construcción de vivienda, y alimentación. Una vez calculada la vulnerabilidad, se hace la función de riesgo con los datos previamente obtenidos de peligro por localidad, con la ecuación:

Riesgo = Peligro × Vulnerabilidad

En función de lo anterior, el riesgo por granizadas en los AGEBs del Municipio de Soyaniquilpan se desglosa de la siguiente manera (se omitieron los valores bajos y medios):

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Granizadas	Riesgo por Granizadas
|1507900010030	San Francisco Soyaniquilpan	1340	Medio	Muy Bajo	Bajo
|1507900010064	San Francisco Soyaniquilpan	441	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
|1507900010079	San Francisco Soyaniquilpan	428	Alto	Muy Bajo	Bajo
|1507900010083	San Francisco Soyaniquilpan	426	Alto	Muy Bajo	Bajo
|1507900010098	San Francisco Soyaniquilpan	380	Alto	Muy Bajo	Bajo
|1507900010100	San Francisco Soyaniquilpan	781	Medio	Muy Bajo	Bajo
|1507900010115	San Francisco Soyaniquilpan	369	Medio	Muy Bajo	Bajo
|150790001012A	San Francisco Soyaniquilpan	58	S/D	Muy Bajo	S/D
|1507900010134	San Francisco Soyaniquilpan	65	S/D	Muy Bajo	S/D
|150790002	El Divisadero de Zapata	520	Alto	Bajo	Medio
|150790003	El Divisadero Fresno	1059	Alto	Bajo	Medio
|150790004	La Goleta	304	Medio	Muy Bajo	Bajo
|150790005	Ignacio Zaragoza	815	Alto	Muy Bajo	Bajo
|150790006	Palos Altos	337	Medio	Muy Bajo	Bajo
|150790007	San Agustín Buenavista	1271	Medio	Muy Bajo	Bajo
|150790009	San Juan Daxthi	1089	Alto	Muy Bajo	Bajo
|150790010	Vistahermosa	229	Alto	Muy Bajo	Bajo
|150790012	San Juan del Cuervo	203	Alto	Bajo	Medio
|150790013	Gavillero de Santa Ana	141	Medio	Medio	Medio
|150790017	San Isidro	306	Alto	Medio	Medio
|150790018	San José Deguedó	799	Medio	Muy Bajo	Bajo
|150790020	Santa Cruz	198	Alto	Muy Bajo	Bajo
|150790029	5ta Mza San José	161	Alto	Muy Bajo	Bajo

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Granizadas	Riesgo por Granizadas
	Deguedó				
|150790030	3ra Mza San Juan del Cuervo	79	Medio	Medio	Medio

Tabla 5.30 Zonificación de riesgo por granizadas en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de SMN y CONAPO.

En general, para el Municipio de Soyaniquilpan, el riesgo por Tormentas de Granizo es **BAJO.**

5.14 Tormentas de Nieve

Las nevadas, son una forma de precipitación sólida en forma de copos. Un copo de nieve es la aglomeración de cristales transparentes de hielo que se forman cuando el vapor de agua se condensa a temperaturas inferiores a la de solidificación del agua. La condensación de la nieve tiene la forma de ramificaciones de cristales hexagonales planos.

Los fenómenos meteorológicos que provocan las nevadas son las masas de aire polar y los frentes fríos, que en algunas ocasiones llegan a interactuar con corrientes en chorro, líneas de vaguadas, y entrada de humedad de los océanos hacia tierra. Estos fenómenos provocan tormentas invernales que pueden ser en forma de lluvia, aguanieve o nieve.

Debido a la situación geográfica del Municipio de Soyaniquilpan las nevadas son eventos extraordinarios. Sin embargo, eventualmente pueden formarse nevadas en el municipio por influencia de corrientes frías provenientes del norte del país.

El CENAPRED ha identificado que el Municipio de Soyaniquilpan tiene, en general, un peligro muy bajo o nulo por nevadas, debido a que el índice de frecuencia es de 0, es decir, que la probabilidad de que se presente el fenómeno es de 0% durante el trimestre más frio del año.

Debido a que el peligro es nulo, la exposición es también casi nula. Por lo tanto, el grado de Riesgo por Nevadas en el Municipio de Soyaniquilpan es **NULO**.

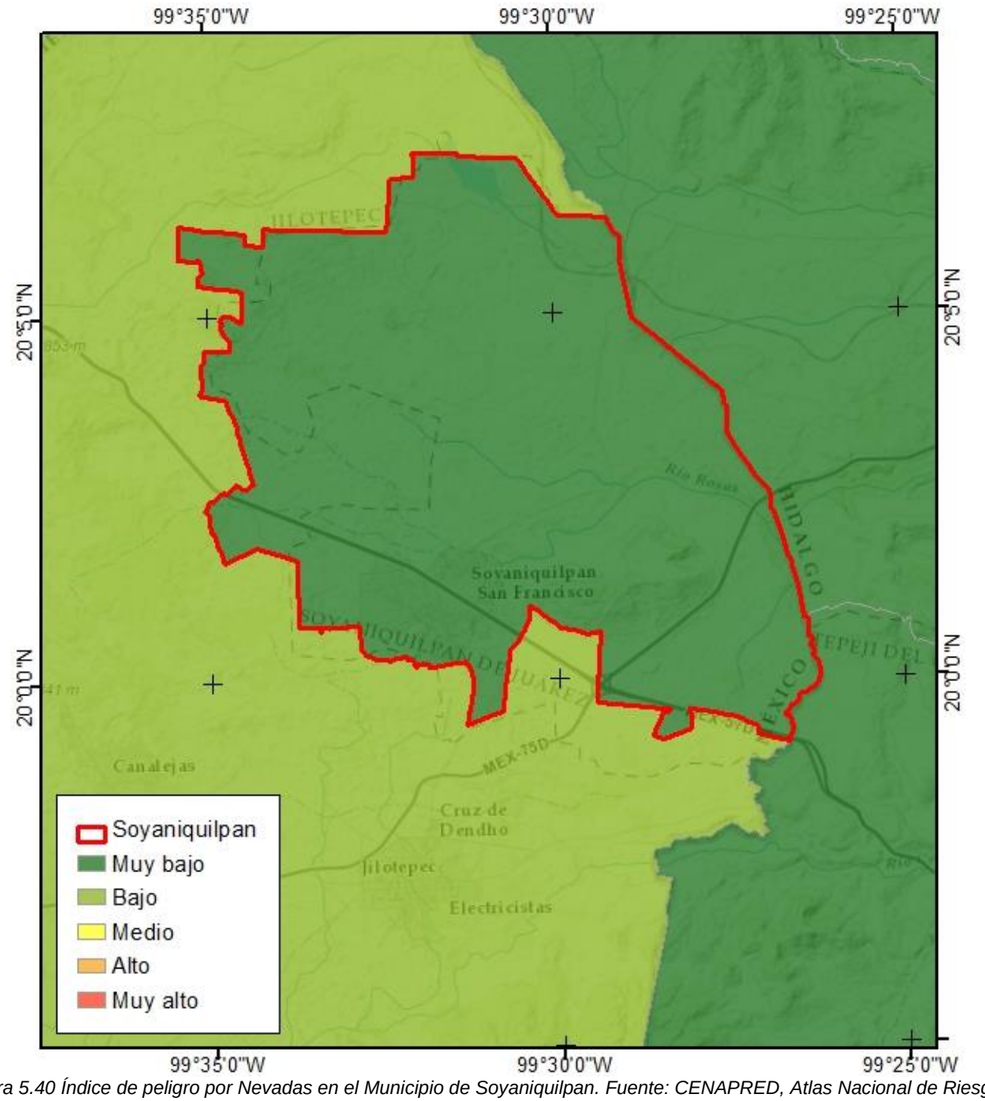


Figura 5.40 Índice de peligro por Nevadas en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: CENAPRED, Atlas Nacional de Riesgos.

5.15 Ciclones Tropicales

Los Ciclones son fenómenos meteorológicos que se originan en los océanos o en las áreas costeras tropicales. Se desarrollan sobre extensas superficies de agua cálida y pierden su fuerza cuando penetran en tierra. Sin embargo, debido a la extraordinaria fuerza de estos fenómenos, así como al tamaño que llegan a tener, pueden afectar zonas continentales, aunque en menor grado que a las zonas costeras. En el caso del Municipio de Soyaniquilpan, debido a los 250 km de distancia a la costa más cercana, a estar a más de 2410 m sobre el nivel del mar, y a la barrera orográfica que representa el Eje Neovolcánico Transversal, estos fenómenos no pueden presentarse y causar afectaciones directas. Por lo tanto, se determinó que este peligro es **NULO** en el Municipio de Soyaniquilpan.

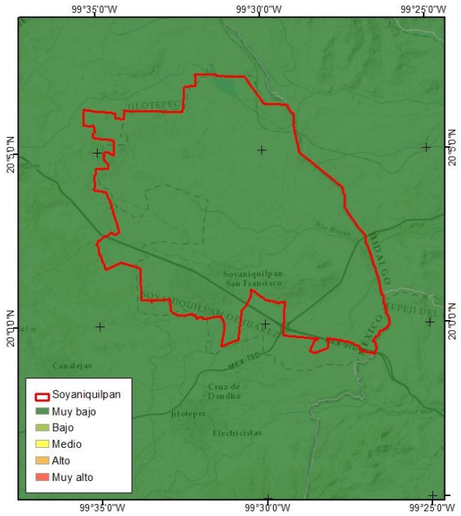


Figura 5.41 Índice de peligro por Ciclones Tropicales en el Municipio de Soyaniquilpan, donde se observa que el peligro es nulo (muy bajo). Fuente: CENAPRED, Atlas Nacional de Riesgos.

5.16 Tornados

El aire que circula sobre la Tierra se denomina viento, pero existen vientos de superficie y "vientos planetarios de altura"; estos últimos forman parte de la circulación general del aire en lo alto de la troposfera. La distribución desigual de la presión es lo que causa el movimiento del aire, ya que éste se desplaza desde las áreas de alta presión hacia áreas de baja presión, en un intento por lograr un equilibrio. Este gradiente de presión es la fuerza conductora que está detrás de todos los vientos, incluyendo los de superficie.

Los vientos de mayor intensidad pueden ser peligrosos ya que dañan a la infraestructura, produciendo ello a su vez, daños a las personas y a sus bienes. El fenómeno de los huracanes, se mide, de hecho, en función de los vientos, toda vez que son ellos los que causan los mayores perjuicios a la sociedad.

No se consideró la influencia de los vientos generados por tornados debido a que existe escasa información al respecto y por estimarlos como eventos de baja ocurrencia, que de manera perceptible sólo se presentan en algunas regiones de los estados de Sonora, Coahuila, Nuevo León, Chihuahua y Tamaulipas, tal y como lo reporta la National Climatic Data Center de Estados Unidos, en su análisis de zonas con probabilidad de presentar tornados en América del Norte. Por lo tanto, se determinó que este peligro es **NULO** en el Municipio de Soyaniquilpan.

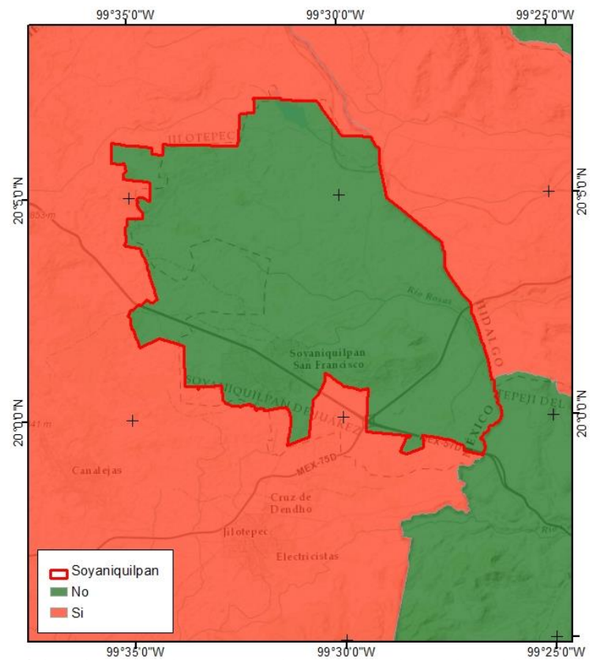


Figura 5.42 Mapa de Presencia de tornados en municipios de México, donde se observa que el peligro es nulo en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: CENAPRED, Atlas Nacional de Riesgos.

5.17 Tormentas de Polvo

Las tormentas de polvo ocurren cuando, en zonas con escasa cubierta vegetal (zonas semidesérticas), los vientos de superficie alcanzan a levantar partículas de suelo y polvo que llegan a alcanzar alturas de hasta 1km, y avanzan rápidamente, impidiendo la visión parcialmente. Estos eventos no ocurren en el centro del país, y aunque se procedió a consultar los registros históricos y entrevistar a los ancianos del lugar, no se reportaron este tipo de tormentas en al menos 85 años de memorias de los pobladores. Esta información es congruente con varios hechos geográficos: la zona es de lomeríos y los vientos superficiales no pueden tomar mucha fuerza, y la cubierta vegetal además de los cultivos, prácticamente no dejan suelos desnudos. Por lo tanto, se determinó que este peligro es **NULO** en el Municipio de Soyaniquilpan.

5.18 Tormentas Eléctricas

Las tormentas eléctricas son un fenómeno meteorológico caracterizado por la presencia de rayos en la atmósfera terrestre. Las tormentas eléctricas por lo general están acompañadas por vientos fuertes, lluvia copiosa y a veces granizo, por lo que asociado a este fenómeno se presentan inundaciones y deslaves. Ahora bien, los rayos de las tormentas eléctricas son de tres tipos principales: descargas nube-nube, intranube y nube-tierra, siendo estos últimos los que interesan a este documento.

Los riesgos directos de los rayos nube-tierra (o mejor conocidos como rayos a tierra) son los incendios forestales, descargas a edificios o estructuras e incluso choques eléctricos a personas que producen desde heridas leves hasta la muerte. El riesgo a la navegación aérea por tormentas eléctricas queda fuera del alcance de la presente investigación.

Por otro lado, las lluvias extraordinarias implican una o varias precipitaciones que superan en volumen registrado al promedio histórico de las lluvias mensuales. Estas lluvias pueden acelerar y/o detonar procesos de deslizamiento de laderas, erosión, derrumbes, hundimientos e inundaciones. Es importante aclarar que las lluvias normales también pueden causar los mismos efectos, aunque la probabilidad es ligeramente menor.

Peligro por Tormentas Eléctricas

El Municipio de Soyaniquilpan según datos del GHCC Lightning Team de la NASA, obtenidos a través del sensor Lightning Imaging Sensor (LIS), a bordo del satélite meteorológico TRMM, registró durante el periodo de enero 1998 a febrero 2012, hasta 2500 rayos. Sin embargo, es preciso aclarar que el sensor LIS mide los rayos de todo tipo, incluyendo nube-tierra, nube-nube, e intranube. Por ello, para determinar el peligro existente en el Municipio, se obtuvieron los datos de Comisión Federal de Electricidad y el Instituto de Investigaciones Eléctricas, los cuales reportan que el promedio anual de densidad de rayos a tierra en el Municipio de Soyaniquilpan oscila entre 4 a 6 rayos por km² por año.

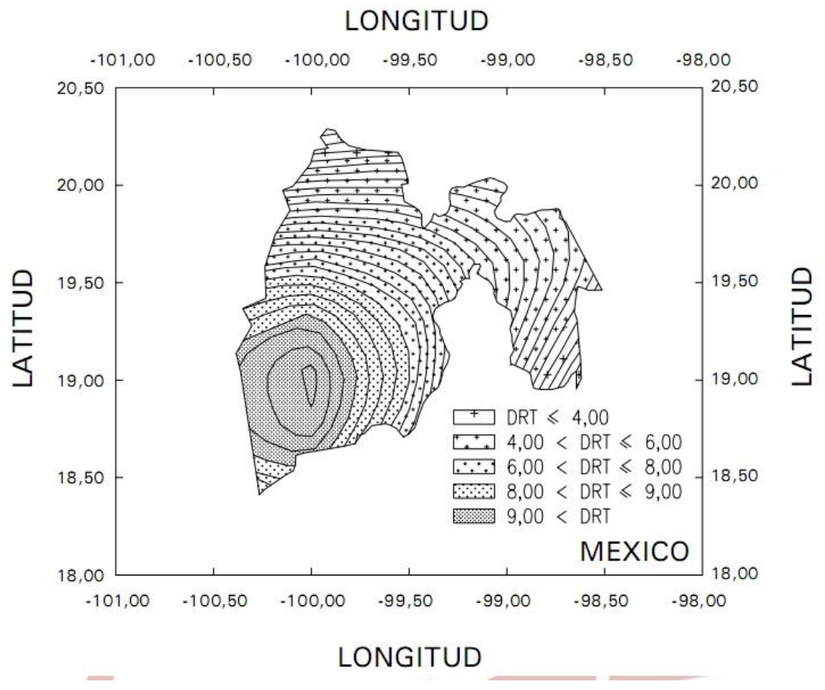


Figura 5.43 Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra en el Estado de México. Fuente: NMX-J-549-ANCE-2005

Por otro lado, con los datos de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio y aledañas, se identificó la distribución y la frecuencia de las tormentas eléctricas del periodo de 1951 a 2010. Éste fenómeno es frecuente en la mitad más húmeda del año, principalmente entre junio, julio, agosto y septiembre.

Para obtener el mapa de frecuencia de tormentas eléctricas, se realizó una interpolación mediante un sistema de información geográfica de los datos de las estaciones meteorológicas del SMN, los cuales tienen un periodo de datos de aproximadamente 30 años. La interpolación se realizó según el sistema de Natural Neighbor, el cual es un método de interpolación espacial en 2D, que se basa en la teselación de Voronoi de un conjunto discreto de puntos espaciales. Este método proporciona una aproximación más suave con relación a los datos reales, pero proporciona un modelado más coherente con el espacio.

La ecuación básica en 2D es la siguiente:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{k} w_i(x) a_i$$

Donde $f(x)$ es el valor interpolado del punto x, para cualquier x, el valor de $w_i(x)$ será siempre de entre 0 y 1. El método usado en el GIS propone una medida estándar para el cálculo de los pesos, y la selección de los puntos vecinos para la interpolación.

Como resultado de la interpolación anterior se obtuvo el mapa de frecuencias de tormentas eléctricas, donde se observa una muy baja presencia del fenómeno en el área urbana del municipio con una tendencia de incremento del peligro en el extremo poniente del polígono municipal. Con el análisis de los datos de las estaciones meteorológicas, se identificó que el gradiente de tormenta eléctrica en el municipio varía desde 5 eventos al año al noroeste, 10 al centro y hasta 15 al sureste.

Estación	Nombre	Municipio	Tormentas Eléctricas Al Año	Precipitación Promedio Anual	Coord. X (UTM 14N)	Coord. Y (UTM 14N)
13080	Presa Endho	Tepetitlan	5.3	489.0	461945	2229229
13092	Tula (Dge)	Tula De Allende	9.9	557.3	463633	2217728
13149	El Banco	Tepeji Del Rio De Ocampo	19.4	813.2	452998	2205550
15064	Oxthoc	Jilotepec	1.0	724.8	443091	2224823
15217	San Juan Acazuchitlan	Jilotepec	2.9	798.5	437030	2227088
15225	Jilotepec	Jilotepec	7.8	792.4	444370	2206928
15333	El Palmito	Timilpan	0.5	739.7	428830	2202465

Tabla 5.31 Tormentas eléctricas en la región del Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Normales Climatológicas, Servicio Meteorológico Nacional.

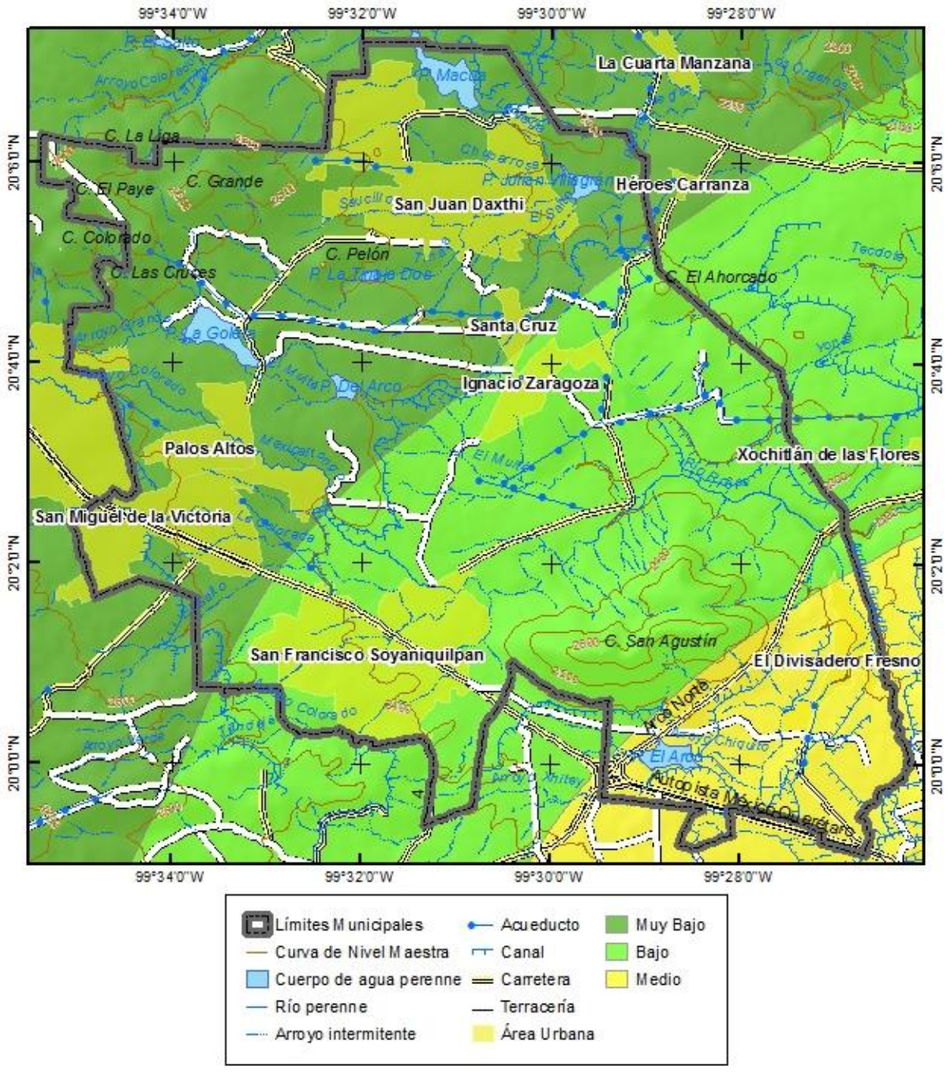


Figura 5.44 Mapa de Tormentas Eléctricas promedio en el Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia con datos de SMN.

Vulnerabilidad y Riesgo por Tormentas Eléctricas

La vulnerabilidad a las tormentas eléctricas en el municipio de Soyaniquilpan, puede variar según las características socioeconómicas de la población. Sin embargo, la exposición al fenómeno es baja debido a la existencia de pararrayos en la zona, que inhiben daños de este fenómeno a las zonas habitadas. No existen reportes de daños causados por este tipo de eventos a nivel histórico en el municipio. Por otro lado, en función de la zonificación del peligro y la vulnerabilidad, se estableció que el riesgo por Tormentas Eléctricas en el Municipio de Soyaniquilpan es **MEDIO**.

Clave AGEB/Localidad	Nombre	Población	Vulnerabilidad	Peligro por Tormentas Eléctricas	Riesgo por Tormentas Eléctricas
|1507900010030	San Francisco Soyaniquilpan	1340	Medio	Bajo	Bajo
|1507900010064	San Francisco Soyaniquilpan	441	Bajo	Bajo	Bajo
|1507900010079	San Francisco Soyaniquilpan	428	Alto	Bajo	Medio
|1507900010083	San Francisco Soyaniquilpan	426	Alto	Bajo	Medio
|1507900010098	San Francisco Soyaniquilpan	380	Alto	Bajo	Medio
|1507900010100	San Francisco Soyaniquilpan	781	Medio	Bajo	Bajo
|1507900010115	San Francisco Soyaniquilpan	369	Medio	Bajo	Bajo
|150790001012A	San Francisco Soyaniquilpan	58	S/D	Bajo	S/D
|1507900010134	San Francisco Soyaniquilpan	65	S/D	Bajo	S/D
|150790002	El Divisadero de Zapata	520	Alto	Alto	Alto
|150790003	El Divisadero Fresno	1059	Alto	Alto	Alto
|150790004	La Goleta	304	Medio	Bajo	Medio
|150790005	Ignacio Zaragoza	815	Alto	Bajo	Medio
|150790006	Palos Altos	337	Medio	Muy Bajo	Bajo
|150790007	San Agustín Buenavista	1271	Medio	Bajo	Medio
|150790009	San Juan Daxthi	1089	Alto	Muy Bajo	Medio
|150790010	Vistahermosa	229	Alto	Bajo	Medio
|150790012	San Juan del Cuervo	203	Alto	Alto	Alto
|150790013	Gavillero de Santa Ana	141	Medio	Medio	Medio
|150790017	San Isidro	306	Alto	Alto	Alto
|150790018	San José Deguedó	799	Medio	Muy Bajo	Bajo
|150790020	Santa Cruz	198	Alto	Muy Bajo	Medio

|150790029	5ta Mza San José Deguedó	161	Alto	Muy Bajo	Medio
|150790030	3ra Mza San Juan del Cuervo	79	Medio	Medio	Medio

Tabla 5.32 Determinación de Riesgo por Tormenta Eléctrica en el Municipio de Soyaniquilpan a nivel AGEB y Localidad. Fuente: Elaboración propia con datos de SMN y CONAPO.

5.19 Lluvias extremas

Las lluvias extremas son aquellos eventos en los cuales se precipita una cantidad mayor de agua a lo usual en un solo evento, o bien en varios continuos. Para saber cuánto es lo usual, se toman en cuenta los valores promedio históricos y en función de los datos mensuales se calcula una precipitación "normal" y por ende, una extraordinaria.

Peligro por Lluvias Extremas

Más allá de las tormentas eléctricas, las lluvias extraordinarias históricamente han causado los mayores desastres en el municipio, por lo que es necesario revisar su probabilidad. Estas lluvias, pueden presentar fenómenos de rayos, pero no es una condicionante. Incluso pueden ser lluvias poco intensas, pero muy prolongadas. Además, las lluvias extraordinarias pueden aparecer en varios episodios repartidos en varios días, y no necesariamente en una sola emisión.

Las lluvias extraordinarias, para considerarse como tales deben superar los valores promedio mensuales de precipitación más una desviación estándar para cada una de las cuatro principales estaciones meteorológicas de la zona, mostradas en la siguiente tabla:

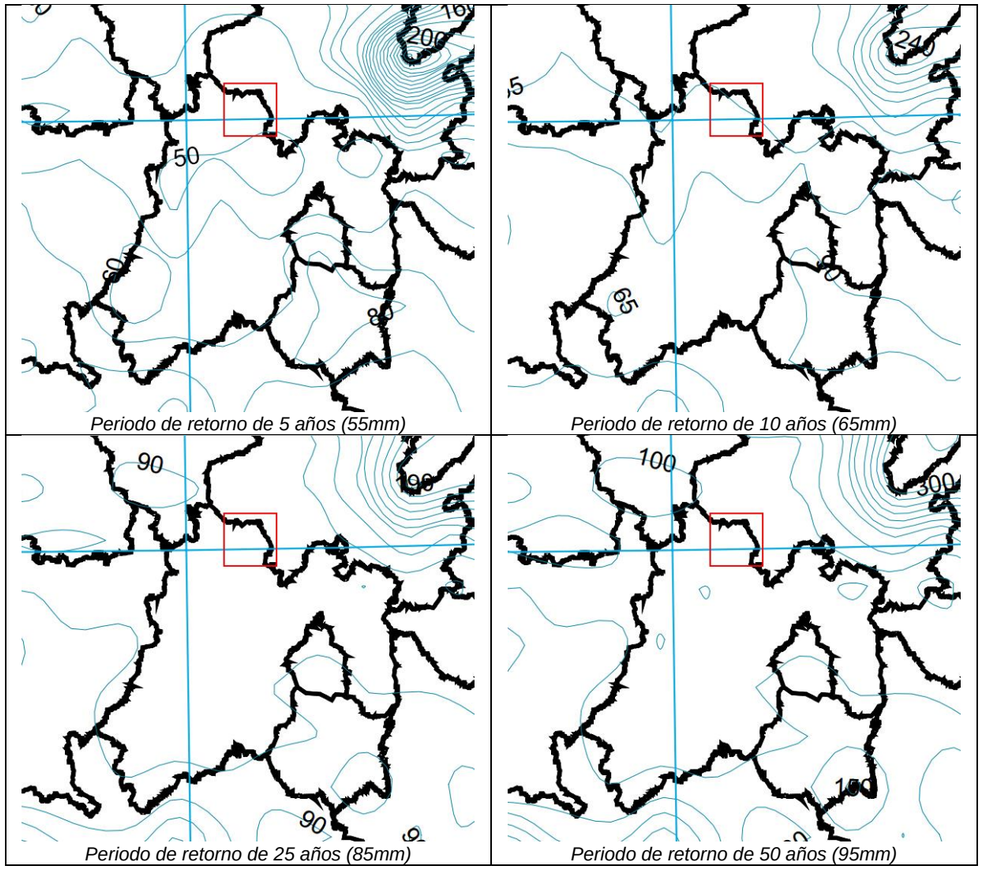
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Estación 15225 Jilotepec													
Normal	14.3	13.8	13.1	24.6	63.2	129.6	154.1	132.5	127.8	86.8	17.3	15.3	792.4
Máxima mensual	86.7	132.8	85	85.2	233.1	246	376.1	275.8	327.1	477.1	103.9	124.4	
Año de máxima	1995	1979	2001	1981	1982	2004	1983	1989	1983	1980	1993	1979	
Máxima diaria	76	60	29.4	38.5	85.7	81	95	65.8	67.7	160	54.5	80	
Fecha máxima diaria	24 - 1995	10 - 1979	24 - 2001	14 - 2008	30 - 2000	16 - 2003	06 - 2000	26 - 1989	29 - 1976	21 - 1980	02 - 1993	15 - 1979	
Años con datos	28	27	27	28	28	28	28	28	29	28	27	27	
Estación 15064 Oxthoc													
Normal	11.8	9	13.1	30.4	63.6	126.8	145.6	121.5	119	59.9	15.6	8.5	724.8
Máxima mensual	65.5	41	70.8	104.5	150	271	251.5	298	299.5	171	85.5	50.5	
Año de máxima	1992	1990	1966	1997	1982	1970	1983	2008	2003	2005	1986	1979	
Máxima diaria	27	19	20	42	69	82	84	66	73	60	58	17	
Fecha máxima diaria	28 - 1992	20 - 1990	19 - 1963	28 - 2006	25 - 1983	10 - 2008	06 - 2005	19 - 2008	21 - 1998	11 - 1986	01 - 1992	15 - 1979	
Años con datos	45	45	46	45	46	45	46	45	44	44	45	43	

Tabla 5.33 Registros históricos de precipitación en las estaciones meteorológicas 15225 y 15064 cercanas al Municipio de Soyaniquilpan. Fuente: Normales Climatológicas, Servicio Meteorológico Nacional.

Ahora bien, las lluvias extraordinarias pueden afectar al Municipio de Soyaniquilpan de varias maneras. Puede ser un cumulo de eventos a lo largo de varios días, incluso semanas, que como resultado sobrepasen el promedio de precipitación para el mes en el que ocurren. Pero también se pueden presentar como un solo evento o varios distribuidos en un máximo de 24 horas. El CENAPRED ha identificado las lluvias probables para distintos periodos de retorno para eventos de 24 horas, los cuales pueden interpretarse como los máximos esperados en un determinado espacio temporal.

De acuerdo al CENAPRED, la lluvia probabilística para un evento de 24 y periodo de retorno de 5 años es de 53mm en el municipio. En el escenario de lluvias probabilísticas para un periodo de 10 años, la cantidad de lluvia se incrementa a 65mm; para un periodo de retorno de 25 años será de 85mm; para 50 años, 95mm. Por ejemplo, la precipitación máxima esperada para un periodo de retorno de 10 años, en Soyaniquilpan es de 65mm, es decir, 65 litros de agua por metro cuadrado en un periodo de 24 horas. En este escenario, en un solo día, caería la lluvia equivalente al 8% del total anual.

A continuación, se presentan los escenarios de las lluvias máximas probables para periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años para una duración de 24 horas.



Periodo de retorno de 5 años (55mm)

Periodo de retorno de 10 años (65mm)

Periodo de retorno de 25 años (85mm)

Periodo de retorno de 50 años (95mm)

Figura 5.45 Escenarios por lluvias probabilísticas a 5, 10, 25 y 50 años con una duración de 24 horas. Fuente: CENAPRED.

Vulnerabilidad y Riesgo por Lluvias Extremas

Las tormentas eléctricas y en mayor grado las lluvias extraordinarias son fenómenos que a pesar de no representar peligros directos, están estrechamente asociados a otros peligros como procesos de remoción en masa e inundaciones. La vulnerabilidad a las lluvias extraordinarias, no se medirá en esta sección, sino que se tratará en los apartados de procesos de remoción en masa (en sus diversas modalidades) e inundaciones. Sin embargo, debido a que en general la vulnerabilidad para esos fenómenos fue de media a muy alta, por extensión, el riesgo por lluvias extraordinarias es **ALTO** para el Municipio de Soyaniquilpan.

5.20 Inundaciones Pluviales, Fluviales y Lacustres

Las inundaciones son un fenómeno en el cual se anega de agua un área determinada que generalmente está libre de ésta. El agua proviene del desbordamiento de ríos, represas, o escurrimientos de partes altas y se asocia a lluvias intensas, en el área o incluso en otras lejanas. A pesar de considerarse un fenómeno natural, tiene una alta influencia de los procesos de ocupación del territorio y construcción de infraestructura, ya que a menudo el riesgo existe cuando se establecen viviendas en zonas inundables y se crean embudos artificiales que impiden el libre tránsito de las avenidas de agua.

Las inundaciones son uno de los peligros más comunes en el Municipio de Soyaniquilpan, a menudo las inundaciones se desarrollan lentamente, pero las más dañinas son repentinas e incluso finalizan en sólo unas horas, sin señales visibles de lluvia en la zona inundada. Las inundaciones repentinas consisten en una avenida de agua con gran fuerza de arrastre y con una carga de escombros que encuentra en su paso. Las inundaciones ocurren sobre los márgenes de un río, canal o arroyo definido, pero también pueden generarse por la confluencia de aguas en zonas bajas. Los efectos individuales de las inundaciones generalmente son muy locales, afectando a un grupo de casas o algunas calles.

Las zonas donde ocurren inundaciones son el centro de la cabecera municipal, en dos lugares diferentes, el Centro Recreativo Ojo de Agua y la Preparatoria 80; también la localidad de Palos Altos, y una gran llanura de inundación que abarca las localidades de San Agustín, El Tejón, El Capulín y Zona Centro.

En el caso de la zona centro, agua proveniente de las partes altas del municipio escurre por la calle Estación, calle Capilla, calle Gustavo Baz con un flujo que invade el total de las vialidades con un tirante de 30 cm de agua desembocando en el Centro Recreativo Ojo de Agua, donde también se encuentra la primaria Gustavo Baz; en 2008 la corriente derribo la barda de la primaria y en septiembre de 2013 el agua alcanzo un metro de profundidad en esta zona. En 2004 se desbordo el arroyo frente a la Preparatoria No. 80, arrastrando varios vehículos, esta fue la segunda vez que se registró un evento similar ya que anteriormente ya había ocurrido en 1989. En el Centro de Salud San Francisco Soyaniquilpan, tienen que poner costaleras para que el agua no se introduzca a la unidad médica.

En la comunidad Palos Altos se ha desbordado el Arroyo Colorado en 1985 y 2004, pasando sobre la vialidad, actualmente se encuentran viviendas en torno al punto.

La Presa El Arco, se ha desbordado en 2 ocasiones, en 1957 y en 1993, apenas en julio 2014, se emitió una declaratoria de alerta por parte de Conagua, ya que había alcanzado su máxima capacidad y el flujo rompió parte de la cortina, actualmente se encuentra agrietada y hay compromiso de reparación por parte de Conagua, en caso de desborde estarían en alto riesgo las localidades de San Agustín, El Tejón, El Capulín y Zona Centro.

5.20.1 Modelación hidráulica

Para determinar el peligro por inundación en la zona, se realizó el análisis en función de la metodología del CENAPRED, el cual consiste en el cálculo del gasto líquido según varios periodos de retorno. Antes de calcular el gasto líquido (Q_p), se debe determinar la pendiente, el área, la longitud del cauce principal, la precipitación esperada a varios periodos de retorno, el tiempo de concentración de la lluvia, y la intensidad de la misma. A continuación se presentan los elementos para los cálculos de las zonas inundables del municipio de Soyaniquilpan.

1. Identificación de la cuenca del arroyo
2. Clasificación de las cuencas hidrológicas
3. Características fisiográficas de la cuenca
   3.1. Parteaguas
   3.2. Área de la cuenca
   3.3. Longitud del cauce principal
   3.4. Pendiente del cauce principal
   3.5. Tipo de suelo
4. Estimación del escurrimiento a la salida de la cuenca
5. Volumen permisible (modelo digital de elevación)

Ahora bien, empleando el caso de las inundaciones en la cabecera municipal, se procede a mostrar la utilización de la metodología, en función de la Metodología de CENAPRED.

5.20.1.1 San Francisco Soyaniquilpan

En esta zona se han presentado inundaciones recurrentes en años recientes, debido a que es una zona de microtopografía baja donde de forma natural se reúnen las aguas de las lluvias. Sin embargo, se ha ido urbanizando el área, dificultando la salida natural del agua por el arroyo sin nombre que cruza la cabecera municipal. Como consecuencia, en época de lluvias el agua ha llegado a tener 100cm de tirante en la zona más baja, mientras que en las vialidades ha habido hasta 30cm.

Con el modelo digital de elevación de la zona, incorporado a un Sistema de Información Geográfica, se estimó que la pendiente general del drenaje principal es de 3.37 %. Su longitud es de 2997 m, y su área es de 3.8 km^2.

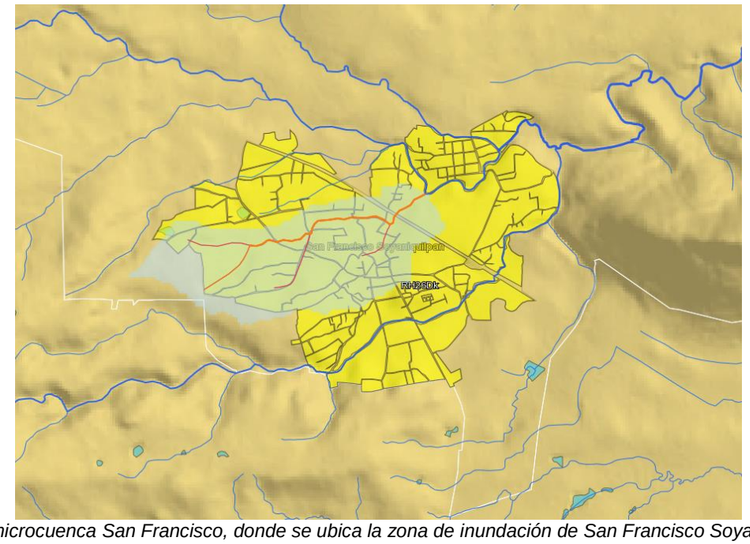
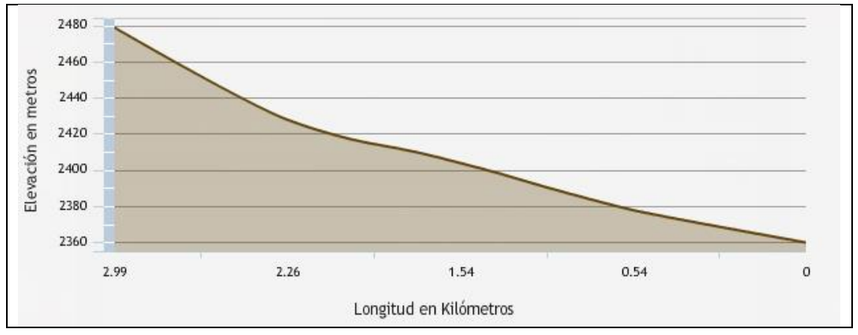


Figura 5.46 Delimitación de la microcuenca San Francisco, donde se ubica la zona de inundación de San Francisco Soyaniquilpan. Fuente: SIATL INEGI.



Grafica 5.6 Perfil del terreno en la microcuenca San Francisco. Fuente: SIATL INEGI.

Para obtener el tiempo de concentración (t_c), se utilizó la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

t_c tiempo de concentración, en horas
S pendiente media del cauce principal
L longitud del cauce principal, en m

Sustituyendo los valores de la pendiente y la longitud del cauce principal,

$$t_c = 0.000325 \frac{2997^{0.77}}{0.0337^{0.385}} = 0.57\ horas = 34.19\ minutos$$

Para que ocurran avenidas súbitas, el tiempo de concentración debe ser menor a 4 horas, por lo que en esta microcuenca, con un t_c de 34 minutos existe el peligro de que ocurra dicho fenómeno.

Por otro lado, se determinaron los valores de precipitación máxima para la microcuenca Zona Centro según diversos periodos de retorno en duraciones de 1 y 24 horas, los cuales se presenta a continuación.

Duración de la Precipitación	*hp* PR 2 años	*hp* PR 10 años	*hp* PR 50 años	*hp* PR 100 años	*hp* PR 250 años
1 h (mm)	32	35	40	55	60
24 h (mm)	40	65	75	80	90

Tabla 5.34 Periodos de retorno de lluvias en la microcuenca San Francisco. Fuente: CENAPRED.

Para calcular el gasto líquido fue necesario obtener la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), por lo que se realizó una interpolación entre los valores de la lámina de lluvia para d = 24 horas y d = 1 hora, para cada uno de los periodos de retorno considerados.

Con el valor del tiempo de concentración, se procedió a calcular la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración (d = t_c = 0.57 horas). A continuación se presentarán los cálculos para un periodo de retorno de dos años (PR = 2 años)

hp PR 2 (1h) = 32 mm
hp PR 2 (24h) = 40 mm
t_c = 0.57 h

$$hp(t_c) = \frac{hp(24) - hp(1)}{3.1781} * \ln t_c + hp(1)$$

Sustituyendo:

$$hp(t_c) = \frac{hp(40) - hp(32)}{3.1781} * \ln 0.57 + hp(32) = 30.58455\ mm$$

Por lo tanto, la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración es de 30.58 mm. Finalmente, para obtener la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), se divide la lámina de lluvia antes mencionada entre el valor del tiempo de concentración.

$$i = \frac{hp(t_c)}{t_c}$$

Sustituyendo por los valores de PR = 2 años;

$$i = \frac{30.58455\ mm}{0.57} = 53.66702\ mm/h$$

Por lo tanto, el valor de la intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración es de 38.78 mm/h para un periodo de retorno de dos años. En la siguiente tabla se observan las láminas de lluvia para los diferentes periodos de retorno, así como las intensidades de lluvia esperadas.

PR	*hp* (1h) mm	*hp* (24h) mm	*hp* (t_c) mm	*i* mm/h
2 años	32	40	30.58	53.67
10 años	40	75	33.81	59.32
50 años	55	80	50.58	88.75
100 años	60	90	54.69	95.97
250 años	75	100	70.58	123.84

Tabla 5.35 Valores de lámina de lluvia e intensidad de la lluvia para diferente periodos de retorno en la microcuenca San Francisco. Fuente: Elaboración propia

El gasto de diseño se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Q_p = 0.278 * C_e * i * A$$

Donde:
Q_p gasto máximo o de pico, en m^3/s
C_e coeficiente de escurrimiento
i intensidad media de la lluvia, mm/h
A área de la microcuenca, en km^2

Para determinar el coeficiente de escurrimiento se sigue el procedimiento de la NOM-011-CNA-2000, en función del tipo y usos de suelos y del volumen de precipitación anual en la cuenca de estudio.

Con apoyo en los servicios del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de visitas de campo, se clasifican los suelos en la microcuenca de estudio, en tres diferentes tipos:

- A (suelos permeables)
- B (suelos medianamente permeables) y
- C (suelos casi impermeables)

Los tipos de suelo anteriores que se especifican en la tabla siguiente y, al tomar en cuenta el uso actual del suelo, se obtiene el valor del parámetro *K*.

TIPO DE SUELO	CARACTERISTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
Cultivos:			
En Hilera	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,24	0,27	0,30
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% - Poco -	0,14	0,20	0,28
Del 50 al 75% - Regular -	0,20	0,24	0,30
Menos del 50% - Excesivo -	0,24	0,28	0,30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50%	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25%	0,22	0,28	0,30
Zonas urbanas	0,26	0,29	0,32
Caminos	0,27	0,30	0,33
Pradera permanente	0,18	0,24	0,30

A

K: PARÁMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL (Ce)
Si K ≤ 0.15	$Ce = K\frac{(P-250)}{2000}$
Si K > 0.15	$Ce = K\frac{(P-250)}{2000} + \frac{(K-0.15)}{1.5}$

B

Tabla 5.36 Valores de K en función del tipo y uso de suelo (A) y fórmulas para el cálculo del Coeficiente de Escurrimiento (B). Fuente: CONAGUA

De acuerdo con las características de la microcuenca tributaria, de la tabla anterior se obtuvo un valor para el parámetro *K* de 0.26 (Combinación Suelo A + Zona Urbana.)

Una vez obtenido el valor de *K*, el coeficiente de escurrimiento anual "C_e", se calcula mediante las fórmulas de la tabla anterior.

Dado que *K*>0.15, se utiliza la fórmula

$$C_e = K\frac{(P-250)}{2000} + \frac{(K-0.15)}{1.5}$$

Donde:

C_e coeficiente de escurrimiento, adimensional
K parámetro que depende del uso, tipo y cubierta del suelo, 0.26
P precipitación anual, 792.4 mm
Sustituyendo:

$$C_e = 0.26\frac{(792.4 - 250)}{2000} + \frac{(0.26 - 0.15)}{1.5} = 0.08958$$

Con base en lo anterior, el coeficiente de escurrimiento estimado para la microcuenca de estudio, resultó C_e = 0.089. Con el coeficiente de escurrimiento, el área de la cuenca de aportación (3.8 km^2) y la intensidad de la lluvia, se estimaron los gastos líquidos generados en la cuenca, mediante la fórmula previamente expuesta.

$$Q_p = 0.278 * C_e * i * A$$

Donde:
Q_p gasto máximo o de pico, en m^3/s
C_e coeficiente de escurrimiento
i intensidad media de la lluvia, mm/h
A área de la microcuenca, en km^2

Sustituyendo para el ejemplo de PR = 2 años:

$$Q_p = 0.278 * 0.08958 * 53.67 mm/h * 3.8\ km^2 = 5.07856\ m^3/s$$

De la misma forma se calcularon los valores de los gastos líquidos para los diferentes periodos de retorno, mismos que se muestran en la siguiente tabla.

PR	i (mm/h)	Q_p (m^3/s)
2 años	53.67	5.08
10 años	59.32	5.61
50 años	88.75	8.40
100 años	95.97	9.08
250 años	123.84	11.72

Tabla 5.37 Gasto líquido esperado para diferentes periodos de retorno en la microcuenca San Francisco. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, con estos datos se debe determinar del área hidráulica permisible. El área hidráulica permisible es el área necesaria para que el flujo de escurrimiento o el gasto pico pase por una sección de un arroyo sin presentar desbordamientos en sus márgenes. Para la cuenca del ejemplo, se tiene que su tiempo de concentración es igual a 0.57 horas. Con el valor del tiempo de concentración la velocidad del flujo es:

$$V = \frac{L}{t_c\ en\ segundos} = \frac{2997m}{0.57 * 3600} = 1.46080\ m/s$$

Lo que implica que el área hidráulica permisible sea, para el caso de PR = 2 años:

$$A_p = \frac{Q_p}{V} = \frac{5.07856\ m^3/s}{1.46080\ m/s} = 3.4766\ m^2$$

Por lo tanto, es necesaria un área hidráulica permisible de 3.47 m² para un gasto total de 5.07 m³/s en esta microcuenca para un periodo de retorno de 2 años. En la siguiente tabla se muestran los valores de las áreas hidráulicas permisibles para los diferentes periodos de retorno considerados.

PR	A_p (m²)
2 años	3.477
10 años	3.843
50 años	5.749
100 años	6.217
200 años	8.023

Tabla 5.38 Área hidráulica permisible en la microcuenca San Francisco, para varios periodos de retorno. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el modelado de los valores obtenidos en la superficie geográfica, se atendió a la metodología del CENAPRED para inundaciones urbanas, la cual se procesa a través del software Arc Gis y Hec Ras, con las extensiones Hec-Geo-Ras e Hydrology Modeling el proceso consiste en generar un vector de la corriente de agua a analizar, crear perfiles a partir de un Modelo Digital de Terreno (resolución espacial de 15x15m y altitudinal de 1m) desde un GIS y exportarlos a HEC-Ras para la generación de datos hidráulicos unidimensionales. Una vez procesados, se regresan al GIS para generar el modelo en 3D. En el caso de la microcuenca de análisis, se obtuvieron los siguientes resultados.

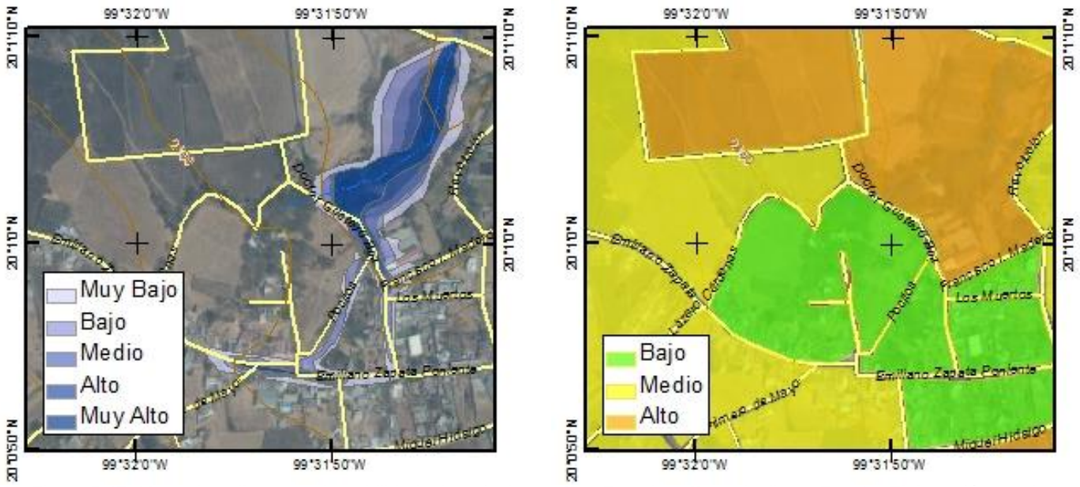


Figura 5.47. Mapa de peligros y vulnerabilidad a inundaciones, San Francisco Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia.

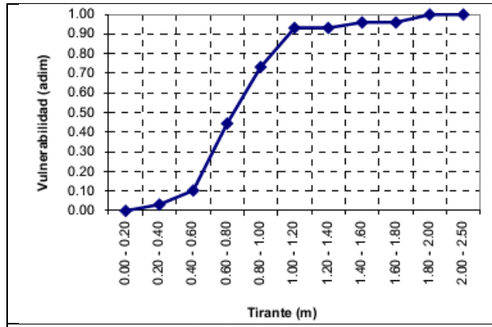
La identificación de vulnerabilidad por inundación, permite estimar el grado de exposición a partir de la ubicación de las casas y propiedades de los habitantes respecto a la cercanía del arroyo y de las características de las viviendas. La medición de la vulnerabilidad por inundaciones que se manejará en este texto se refiere solamente a los bienes que tiene la población dentro de sus viviendas, conocida como “menaje” o “enseres”.

El conocimiento de los materiales de construcción es importante para cuantificar la vulnerabilidad de una vivienda. Las viviendas podrán clasificarse en cinco niveles de acuerdo con el material y tipo de construcción, para poder inferir su capacidad de respuesta ante una inundación. Para estimar las funciones de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda se usa una serie de configuraciones de muebles y enseres menores; posteriormente se lleva a cabo una cuantificación del porcentaje de los daños ocasionados en cada caso, en función del nivel que alcance el agua que entra en la casa. El tipo de vivienda, que tiene valores de I a V, puede verse en la siguiente tabla.

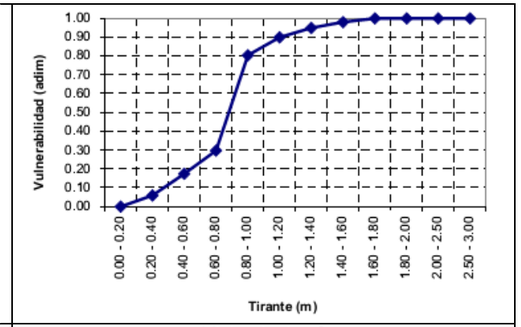
Tipo de vivienda	Índice de vulnerabilidad	Características	Costo del menaje
I	Muy Alto	Este tipo corresponde a los hogares más humildes, una vivienda consta de un solo cuarto multifuncional, construido con material de desecho. Asimismo, el menaje es el mínimo indispensable.	$12,500.00
II	Alto	Hogares de clase baja, la vivienda puede ser de autoconstrucción o viviendas construidas con materiales de la zona, la mayoría de las veces sin elementos estructurales. Con respecto al menaje, las diferentes habitaciones cuentan con sus muebles propios y están más o menos definidas.	$50,000.00
III	Medio	Hogares de clase baja, similar al tipo II, pero con techos más resistentes, construida la mayoría de las veces sin elementos estructurales. El menaje corresponde al necesario para las diferentes habitaciones, como en el anterior nivel; sin embargo, se consideran de mayor calidad y por lo tanto un mayor costo.	$150,500.00
IV	Bajo	Clase media, vivienda de interés social, construida la mayoría de las veces con elementos estructurales. El menaje que se ha seleccionado corresponde con el de una casa típica de una familia de profesionistas que ejercen su carrera y viven sin complicaciones económicas.	$300,000.00
V	Muy Bajo	Tipo residencial, construida con acabados y elementos decorativos que incrementan sustancialmente su valor. El menaje está formado por artículos de buena calidad y con muchos elementos de comodidad.	$450,000.00

Tabla 5.39 Índice de vulnerabilidad a inundaciones en función del tipo de vivienda. Fuente: CENAPRED.

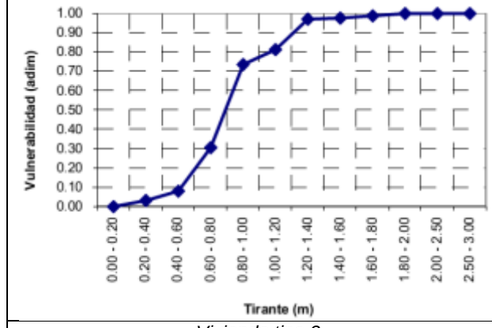
Adicionalmente se presenta la función de vulnerabilidad correspondiente a cada caso, según sea el tipo de vivienda al que se haga referencia. Para cada caso se presenta sobre el eje de las abscisas (x) el nivel alcanzado por el agua (tirante), en metros, mientras que en el eje de las ordenadas (y) el valor corresponde al porcentaje de daños esperados en la vivienda.



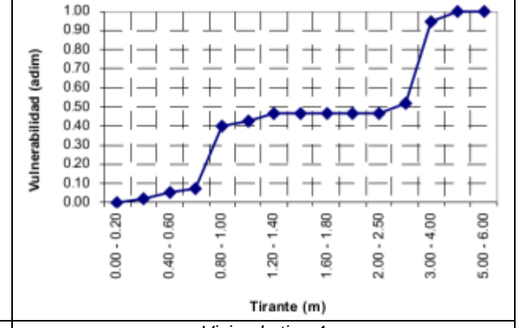
Vivienda tipo 1



Vivienda tipo 2



Vivienda tipo 3



Vivienda tipo 4

Grafica 5.7 Función de vulnerabilidad a inundación por tipo de vivienda. Fuente: CENAPRED.

En cuanto al riesgo, este es una función del peligro y vulnerabilidad, por lo que su cálculo se realizó en función del siguiente parámetro:

$$R = (P*V)/2$$

En este sentido se procura que tanto la probabilidad de peligro, así como los grados de vulnerabilidad vayan de 1 a 5, donde 1 es muy bajo y 5 muy alto.

En la colonia Zona Centro de Soyaniquilpan, se identificó que el tipo de vivienda más vulnerable corresponde al rango 3, por lo que su vulnerabilidad se clasifica como media, en función de la metodología del CENAPRED. Se muestra a continuación una figura esquemática del menaje de casa típico de la zona.

Figura 5.48 Menaje de casa de la vivienda tipo 3. Fuente: CENAPRED.

En función de lo anterior, se realizó cartografía de vulnerabilidad de la zona, y se calculó el riesgo derivado, tomando en cuenta el peligro por inundación previamente identificado

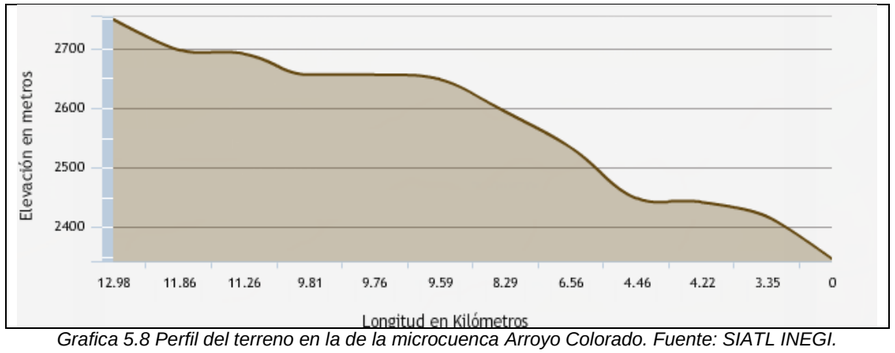
AGEB	Viviendas	Población estimada (hab)	Vulnerabilidad	Peligro	Riesgo
1507900010030	20	100	Alta	Alto	Alto

Tabla 5.40 Zonificación del Riesgo por Inundación en San Francisco Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia.

5.20.1.2 Arroyo Colorado

El Arroyo Colorado atraviesa la cabecera municipal en sentido oriente-poniente, y pasa por la Preparatoria 80 y la calle 16 de Septiembre por medio de un puente. En 2004 se desbordo el arroyo arrastrando varios vehículos; esta fue la segunda vez que se registró un evento similar ya que anteriormente había ocurrido en 1989. Se identificó que el crecimiento urbano ha taponado el cauce natural del agua, de hecho la calle 16 de Septiembre funciona como represa, lo que provoca que en época de lluvias el agua se anegue en esta zona.

Con el modelo digital de elevación de la zona, incorporado a un Sistema de Información Geográfica, se estimó que la pendiente general del drenaje principal de esta microcuenca es de 2.5488 %. Su longitud es de 12986 m. Para obtener el tiempo de concentración (t_c), se utilizó la fórmula de Kirpich, y resultó ser de 110.71 min.



Grafica 5.8 Perfil del terreno en la de la microcuenca Arroyo Colorado. Fuente: SIATL INEGI.

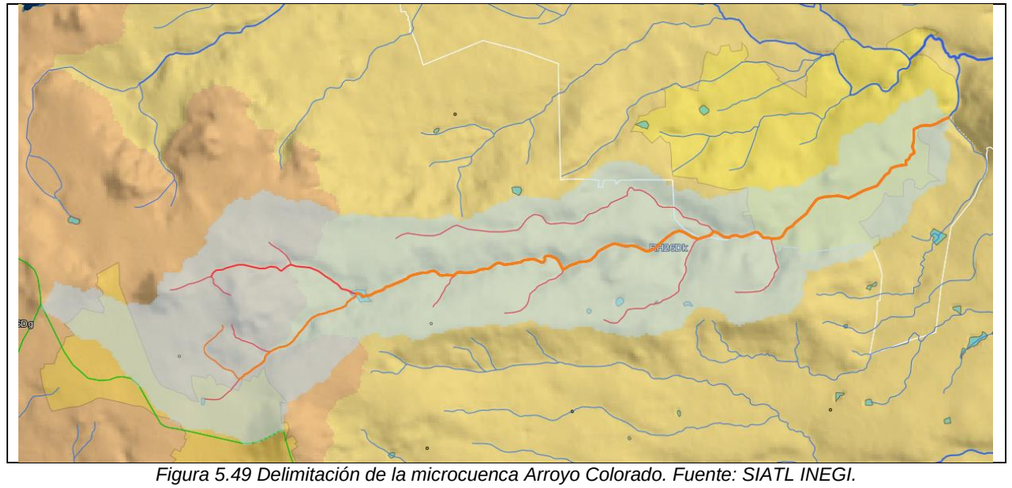


Figura 5.49 Delimitación de la microcuenca Arroyo Colorado. Fuente: SIATL INEGI.

Con el valor del tiempo de concentración, se procedió a calcular la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración (d = t_c = 110.71 min). A continuación se presentarán los cálculos para un periodo de retorno de 2, 10, 50 100 y 200 años. Posteriormente, se obtuvo la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), para los periodos de retorno antes mencionados. En la siguiente tabla se observan los resultados.

PR	*hp* (1h) mm	*hp* (24h) mm	*hp* (t_c) mm	*i* mm/h
2 años	32	40	33.55	18.13
10 años	40	75	46.77	25.28
50 años	55	80	59.84	32.35
100 años	60	90	65.81	35.57
250 años	75	100	79.84	43.16

Tabla 5.41 Valores de lámina de lluvia e intensidad de la lluvia para diferente periodos de retorno en la microcuenca Arroyo Colorado. Fuente: Elaboración propia.

Con base en el procedimiento de la NOM-011-CNA-2000, el coeficiente de escurrimiento estimado para la microcuenca de estudio, resultó C_e = 0.08958. Con el coeficiente de escurrimiento, el área de la cuenca de aportación y la intensidad de la lluvia, se estimaron los gastos líquidos generados en la cuenca, para los diferentes periodos de retorno, mismos que se muestran en la siguiente tabla.

PR	*i* (mm/h)	Q_p (m^3/s)
2 años	18.13	10.47
10 años	25.28	14.60
50 años	32.35	18.68

100 años	35.57	20.54
250 años	43.16	24.92

Tabla 5.42 Gasto líquido esperado para diferentes periodos de retorno en la microcuenca Arroyo Colorado. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el modelado de los valores obtenidos en la superficie geográfica, se atendió a la metodología del CENAPRED para inundaciones urbanas. En el caso de la microcuenca de análisis, se obtuvieron los siguientes resultados.

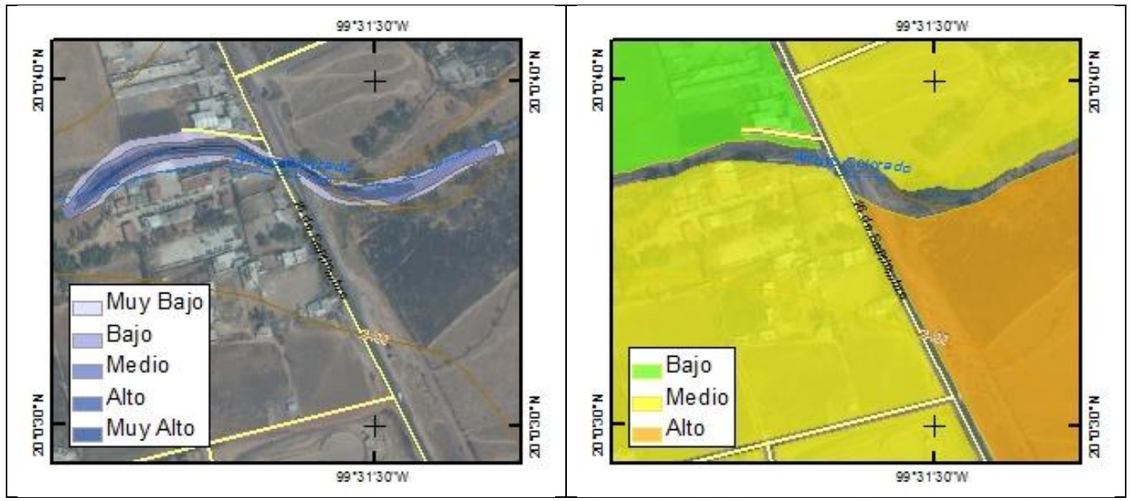


Figura 5.50. Mapa de peligros y vulnerabilidad a inundaciones, en la zona de la Preparatoria 80, San Francisco Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia.

En función de lo anterior, se realizó cartografía de vulnerabilidad de la zona, y se calculó el riesgo derivado, tomando en cuenta el peligro por inundación previamente identificado

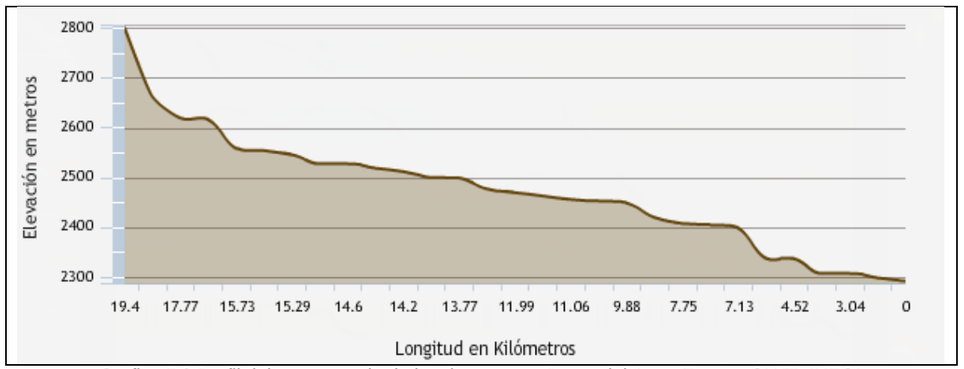
AGEB	Viviendas	Población estimada (hab)	Vulnerabilidad	Peligro	Riesgo
1507900010030	5	25	Media	Alto	Alto
1507900010079	5, 1 escuela	800	Alta	Alto	Alto

Tabla 5.43 Zonificación del Riesgo por Inundación en la zona de la Preparatoria 80, San Francisco Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia.

5.20.1.3 Presa Del Arco

La Presa Del Arco se ubica en el centro del territorio municipal, recolecta las aguas del arroyo Muité, tiene una superficie de 146 km^2, y se usa para fines agropecuarios. Esta presa es de alto interés, ya que históricamente se ha desbordado en 2 ocasiones, en 1957 y en 1993, y en julio 2014 se emitió una declaratoria de alerta por parte de Conagua, ya que había alcanzado su máxima capacidad, y el flujo rompió parte de la cortina, la cual actualmente se encuentra agrietada, por lo que hay un alto riesgo de desborde.

La microcuenca que drena la Presa Del Arco, tienen una pendiente general de 2.5874%, la longitud del dren principal es de 19401 m. El tiempo de concentración es de 156.80 min.



Grafica 5.9 Perfil del terreno en la de la microcuenca Presa del Arco. Fuente: SIATL INEGI.

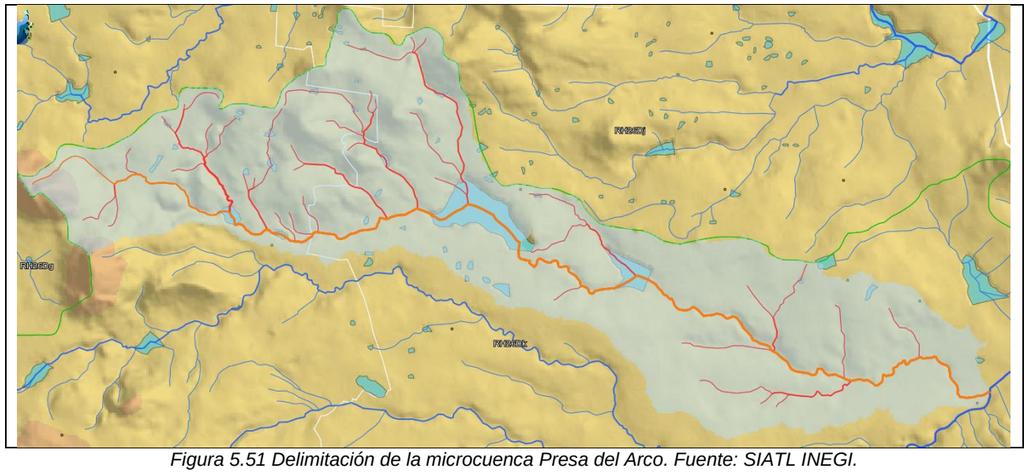


Figura 5.51 Delimitación de la microcuenca Presa del Arco. Fuente: SIATL INEGI.

Con el valor del tiempo de concentración, se procedió a calcular la lámina de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración (d = t_c = 156.80 min). A continuación se presentarán los cálculos para un periodo de retorno de 2, 10, 50 100 y 200 años. Posteriormente, se obtuvo la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración (t_c), para los periodos de retorno antes mencionados. En la siguiente tabla se observan los resultados.

PR	*hp* (1h) mm	*hp* (24h) mm	*hp* (t_c) mm	*i* mm/h
2 años	32	40	34.42	13.17
10 años	40	75	50.58	19.35
50 años	55	80	62.56	23.94
100 años	60	90	69.07	26.43
250 años	75	100	82.56	31.59

Tabla 5.44 Valores de lámina de lluvia e intensidad de la lluvia para diferente periodos de retorno en la microcuenca Presa del Arco. Fuente: Elaboración propia.

Con base en el procedimiento de la NOM-011-CNA-2000, el coeficiente de escurrimiento estimado para la microcuenca de estudio, resultó C_e = 0.08958. Con el coeficiente de escurrimiento, el área de la cuenca de aportación y la intensidad de la lluvia, se estimaron los gastos líquidos generados en la cuenca, para los diferentes periodos de retorno, mismos que se muestran en la siguiente tabla.

PR	*i* (mm/h)	Q_p (m^3/s)
2 años	13.17	11.75
10 años	19.35	17.27
50 años	23.94	21.36
100 años	26.43	23.58
250 años	31.59	28.19

Tabla 5.45 Gasto líquido esperado para diferentes periodos de retorno en la microcuenca Presa del Arco. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el modelado de los valores obtenidos en la superficie geográfica, se atendió a la metodología del CENAPRED para inundaciones urbanas. En el caso de la microcuenca de análisis, se obtuvieron los siguientes resultados.

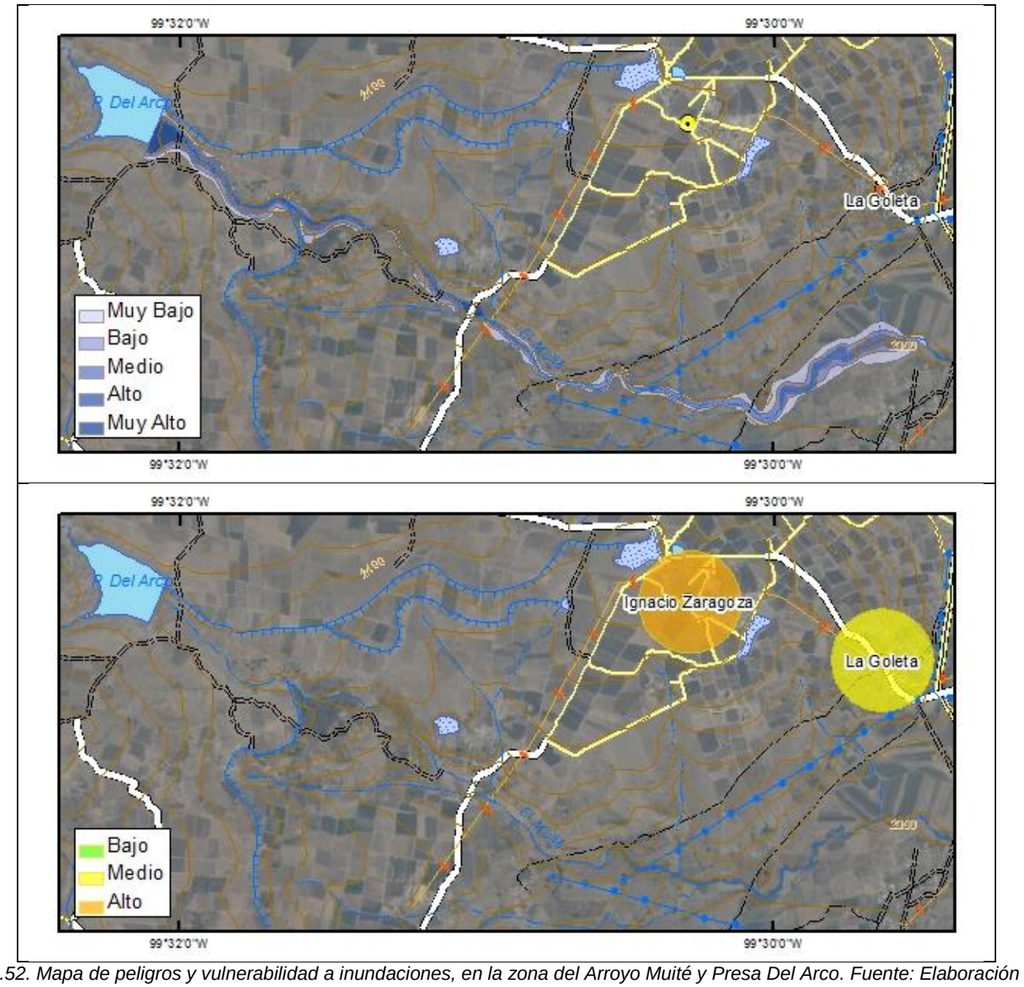


Figura 5.52. Mapa de peligros y vulnerabilidad a inundaciones, en la zona del Arroyo Muité y Presa Del Arco. Fuente: Elaboración propia.

En función de lo anterior, se realizó cartografía de vulnerabilidad de la zona, y se calculó el riesgo derivado, tomando en cuenta el peligro por inundación previamente identificado

Localidad	Viviendas	Población estimada (hab)	Vulnerabilidad	Peligro	Riesgo
150790005	15	75	Alta	Alto	Alto

Tabla 5.46 Zonificación del Riesgo por Inundación en la zona de la zona del Arroyo Muité y Presa Del Arco. Fuente: Elaboración propia.

En general, se establece que el riesgo por inundaciones en el Municipio de Soyaniquilpan es **ALTO**.

Capítulo 6 Anexos

6.1 Medidas preventivas para mitigación de riesgos

Los riesgos naturales son eventos multifactoriales que ocurren espontáneamente, muchas veces sin que pueda conocerse con anticipación la magnitud de ocurrencia del fenómeno, ni su duración. La única manera de mitigar la ocurrencia de desastres causados por peligros naturales es por medio de un análisis y caracterización que permitan a su vez tomar medidas de prevención ante posibles escenarios de desastre. Tales medidas preventivas consisten en dos partes mutuamente complementarias: la informativa, y la construcción de obra civil.

La información sobre los riesgos es esencial porque una sociedad con conocimiento, enfrenta los embates de la naturaleza de una forma más preparada, lo que eventualmente salva vidas y propiedades. No debe soslayarse el hecho de que la información y el conocimiento, pueden cambiar diametralmente la vulnerabilidad y exposición de la población ante el peligro; además, esto implica involucrar a la sociedad civil en el proceso de adquisición de resiliencia, pues la información debe ciudadanizarse, y no solo ser parte del conocimiento de las autoridades.

Además de lo anterior, es necesario prepararse para fenómenos naturales recurrentes con obras civiles para mitigar o incluso evitar daños potenciales. Tales obras a menudo son costosas y requieren de estudios especiales para determinar los alcances y necesidades de cada proyecto en particular. En el presente trabajo, se mencionan brevemente aquellas obras que reducirán en un grado significativo los problemas a corto plazo que enfrenta el Municipio de Soyaniquilpan en cuestión de Peligros Naturales. Debido a que no todas estas obras son realizables en un futuro inmediato, de nuevo se hace evidente que la estrategia más barata y efectiva contra los fenómenos naturales es la sociedad informada.

Las inundaciones son uno de los fenómenos naturales más dañinos para el Municipio de Soyaniquilpan, por lo que las obras orientadas a su mitigación son de la mayor importancia. A continuación se enuncian las obras y medidas propuestas para la mitigación de sus efectos.

6.1.1 Obra Civil de Drenaje en San Francisco Soyaniquilpan

En la zona que comprende a las calles Pocitos, Emiliano Zapata y el Centro Recreativo Ojo de Agua, donde se han presentado inundaciones severas en los últimos años, se sugiere la construcción de un drenaje de mayor capacidad que recolecte y desagüe las aguas pluviales hacia el arroyo que anteriormente servía de cauce natural, y que se encuentra parcialmente bloqueado por las obras que se han construido en el área. Esta obra de drenaje tendría además la ventaja de evitar la contaminación del manantial que se encuentra ahí y que en ocasión de las inundaciones se mezcla con las aguas negras del drenaje doméstico. Para este fin, el arroyo podría entubarse y separarse de la zona donde el manantial nace.

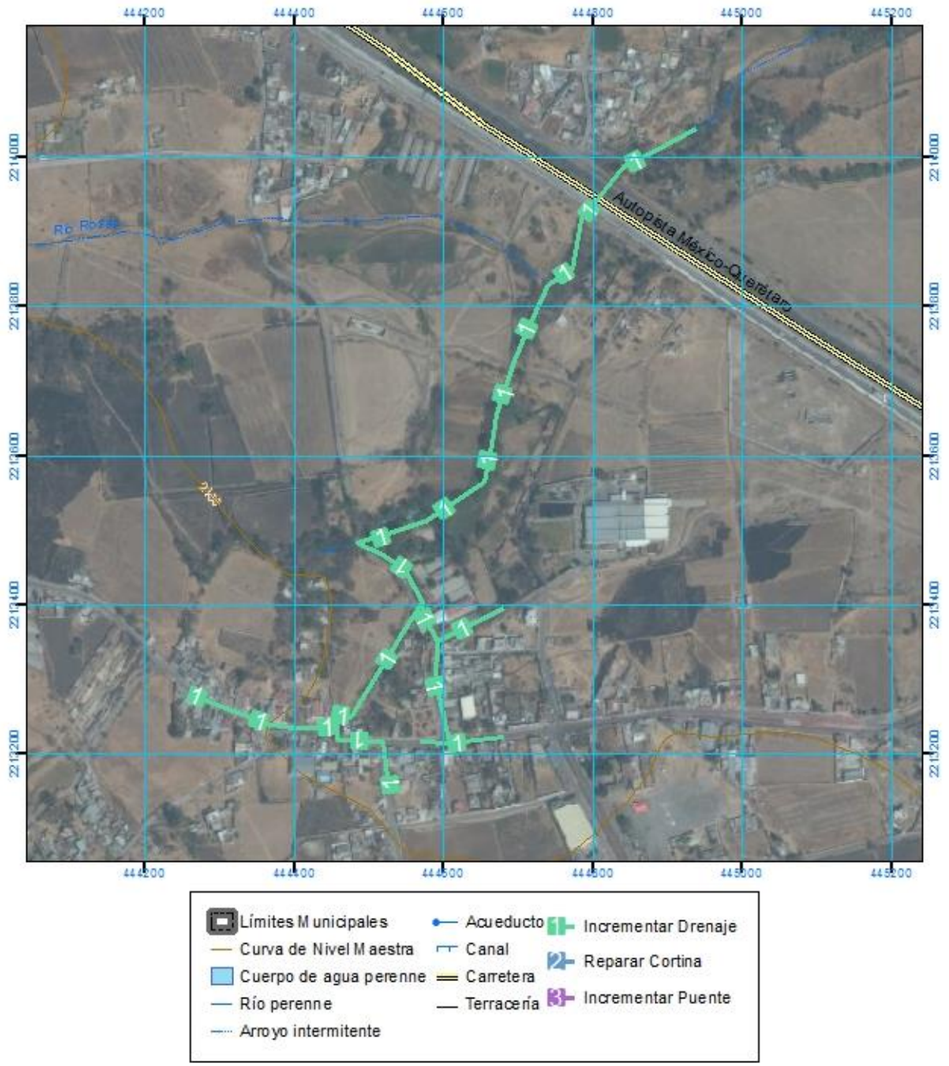


Figura 6.1. Mapa de Obras Preventivas: Obra Civil de Drenaje en San Francisco Soyaniquilpan. Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Reparación de la cortina de la Presa Del Arco

Se debe reparar la corina de la Presa del Arco, haciéndola más ancha y de ser posible más alta, con la finalidad de que se eviten las filtraciones que en la misma se han presentado y que representan un grave riesgo de ruptura. Si bien se ha identificado que el riesgo actual es relativamente bajo, si no se toman acciones, el crecimiento poblacional de Soyaniquilpan puede llegar al punto en que un desborde en la presa se transforme en un desastre para el municipio.

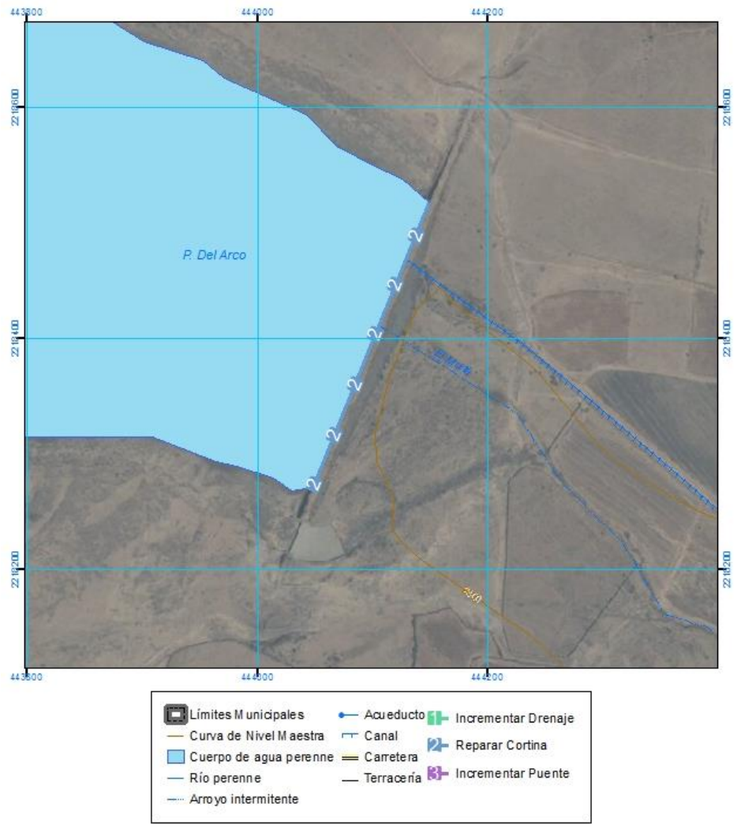


Figura 6.2. Mapa de Obras Preventivas: Reparación de la cortina de la Presa Del Arco. Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Incrementar capacidad puente calle 16 de Septiembre

Para evitar que sigan ocurriendo daños en la zona aledaña a la Preparatoria 80, se recomienda mejorar la capacidad del puente de la calle 16 de Septiembre, mediante dos estrategias: dragar el arroyo y subir la altura del puente, esto con la finalidad de que el mencionado puente no se constituya como un cuello de botella donde las aguas pluviales se represen en ocasión de las lluvias extraordinarias.

Figura 6.3. Mapa de Obras Preventivas: Incrementar capacidad puente Calle 16 de Septiembre. Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 Plan Municipal de Ordenamiento Territorial

Para promover el uso y ocupación eficiente del territorio municipal, se recomienda encarecidamente elaborar un Plan Municipal de Ordenamiento Territorial, ya esto permite la viabilidad de los sistemas urbano-rurales. El Plan Municipal de Ordenamiento Territorial tendría por objetivo orientar el uso óptimo del territorio, impulsar el desarrollo sustentable de las actividades económicas y elevar la calidad de vida de la población, fortaleciendo la ocupación ordenada del territorio. De igual manera el ordenamiento territorial se debe constituir, como un instrumento estratégico para reducir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos y evitar la ubicación de éstos en zonas de riesgo.

El Ordenamiento Territorial es un instrumento que tiene como fin último la distribución equilibrada de la población y sus actividades económicas, contribuye a la consecución de los objetivos del desarrollo municipal en su dimensión territorial, y permite entre otras cosas, llevar a cabo procesos eficientes de reubicación de la población asentada en zonas de riesgo.

6.2 Propuestas de obras y acciones

Fenómenos / Riesgos	Ubicación	Causa	Obra o acción propuesta	Observaciones
Geológicos				
Deslizamientos de taludes	Cerro de Xidenxi, El Ahorcado, Las Cruces, Pelón, Colorado, Los Caballos, El Paye, Grande, La Liga y el Cerro de San Agustín	Probables deslizamientos	Plan Municipal de Ordenamiento Territorial	Para prevenir asentamientos humanos en zonas potencialmente peligrosas.
Hidrometeorológicos				
Inundaciones	San Francisco Soyaniquilpan, calles Pocitos, Emiliano Zapata y el Centro Recreativo Ojo de Agua	Inundaciones	Construcción de un drenaje de mayor capacidad	Se sugiere la construcción de un drenaje de mayor capacidad que recolecte y desagüe las aguas pluviales hacia el arroyo que anteriormente servía de cauce natural
Inundaciones	Presa Del Arco	Inundaciones	Reparación de la cortina de la Presa Del Arco	Se debe reparar la corina de la Presa del Arco, haciéndola más ancha y de ser posible más alta, con la finalidad de que se eviten las filtraciones que en la misma se han presentado y que representan un grave riesgo de ruptura.
Inundaciones	San Francisco Soyaniquilpan, calle 16 de Septiembre	Inundaciones	Incrementar capacidad puente calle 16 de Septiembre	Para evitar que sigan ocurriendo daños en la zona aledaña a la Preparatoria 80, se recomienda mejorar la capacidad del puente de la

Fenómenos / Riesgos	Ubicación	Causa	Obra o acción propuesta	Observaciones
				calle 16 de Septiembre, mediante dos estrategias: dragar el arroyo y subir la altura del puente.

Tabla 6.1 Propuestas de obras y acciones. Fuente: Elaboración propia.

6.3 Glosario

AGEB. Acrónimo de Área Geoestadística Básica. Las AGEB son delimitaciones de pequeñas zonas geográficas con información estadística censal similar. Las AGEB urbanas delimitan una parte o el total de una localidad de 2,500 habitantes o más, o bien, una cabecera municipal, independientemente de su número de pobladores, en conjuntos que generalmente van de 25 a 50 manzanas; y las AGEB rurales enmarcan una superficie cuyo uso del suelo es predominantemente agropecuario y en ellas se encuentran distribuidas las localidades menores a 2,500 habitantes, que para fines operativos, se han denominado como localidades rurales.

Cuenca. Es un área que tiene una salida única para su escurrimiento superficial. En otros términos, una cuenca es la totalidad del área drenada por un río o su afluente, tales que todo el escurrimiento natural originado en tal área es descargado a través de una única salida.

Daño. La pérdida o menoscabo sufrido en la integridad o en el patrimonio de una persona determinada o entidad pública como consecuencia de los actos u omisiones en la realización de las actividades con incidencia ambiental. Por lo que deberá entenderse como daño a la salud de la persona la incapacidad, enfermedad, deterioro, menoscabo, muerte o cualquier otro efecto negativo que se le ocasione directa o indirectamente por la exposición a materiales o residuos, o bien daño al ambiente, por la liberación, descarga, desecho, infiltración o incorporación de uno o más de dichos materiales o residuos en el agua, el suelo, el subsuelo, en los mantos freáticos o en cualquier otro elemento natural o medio

Desastre. Se define como el estado en que la población de una o más entidades federativas, sufre severos daños por el impacto de una calamidad devastadora, sea de origen natural o antropogénico, enfrentando la pérdida de sus miembros, infraestructura o entorno, de tal manera que la estructura social se desajusta.

Falla. Superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual ha habido movimiento relativo, es decir, un bloque respecto del otro. Se habla particularmente de falla activa cuando en ella se han localizado focos de sismos o bien, se tienen evidencias de que en tiempos históricos ha habido desplazamientos. El desplazamiento total puede variar de centímetros a kilómetros dependiendo del tiempo durante el cual la falla se ha mantenido activa (años o hasta miles y millones de años). Usualmente, durante un temblor grande, los desplazamientos típicos son de uno o dos metros.

Fractura. Superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual no ha habido movimiento relativo, de un bloque respecto del otro.

Geotecnia. Aplicación de principios de ingeniería, a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre.

Helada. Cuando la temperatura ambiente es igual o inferior a 0°C.

Huracán. Sistema de vientos con movimientos de rotación, traslación y convección en espiral, semejante a un gigantesco torbellino, cuya fuerza de sus vientos se extiende a cientos de kilómetros sobre las aguas tropicales.

Intensidad (sísmica). Número que se refiere a los efectos de las ondas sísmicas en las construcciones, en el terreno natural y en el comportamiento o actividades del hombre. Los grados de intensidad sísmica, expresados con números romanos del I al XII, correspondientes a diversas localidades se asignan con base en la escala de Mercalli. Contrasta con el término magnitud que se refiere a la energía total liberada por el sismo.

Isobara. Línea que une puntos con igual valor de presión atmosférica.

Isoterma. Línea que une puntos o lugares con igual valores de temperatura.

Isoyeta. Es una línea trazada sobre un mapa sinóptico con la que se unen puntos (representación de una estación meteorológica), donde se registra igual cantidad de precipitación.

Licuefacción: Comportamiento pseudo-líquido de una o varias capas de suelo provocado por una elevada presión intersticial que genera un movimiento en la superficie. Se manifiesta en arenas sueltas (limosas saturadas o muy finas redondeadas) y se localiza en zonas costeras, sobre las riberas o llanuras inundables de los ríos (Ortiz y Zamorano, 1998). Es importante determinar si el espesor de la arena en el terreno tiende de 1 a 10 metros, y si el agua subterránea se localiza a menos de 10 metros de profundidad, pues todos estos aspectos indican zonas potenciales a la licuefacción en caso de que ocurra un sismo.

Magnitud (de un sismo). Valor relacionado con la cantidad de energía liberada por el sismo. Dicho valor no depende, como la intensidad, de la presencia de pobladores que observen y describan los múltiples efectos del sismo en una localidad dada. Para determinar la magnitud se utilizan, necesariamente uno o varios registros de sismógrafos y una escala estrictamente cuantitativa, sin límites superior ni inferior. Una de las escalas más conocidas es la de Richter, aunque en la actualidad frecuentemente se utilizan otras como la de ondas superficiales (Ms) o de momento sísmico (Mw).

Masa de aire. Volumen extenso de la atmósfera cuyas propiedades físicas, en particular la temperatura y la humedad en un plano horizontal muestran solo diferencias pequeñas y graduales. Una masa puede cubrir una región de varios millones de kilómetros cuadrados y poseer varios kilómetros de espesor.

Ola de calor. Calentamiento importante del aire o invasión de aire muy caliente, sobre una zona extensa; suele durar de unos días a una semana.

Peligro o peligrosidad. Evaluación de la intensidad máxima esperada de un evento destructivo en una zona determinada y en el curso de un período dado, con base en el análisis de probabilidades

Periodo de retorno. Es el tiempo medio, expresado en años, que tiene que transcurrir para que ocurra un evento en que se exceda una medida dada.

Precipitación. Partículas de agua en estado líquido o sólido que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre.

Prevención. Conjunto de acciones y mecanismos tendientes a reducir riesgos, así como evitar o disminuir los efectos del impacto destructivo de los fenómenos perturbadores sobre la vida y bienes de la población, la planta productiva, los servicios públicos y el medio ambiente.

Protección. El conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y controlar su deterioro.

Rehabilitación. El conjunto de acciones tendientes en hacer apto y retornar un lugar a las condiciones funcionales ambientales originales.

Residuo. Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Riesgo. Probabilidad de que se produzca un daño, originado por un fenómeno perturbador (Ley General de Protección Civil); la UNESCO: define el riesgo como la posibilidad de pérdida tanto en vidas humanas como en bienes o en capacidad de producción. Esta definición involucra tres aspectos relacionados por la siguiente fórmula: riesgo = vulnerabilidad x valor x peligro. En esta relación, el valor se refiere al número de vidas humanas amenazadas o en general a cualquiera de los elementos económicos (capital, inversión, capacidad productiva, etcétera), expuestos a un evento destructivo. La vulnerabilidad es una medida del porcentaje del valor que puede ser perdido en el caso de que ocurra un evento destructivo determinado. El último aspecto, peligro peligrosidad, es la probabilidad de que un área en particular sea afectada por algunas de las manifestaciones destructivas de la calamidad..

Sequía. Situación climatológica anormal que se da por la falta de precipitación en una zona, durante un período de tiempo prolongado. Esta ausencia de lluvia presenta la condición de anómala cuando ocurre en el período normal de precipitaciones para una región bien determinada. Así, para declarar que existe sequía en una zona, debe tenerse primero un estudio de sus condiciones climatológicas.

Sismicidad. La ocurrencia de terremotos de cualquier magnitud en un espacio y periodo dados.

Tectónica. Teoría del movimiento e interacción de placas que explica la ocurrencia de los terremotos, volcanes y formación de montañas como consecuencias de grandes movimientos superficiales horizontales.

Terremoto (sismo o temblor). Vibraciones de la Tierra causado por el paso de ondas sísmicas irradiadas desde una fuente de energía elástica.

Tormenta eléctrica. Precipitación en forma tempestuosa, acompañada por vientos fuertes y rayos, que es provocada por una nube del género cumulonimbos.

Vulnerabilidad. Se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un sistema perturbador, es decir el grado de pérdidas esperadas; facilidad con la que un sistema puede cambiar su estado normal a uno de desastre, por los impactos de una calamidad (ver riesgo).

6.4 Bibliografía

Aguirre-Díaz, G.J., Ferrari, L., Nelson, S.A., Carrasco-Núñez, G., López-Martínez, M., Urrutia-Fucugauchi, J., (1998). *"El Cinturón Volcánico Mexicano: un nuevo proyecto multidisciplinario"*. Geos., Unión Geofísica Mexicana 18, 131-138 p.

Astíz-Delgado, L.M. (1980). *"Sismicidad en Acambay, Estado de México. El temblor del 22 de Febrero de 1979"*. Unpublished B.Sc.thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 130 p.

Briceño, Katiuska et. al. (2008). *"Estudio de riesgos geológicos de la cuenca hidrográfica del Río El Limón como aporte al Plan de ordenación del territorio del Estado de Aragua"* en Revista Ciencia e Ingeniería, Vol. 29, No. 3, agosto-noviembre, 2008. ISSN 1316-7081, 217-224 pp.

Carlos Valerio (2004). *"Zonificación de peligros por inestabilidad de taludes en la Sierra de Guadalupe y propuesta geotécnica de mitigación"* Tesis de Ingeniería UNAM, 18-24 p.

CENAPRED (2014). *"Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Fenómenos Geológicos".* Serie: Atlas Nacional de Riesgo.

CFE Comisión Federal de Electricidad (1993). *"Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo"* CFE y LLE, México.

Dewey, J.W. y Suarez., G., (1991). ***"****Seismotectonic of Middle America, En Neotectonic of North America: Decade map Volume 1",* Slemmons, D.B. Engdahl, E.R. Zoback, M.D. and Blackwell, D.D., eds., Geological Society of America, Boulder, Colorado, 309-321 p.

Durand Maya (2005). *"Modelación hidrológica y de erosión hídrica utilizando sistemas de información geográfica y HEC.H."* Tesis de Maestría UNAM, 87-89 p.

Flores Moro (2006). "*Geometría estructural y cinemática de la fosa de barrientos, zona centro poniente de la Cuenca de México"* Tesis de Ingeniería IPN, 13 p.

Garduño Monroy V.H. y L.C.A. Gutiérrez Negrín (1992). *"Magmatismo, Hiatos y Tectonismo de la Sierra Madre Occidental y del Cinturón Volcánico Mexicano."* Geofísica Internacional v.31 (2), 417-429 p.

Gómez-Tuena A., Orozco-Esquivel Ma. Teresa., Luca Ferrari (2005). *"Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana"* Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LVII, Núm. 3, 227-283 p.

González Vallejo L (2002). *"Ingeniería Geológica"* Editorial Prentice Hall.

Hutchinson, J.N. (1988). *"General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*" Proceedings of the fifth International Symposium on Landslides, Vol. I. editado por Christophe Bonnard.

Lesser-Carrillo L., Lesser-Illades J., Arellano-Islas S. y González-Posadas D. (2011) *"Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el Acuífero del Valle del Mezquital, México central"*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 28, núm. 3, 2011, 323-336 p.

Martínez-Reyes J. y Nieto-Samaniego A.F. (1990). *"Estudios geológicos de la tectónica reciente en la parte Central de México".* Revista Geológica Mexicana Vol. 9, núm. 1. 33-50 p.

Mendoza Ponce A., (2012). *"Estudio de la estabilidad del valor b para regiones sismotectónicas de México".* Tesis de Maestría CGEO-UNAM, 14-31 p.

Molnar, P and L.R. Skykes (1969). *"Tectonics of the Caribbean and Middle America Regions from focal mechanisms and seismicity"* Geological Society of America Bulletin, v. 80, 639-1684 p.

Monroy Salazar S., (2009) *"Riesgo sísmico en Santa María Tixmadejé, Acambay, Estado de México".* Tesis de Maestría, UNAM, 22-23 p.

Pasquare, G., Vezzoli, L., Zanchi, A., (1987). *"Morphological and structural analysis od the central sector of the Transmexican Volcanic Belt".* Geofisica Internacional 26-2: 177-193 p.

Pola Villaseñor (2006*). "Análisis geotécnicos y procesos de remoción en masa de la mesa de Tzitzio"* Tesis de Maestría, UNAM, 5-7 p**.**

Salinas Sánchez S. (2013). *"Geología, Petrología y Geoquímica del Volcán Jocotitlán, Estado de México"* Tesis de Maestría en Ciencias (Vulcanología) UNAM, 22, 23, 70-75 p.

Silva Burgos, Luis Marcelo y Omar A. Barriga (2009). *"Creación de un índice de vulnerabilidad social para la Provincia de Concepción desde una perspectiva teórico empírica"* en Sociedad Hoy, Núm. 16, Revista de la Universidad de Concepción, Chile. ISSN 0717-3512, 59-76 pp.

Suter, M., Quintero, O., López, M., Aguirre, G., Farrar, E., (1995). *"The Acambay graben:Active intraarc extension in the central Trans-Mexican Volcanic Belt"*. Geological Society of America Bulletin, 113 (6), 693-703 p.

Suñe Puchol (2014). *"Estudio Neotectónico del Volcán Temascalcingo y de la actividad paleosísmica de la Falla San Mateo (Graben de Acambay, Cinturon Volcánco Mexicano)".* Tesis de Maestría UNAM, 2014.

Urbina, F., Camacho, H., (1913). ***"****La zona megasísmica Acambay – Tixmadejé, Estado de México, conmovida el 19 de Noviembre de 1912".* Boletín del Instituto Geológico de México, 32, 125 p.

USGS (2008). "*The landslide handbook: A guide to Understanding Landslides"*, The United States Geological Survey, 129 p.

Zúñiga, F.R., Suarez, G., Ordaz, M. y García-Acosta, V., (1997). Proyecto: Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, proyecto 89-190 p.