SEDATU
SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

ATLIXCO AYUNTAMIENTO 2014-2018 Construyendo Cosas Buenas

Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Atlixco *2016*

ATLIXCO PUEBLO MÁGICO

Fecha: Diciembre 2016
Número de obra: 121019PR000050
Número de expediente: SOT/DGOTAZR/PR/PP/02/121019PR000050/16
Atlixco, Puebla de Zaragoza
Universidad Mexiquense del Bicentenario
Carretera México-Toluca Km43.5 S/N, Col. San Miguel, Ocoyoacac, Estado de México
01 (728) 284 7310 (proyectos.especiales@umb.mx)

GENTE QUE TRABAJA Y LOGRA enGRANDE | UMB UNIVERSIDAD MEXIQUENSE DEL BICENTENARIO

PROTECCIÓN CIVIL Y BOMBEROS

PPR PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS

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. Está 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.

INDICE

FASE I 5

INTRODUCCIÓN 5

1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS 6

Antecedentes (Antecedentes históricos de peligros o riesgos) 6

Objetivo 10
- 1.1.1 Objetivos específicos 10
- 1.1.2 Alcances 10

2 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS Y ESCALAS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA. 11

Determinación de zona de estudio 11

Mapa Base. 12

3 DIAGNÓSTICO DE PELIGRO E IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS 13

Antecedentes de los riesgos 13
- Políticas Públicas para la Prevención de Desastres en el Municipio de Atlixco. 13
- Antecedentes de la SEDESOL en materia de Prevención de Desastres 13
- Registro de zonas de riesgo en el municipio de Atlixco, Puebla 14

Fisiografía 14

Geología 15

Geomorfología 16

Edafología 18

Hidrografía 20

Climatología 21

Uso de suelo y vegetación 23

Áreas naturales protegidas 25

Problemática ambiental 25

4 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y DEMOGRÁFICOS 29

Dinámica demográfica; 29
- 4.1.1. Análisis comparativo (valores absolutos y porcentajes) de la población de la Entidad 29
- 4.1.2. Proyección al 2010 - 2030 (por municipio y por localidad según CONAPO) 29
- 4.1.3. Distribución de población (por localidad) 30
- 4.1.4. Densidad de la población (por manzana en zonas urbanas). 30

Características sociales 31
- 4.1.1 Porcentaje de analfabetismo, población de 14 años y más que asiste a la escuela y grado promedio de escolaridad. 31
- 4.1.2 Población con discapacidad (población con limitación en la actividad) por localidad y manzana. 32
- 4.2.3. Población que habla alguna lengua indígena y no habla español, 34
- 4.2.4. Salud (población sin derechohabiencia, médicos por cada mil habitantes y tasa de mortalidad). 34
- 4.2.5. Pobreza 35
- 4.2.6. Hacinamiento (promedio de ocupantes por cuarto) por manzana 35
- 4.2.7. Marginación por localidad y AGEB (en zonas urbanas). 36

Características de la Vivienda 37
- 4.3.1. Pisos de tierra 37
- 4.3.2. Servicios (agua, luz, drenaje) 39
- 4.3.3. Déficit de vivienda 40

Empleo e ingresos 40
- 4.4.1. Sectores de ocupación, porcentaje de ingresos de la PEA, razón de dependencia y tasa 40

Equipamiento e infraestructura 40
- 4.1.3 Salud 41
- 4.1.4 Educativo 41
- 4.1.5 Recreativo y/o de esparcimiento (plazas, centros comerciales, teatros, cines, auditorios, etc). 42
- 4.1.6 Estación de bomberos, seguridad pública, albergues, ruta de evacuación etc. 42
- 4.1.7 Presas, Líneas de comunicación y transmisión, subestaciones eléctricas, plantas generadoras, estructuras eléctricas, gasolineras y gaseras, et. 43

Expansión de la Ciudad 1980 – 2010 (elaborar mapa identificando la expansión de la ciudad incluyendo año, población y superficie) 43

FASE II 45

5 IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y PELIGROS, ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL Y QUÍMICO-TECNOLÓGICO. 45

Fenómenos Geológicos 45
- Diagnóstico de los principales Peligros Geológicos 45

5.1.1 Vulcanismo 45
- Tipos de vulcanismo 46

5.1.2 Sismos 59
5.1.3 Licuefacción 67
5.1.4 Tsunamis 68
5.1.5 Inestabilidad de laderas 69
- Análisis de variables a considerar según casos documentados: inventario 69
- Nivel de Análisis 71
- Metodología 71

5.1.6 5.3.1 Selección de factores condicionantes para el análisis de susceptibilidad 71
- Memoria de Cálculo (síntesis) 72
- Obtención del mapa geológico 73
- Obtención del mapa de vegetación y uso de suelo 75
- Resultado del Análisis 75
- Análisis de peligro por inestabilidad de laderas: deslizamientos 76

5.1.7 Flujos de lodo y lahares 78
- Resultado del Análisis 78

5.1.8 Caídos o derrumbes 79
- Nivel de Análisis 80

5.1.9 Subsidencia (Hundimientos) 80
- Nivel de Análisis 81

Hundimiento regional y diferencial del terreno 81
- Resultado del Análisis 81

Hundimiento por extracción de agua 81

Hundimiento por karsticidad 81

5.1.10 Agrietamientos (Fallas y Fracturas) 83

Fenómenos Hidrometeorológicos 83

5.1.11 Ondas cálidas 83
- Nivel de Análisis 83
- Metodología 83
- Memoria de Cálculo (síntesis) 84
- Resultado del Análisis 84

5.1.12 Ondas Gélidas (Heladas) 86
- Metodología 86
- Memoria de cálculo 87
- Resultados 87

5.1.13 Sequías 89
- Nivel de Análisis 89
- Metodología 90
- Memoria de Cálculo (síntesis) 90
- Resultado del Análisis 90
- Mapas resultantes con ponderación (Amenaza, Susceptibilidad o Peligro) 91

5.1.14 Tormentas de granizo 91
- Metodología 91
- Resultado del Análisis 92

5.1.15 Tormentas de nieve 94
5.1.16 Ciclones tropicales 95
5.1.17 Tornados 95
5.1.18 Tormentas polvo 96
5.1.19 Tormentas eléctricas 96
- Metodología 96
- Memoria de Cálculo (síntesis) 97
- Resultado del Análisis 97

5.1.20 Lluvias extremas 99
- Nivel de Análisis 99
- Metodología 99
- Memoria de Cálculo (síntesis) 100

5.1.21 Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres. 102
- Nivel de Análisis 102
- Metodología 102
- Memoria de Cálculo (síntesis) 102
- Recopilación de datos 102
- Gastos de diseño 102

Calculo del número de escurrimiento (N) 105

Determinación de la lluvia media de diseño 110

Calculo de los Gastos o Caudales. 113
- ***Método de la formula racional:*** 113
- ***Método del Hidrograma Unitario Triangular (HUT):*** 113
  - ***Método de Ven Te Chow:*** 113

Hidrógramas Sintéticos con base al Hidrógrama Adimensional propuesto por el SCS 117

TRANSPORTE POR ÁREA 118
- ANÁLISIS HIDRÁULICO 118

Generación de escenarios de peligro. 118

Preparación de archivos en ArcGIS. 118

Creación del proyecto en HecRAS (simulación del tránsito de avenidas). 118

Condiciones de frontera. 119

Verificación y exportación de resultados 120
- IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA ANTE INUNDACIONES 126

- EVALUACIÓN DEL RIESGO 129

6 VULNERABILIDAD 135

Vulnerabilidad Social 135
6.1.1 Características sociales y económicas 135
6.1.2 Capacidad de respuesta 136
6.1.3 Percepción local 137
- Obtención del grado de vulnerabilidad social 140

Vulnerabilidad física 140
6.1.4 Tipología de la vivienda para estimación de vulnerabilidad 141
6.1.5 Vulnerabilidad física de la vivienda para inundaciones 143

7 RIESGO/EXPOSICIÓN 144

8 RECOMENDACIONES GENERALES 146

Recomendaciones Sismos 146
- Resiliencia 146
- Medidas preventivas para la mitigación de peligro ante un sismo 146

Recomendaciones Volcanes 147
- Medidas preventivas para la mitigación de peligro 147

Inestabilidad de Laderas (CENAPRED, 2008) 148
- Medidas preventivas ante la inestabilidad de laderas 148

Recomendaciones Ondas Gélidas (Heladas) (CENAPRED, 2007) 150

Recomendaciones Ondas Cálidas (CENAPRED, 2007) 152
- Medidas de mitigación contra sequías 152

Recomendaciones Sequías (CENAPRED, 2007) 152

Recomendaciones Tormentas de Granizo (Granizadas) (CENAPRED, 2010) 154

Recomendaciones Tormenta de Nieve (Nevadas) (CENAPRED, 2014) 154
- Acciones preventivas ante nevadas 155

Recomendaciones Tormentas Eléctricas (CENAPRED, 2010) 155

Recomendaciones Inundaciones (Fluviales, Pluviales, Costeras y Lacustres) (CENAPRED, 2007) 157
- Mitigación de daños por inundaciones 157

GLOSARIO DE TÉRMINOS 159

BIBLIOGRAFÍA 164

ÍNDICE DE FIGURAS 167

INDICE DE ILUSTRACIONES 168

INDICE DE TABLAS 168

INDICE DE MAPAS 170

Fase I

Introducción

El presente Atlas de Riesgo se realizó en el marco del Programa de Prevención de Riesgos de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). Para el desarrollo de este Atlas se utilizaron los Términos de Referencia establecidos por SEDATU (Bases para la estandarización en la elaboración de Atlas de Riesgos y catálogo de datos geográficos para representar el riesgo", mismos que incluyen criterios aportados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), así como de otras instituciones.

Las características geográficas, demográficas y económicas de Atlixco, Puebla, son elementos fundamentales en la construcción del riesgo del municipio. La incidencia de diversos fenómenos de origen natural, combinado con los diferentes niveles de vulnerabilidad da como resultado diferentes grados de riesgo que en conjunto se pueden traducir en la ocurrencia de desastres.

Actualmente, el entendimiento sobre la construcción del riesgo se ha transformado de manera que los desastres, ya no se asocian exclusivamente a la ocurrencia de un fenómeno natural extremo. De acuerdo con diversos estudios, el riesgo se construye socialmente, puesto que problemáticas de tipo sociodemográfico (crecimiento y desarrollo urbano sin planificación, infraestructura vial o de servicios compleja, falta de mantenimiento, contaminación de recursos naturales, etc.) inciden directamente en los niveles de vulnerabilidad y exposición de los bienes expuestos.

De igual forma, a nivel nacional las acciones de gestión de riesgos se han limitado a la reacción más que a la prevención de desastres, basta con analizar el monto asignado para el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y el Fondo de Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) en el presupuesto de egresos de la federación para el 2017, en donde el primero, enfocado a realizar acciones de reconstrucción después del impacto de desastres le fueron asignados alrededor de 6,035 millones de pesos, mientras que para el segundo, cuya finalidad es realizar acciones eminentemente preventivas le fueron asignados apenas 179 millones de pesos.

De acuerdo con diversos organismos y expertos en el tema, entre ellos la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres, por cada dólar que se invierte en prevención se puede ahorrar entre 7 y 10 en la reconstrucción. Una de las primeras acciones que se deben llevar a cabo para poder prevenir los riesgos es justamente identificarlos, por lo que la elaboración del Atlas de Riesgos de Atlixco, Puebla, pretende conformar una base de datos que proporcione los elementos necesarios para que se puedan implementar, dentro de los programas de desarrollo urbano, ordenamiento territorial y todas aquellas inversiones públicas, acciones preventivas encaminadas a disminuir el riesgo de desastres.

Así, el Atlas de riesgos de Atlixco pretende cumplir las siguientes funciones:

- Identificar los peligros de mayor incidencia en el municipio
- Estimar los posibles efectos de los fenómenos naturales que se estudiaran en la población y sus bienes.
- Servir como base para la planeación del desarrollo urbano del municipio
- Contribuir a la elaboración de planes o programas estratégicos dirigidos a gestionar el riesgo, dando prioridad a la gestión prospectiva (evitar la construcción de nuevos riesgos).
- Realizar acciones de mitigación de los riesgos identificados
- Aportar elementos para disminuir la vulnerabilidad con base en un aumento del desarrollo.

1 Antecedentes y Objetivos

Antecedentes (Antecedentes históricos de peligros o riesgos)

El Municipio de Atlixco se encuentra localizado en el centro del país con una extensión de 293.01 kilómetros cuadrados que lo ubica en el 51º lugar con respecto a los demás municipios del estado de Puebla.

El Municipio de Atlixco en un área predominantemente rural. En las 131 localidades que componen el municipio de Atlixco, el 95.95% es población rural y el 3.05% es Urbana[1]. Las condiciones geográficas del municipio lo hacen un suelo muy fértil y con abundante agua, por lo que históricamente las actividades primordiales han sido agrícolas. De acuerdo con el Programa de Desarrollo Municipal Urbano Sustentable de Atlixco 20-14-2018[2], un poco más del 70% del uso de suelo es para agricultura de temporal y de riego. Solo el 3.62 por ciento corresponde a zona urbana consolidada.

Representación de la delimitación territorial del valle de Atlixco en mapa del Estado de Puebla. ***(Fuente: Atlas Mexicano por Antonio García y Cubas)***

Sin embargo, a finales del siglo XX, específicamente la Ciudad de Atlixco, dejó de ser exclusivamente agrícola y comenzó el desarrollo industrial, surgiendo la industria textil que llegó a tener gran importancia en la producción de textiles de algodón de 1921 a 1960, ocupando el tercer lugar a nivel nacional[3].

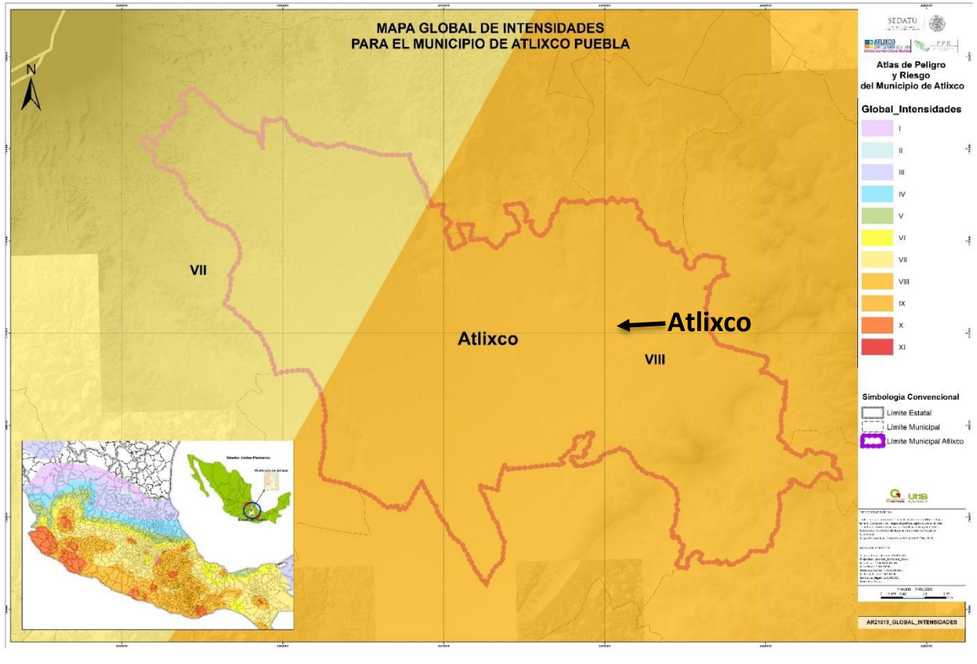
Ahora bien, por su ubicación geográfica y el mismo proceso de crecimiento y desarrollo del Municipio, se encuentra expuesto a peligros o fenómenos perturbadores tanto de origen natural como antropogénico, que dadas las condiciones de vulnerabilidad de la infraestructura y la población imponen riesgos al municipio. A continuación, se mencionan los principales peligros, algunos de los fenómenos desastrosos relevantes ocurridos en el municipio y las fuentes documentales.

Diversas fuentes consultadas como el Atlas Nacional de Riesgos[4], el Programa de Protección Civil de Atlixco 2014-2018 [5] y el Atlas Nacional de Riesgos por Inundación, entre otros, aportan información para documentar que históricamente el municipio de Atlixco se ha visto afectado principalmente fenómenos de tipo geológico, hidrometeorológico y también por fenómenos sanitarios, originados por la contaminación. Respecto a los de tipo geológico, particularmente representan un mayor riesgo para el municipio, la actividad volcánica por su cercanía al volcán Popocatépetl, la sismicidad propia en el estado de Puebla y sismos de gran magnitud en las costas del Pacífico.

SISMICIDAD

El municipio de Atlixco se encuentra en la zona de Peligro Alto (C) (Ver Mapa 1), de acuerdo a la zonificación sísmica obtenida del Atlas Nacional de Riesgos, zona en donde se originado sísmicos históricos, y donde las aceleraciones del suelo no sobrepasan el 70% de la aceleración de la gravedad. Adicionalmente, el municipio de Atlixco se ha visto afectado por sismos de gran magnitud que ocurren la costa del Pacífico.

[1] Población por municipio según tipo de localidad, 2010. Consejo Estatal de Población del Estado de Puebla. http://coespo.puebla.gob.mx/
[2] Programa Municipal de Desarrollo Urbano Sustentable de Atlixco, Puebla, Versión Abreviada. Dirección de Desarrollo Urbano y Ecología. Agosto de 2013.
[3] Levis de López Silvana. La Ciudad de Atlixco Puebla, Desarrollo y Actividades. Tesis Doctoral "Acomodación del Territorio en Atlixco Puebla"
[4] Atlas Nacional de Riesgos. Centro Nacional de Prevención de Desastres http://atlasnacionalderiesgos.gob.mx
[5] Programa Municipal de Protección Civil de Atlixco, Puebla 2014-2018. http://atlixco.gob.mx/atlixco/transparencia/2015/marco-normativo/programa_proteccion_civil.pdf



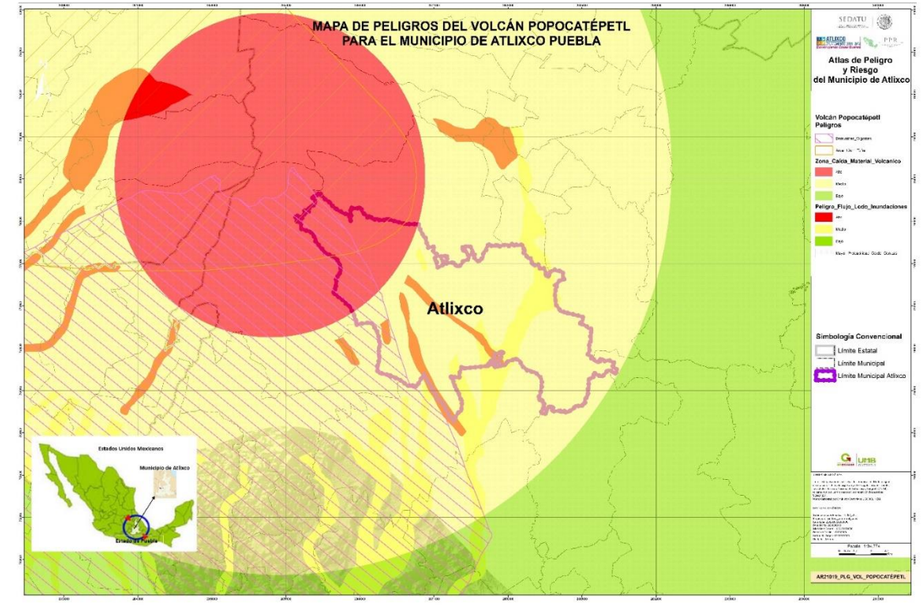
Mapa 1: Mapa Global de Intensidades para el Municipio de Atlixco Puebla

(Fuente: Cenapred – Atlas Nacional de Riesgo)

VULCANISMO

El riesgo volcánico para el municipio de Atlixco, está condicionada por la actividad eruptiva del volcán Popocatépetl. La zona que se considera de riesgo en virtud de la actividad volcánica comprendida es de un radio de 30 km en torno al cráter teniendo para el municipio de Atlixco una población de 127,062 hab. Conforme a lo anterior, el municipio de Atlixco tiene altos niveles de vulnerabilidad con relación a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno eruptivo por el volcán Popocatépetl. Esta vulnerabilidad está ligada a las prácticas prevalecientes de explotación forestal, no tanto sí mismas, sino en virtud de que estas se traducen en empobrecimiento de los habitantes y la consiguiente fragilidad para enfrentar una emergencia[6] .

De acuerdo con el Mapa de Peligros del volcán Popocatépetl[7] (Ver Mapa 2), el municipio de Atlixco comprende las áreas de peligro 1(rojo), 2 (naranja) y 3 (amarillo). Cada zona incluye todo tipo de peligros volcánicos asociados a erupciones volcánicas respectivamente pequeñas (área 1), medianas (área 2) y grandes (área 3)

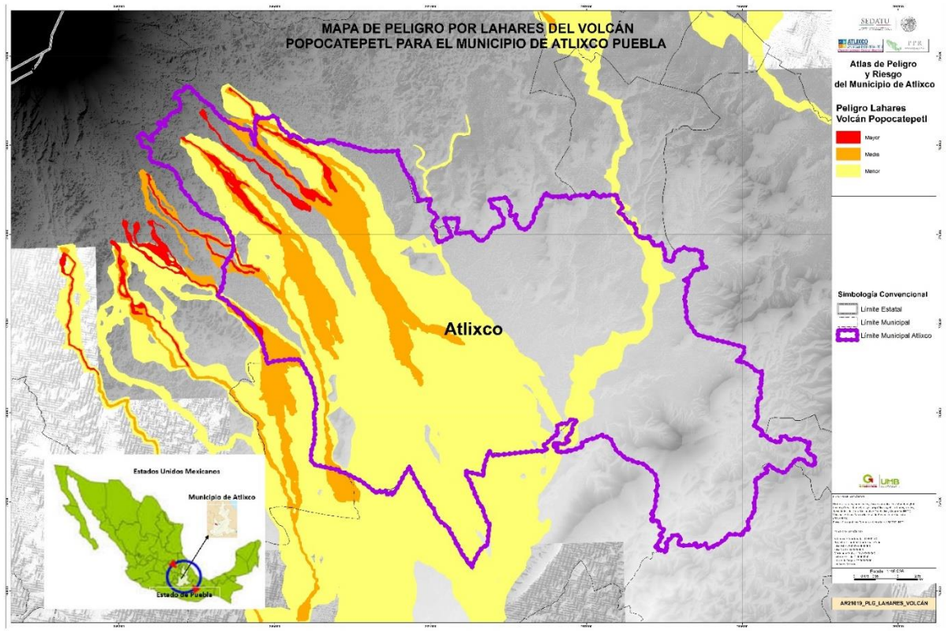


Mapa 2: Mapa de Peligros del Volcán Popocatépetl para el Municipio de Atlixco Puebla

(Fuente: Instituto de Geofísica UNAM – Mapa de Peligro del Volcán Popocatépetl)

[6] Programa Municipal de Protección Civil de Atlixco
[7] Mapa de Peligros del Volcán Popocatépetl. Instituto de Geofísica, UNAM. http://www.geofisica.unam.mx/unid_apoyo/editorial/publicaciones/divulgacion/mapas/imagenes/MapaPopoDef.png

Adicionalmente, asociado también a la actividad del volcán Popocatépetl, el municipio de Atlixco se encuentra en la trayectoria de lahares como se muestra en el Mapa 3.



Mapa 3: Mapa de Peligros por Lahares del Volcán Popocatépetl

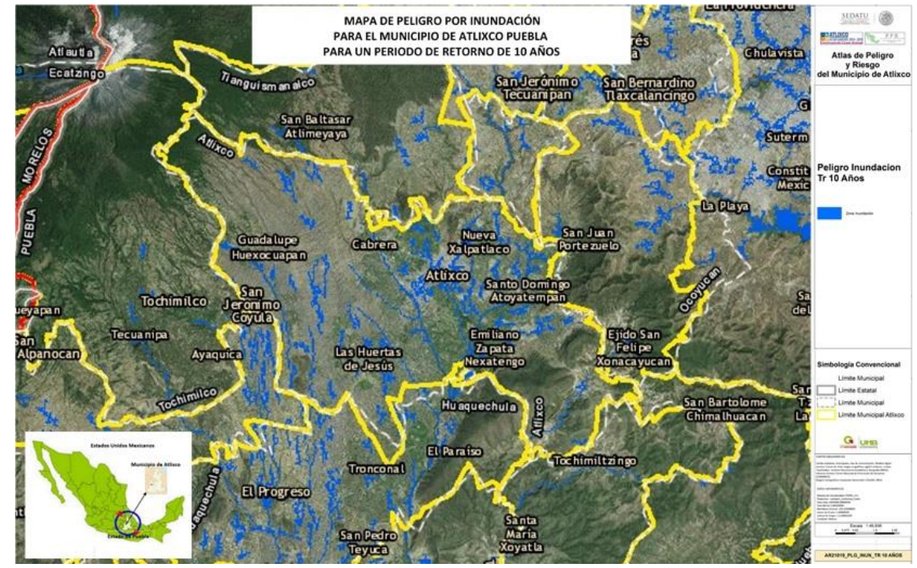
(Fuente: Instituto de Geofísica UNAM – Mapa de Peligro del Volcán Popocatépetl)

INUNDACIONES

De acuerdo con el Atlas de Riesgos del Estado de Puebla[8], los encharcamientos e inundaciones, particularmente en la Ciudad de Atlixco son causados por el azolvamiento con vegetación y basura en alcantarillas y drenes naturales. Se tienen identificadas las avenidas por las que fluyen los escurrimientos, por lo que en la temporada de lluvia durante los meses de septiembre y octubre principalmente, la mayoría de las calles se encharcan, elevándose el nivel del agua más de 50 cm

Esta ciudad está asentada en un valle delimitado por lomeríos suaves, esto hace que la zona sea sumamente irrigada y se registren constantemente inundaciones que pueden estar asociadas al desbordamiento del Río Nexapa y sus tributarios, así mismo a la existencia de pequeños cuerpos de agua dentro de la mancha urbana o bien a la falla del drenaje.

De acuerdo con el Atlas de Riesgos por Inundaciones[9] existen en todo el municipio zonas susceptibles de inundación con diferentes periodos de retorno. A continuación, se muestra el índice de inundación para periodos de retorno de 10 (Ver Mapa 4) y 100 años (Ver Mapa 5) para ilustrarlo.

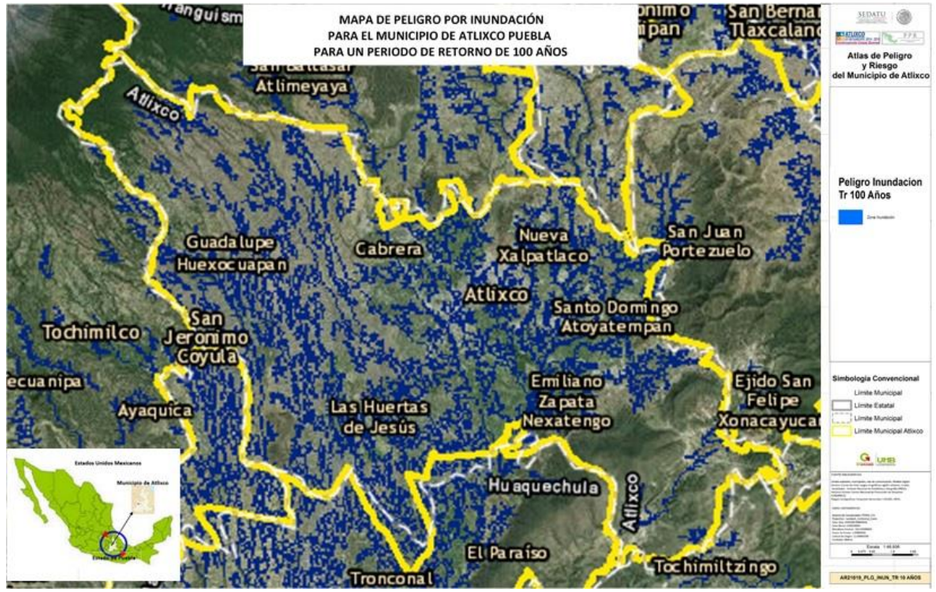


Mapa 4: Mapa de peligro por Inundaciones para el Municipio de Atlixco TR= 10 año

(Fuente: CONAGUA-CENAPRED Atlas de Riesgos por Inundación)

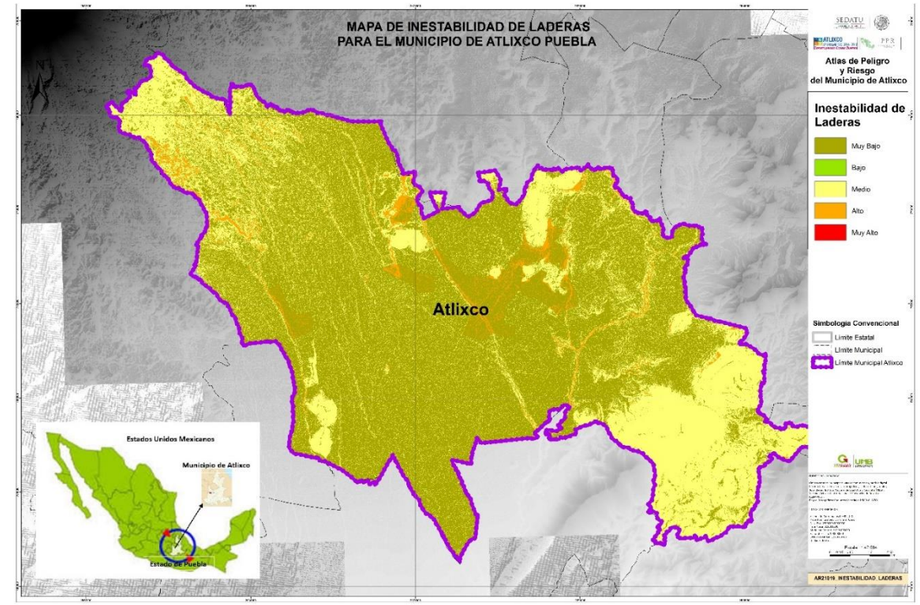
[8]Atlas de Riesgos del Estado de Puebla.
http://pueblacapital.gob.mx/component/docman/doc_download/5253-atlas-de-riesgos-naturales?Itemid

[9] Atlas de Riegos por Inundaciones. CONAGUA-CENAPRED



Mapa 5: Mapa de peligro por Inundaciones para el Municipio de Atlixco TR= 100 año

(Fuente: CONAGUA-CENAPRED Atlas de Riesgos por Inundación)



Mapa 6: Mapa de Inestabilidad de laderas en el Municipio de Atlixco

(Fuente: CENAPRED Atlas Nacional de Riesgos)

INESTABILIDAD DE LADERAS

De acuerdo con el Atlas Nacional de Riesgos, algunas regiones del municipio de Atlixco se encuentran zonas de con un índice alto y moderado de Inestabilidad de laderas (Ver Mapa 6). El municipio se encuentra en una zona con lomeríos, valles y montañas que han sido invadidos por la mancha urbana. Cabe mencionar que el riesgo a estos fenómenos se ha incrementado debido al crecimiento de la población y los asentamientos irregulares.

Adicionalmente los fenómenos anteriormente descritos, el municipio de Atlixco está expuesto a otro tipo de fenómenos como incendios forestales, heladas y paradójicamente también se ha visto afectado por sequías. A continuación, se presentan algunos de los eventos asociados a fenómenos naturales que han provocado daños y pérdidas en el municipio (Ver Tabla 1):

Tabla 1 Cronología de principales eventos ocurridos en el municipio de Atlixco, Puebla

Fecha	Evento	Observaciones
4 de abril de 1768[10]	Sismo	Daños en Atlixco
1786	Escasez de alimentos	
Abril de 1853[11]	Helada, escasez de alimentos	Valle de San Martín, Atlixco
19 de septiembre de 1985	Sismo en costas de Michoacán M=8.1	
30 de abril de 1996	Explosión en el Volcán Popocatépetl	Caída de ceniza, y gravilla
30 de septiembre de 1999	Sismo costas de Oaxaca M=7.4	Algunos daños
15 de junio de 1999[12]	Sismo en Tehuacán Puebla M=7.0	Daños en estructuras diversas
Octubre de 2002[13]	Sequía Atípica	
De 1994 a la fecha	Actividad volcánica	Caída de Ceniza
Últimos 10 años	Lluvias intensas	Inundaciones y encharcamientos, desbordamiento de ríos

(Fuente: Elaboración Propia)

Objetivo

El objetivo de la actualización del Atlas de Riesgo del Municipio de Atlixco Puebla está basado en las Reglas de Operación del Programa de Prevención de Riesgos[14] y las Bases para la elaboración de atlas de riesgos[15], principalmente tiene como finalidad:

Establecer los lineamientos básicos para diagnosticar, ponderar y detectar amenazas, susceptibilidad, peligros, vulnerabilidades y estimar los riesgos o índices de exposición en el espacio geográfico a través de criterios estandarizados, catálogos y bases de datos homologadas, compatibles y complementarias.

1.1.1 Objetivos específicos

1. Presentar los elementos mínimos cartografiables que se deben considerar en la elaboración de los atlas.
2. Proporcionar los lineamientos para la generación, validación y representación cartográfica de la información temática de las zonas de riesgo (previo análisis de peligro-vulnerabilidad).
3. Homologar el diccionario de datos con la finalidad de obtener instrumentos confiables y capaces de integrarse a una base de datos nacional.
4. Hacer posible la consulta y análisis de la información de los diferentes peligros de origen natural que afectan al territorio nacional.

1.1.2 Alcances

Se considera fundamental que el municipio de Atlixco genere la capacidad de ubicar e identificar el tipo y grado de riesgos existentes de acuerdo con el origen o fenómeno ya se Natural o antrópico. La cartografía contribuirá a detectar, clasificar y zonificar las áreas de peligros, vulnerabilidad y riesgos; el atlas de riesgos, se convertirá en una herramienta rectora para definir acciones programáticas y presupuestales enfocadas a guiar el desarrollo territorial en espacios ordenados y sustentables.

Con la elaboración del Atlas se pretende establecer, prevenir y valorar el riesgo y el daño a la población y los bienes de naturaleza económica, derivados de procesos naturales o desencadenados por la actividad humana

Se identificarán las zonas propensas al desarrollo de fenómenos perturbadores y el espacio físico vulnerable, considerando los efectos del cambio climático y aspectos tales como infraestructura, vivienda, equipamiento e indicadores socioeconómicos, demográficos, etc.

La relación de diferentes niveles de vulnerabilidad desde una perspectiva cualitativa y/o cuantitativa; permitirá establecer las prioridades aplicables a la realización de acciones de ordenamiento territorial, prevención de desastres, reducción de vulnerabilidad, riesgos y todas aquellas relacionadas con el desarrollo sustentable de los asentamientos humanos.

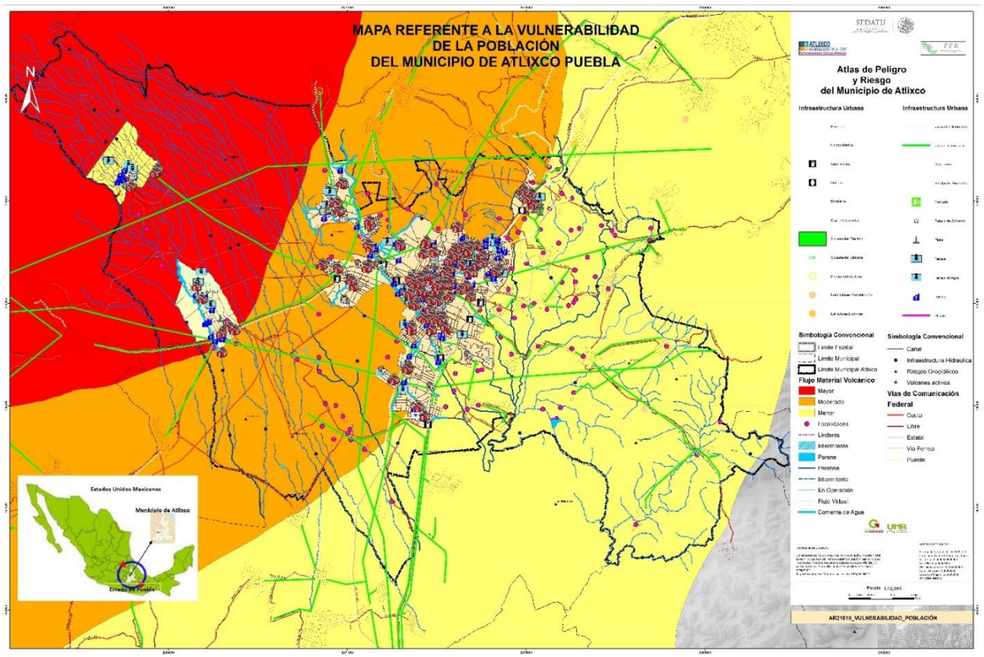
[10] Virginia García Acosta, Los Sismos en la Historia de México
[11] Virginia García Acosta. Historia y Desastres en América Latina, Volumen II, 1997
[12] Alcocer S. El Sismos de Tehuacán del 15 de junio de 1999. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Julio de 1999.
[13] Diario Oficial de la Federación DECLARATORIA DE DESASTRE NATURAL PARA EFECTOS DE LAS REGLAS DE OPERACIÓN DEL FONDO DE DESASTRES NATURALES (FONDEN), POR LOS DAÑOS PROVOCADOS POR LA SEQUÍA ATÍPICA E IMPREDECIBLE QUE AFECTÓ A DIVERSOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE PUEBLA, octubre 9, 2002

[14] (Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2016)
[15] (Secrretaria de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano, 2014)

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

Determinación de zona de estudio

El municipio de Atlixco se encuentra localizado en la parte centro Oeste del estado de Puebla. Tiene una altitud promedio de 1840m sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18º 49` 30" y 18º 58` 30" de latitud norte y los meridianos 98º 18` 24" y 98º 33` 36" de longitud occidental. El municipio colinda al Norte con el municipio de Tanguismanalco, al Noreste con los municipios de Santa Isabel Cholula y Ocoyucan, al Suroeste con Atzitzihuacan, al Sur con Huaquechula y Tepeojuma, Sureste con San Diego la Meza Tochimiltzingo, al Este con la Ciudad de Puebla, y al Oeste con el municipio de Tochimilco (Ver Mapa 7).



Mapa 7: Mapa de Vulnerabilidad de población

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI))

Tiene una superficie de 293.01 kilómetros cuadrados que lo ubica en el 51º lugar con respecto a los demás municipios del estado.

La Orografía del terreno muestra su menor altura al sur con 1,700 metros sobre el nivel del mar; conforme se avanza el Noroeste, el nivel del terreno va ascendiendo suavemente, por ser estribaciones del Volcán Iztaccíhuatl; así, el extremo Noroeste alcanza la cota de 2,500 metros

Clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Este clima es característico de las áreas montañosas del Noroeste, es decir de las estribaciones de la Sierra Nevada.

Clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Este clima se localiza al centro y sur ocupando la mayor parte del municipio.

Clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Se localiza al sureste y extremo noroeste, en las zonas montañosas.

De acuerdo al último censo, realizado por el INEGI en 2010, en la localidad habitan 86 690 personas, que equivalen aproximadamente al 68% de la población del municipio, de 127 062 personas.

El nivel de análisis para cada fenómeno perturbador se puede observar en la Tabla 2:

Tabla 2 Fenómenos Perturbadores

Fenómeno	Nivel de análisis
Vulcanismo	Nivel 3
Sismos	Nivel 3
Tsunamis	NA
Inestabilidad de laderas	Nivel 4
Flujos	Nivel 4
Caídos o derrumbes	Nivel 3
Hundimientos	Nivel 2
Agrietamientos	Nivel 2
Ondas cálidas y gélidas	Nivel 2
Sequías	Nivel 3
Heladas	Nivel 3
Tormenta de granizo	Nivel 2
Tormenta de nieve	NA
Ciclones tropicales	Nivel 1
Tornados	Nivel 3
Tormentas eléctricas	Nivel 2
Lluvias extremas	NA
Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres	Nivel 2

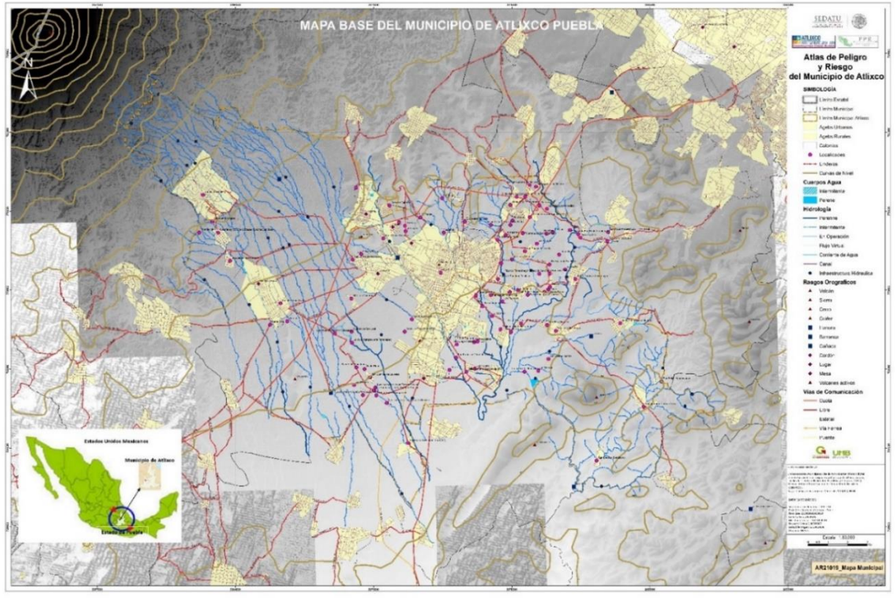
(Fuente: Elaboración Propia)

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

La escala de elaboración de los estudios será 1:20,000 o mayor. La escala de impresión será la que determine el municipio como adecuada para el uso de los mapas, en un principio se propone un tamaño de impresión de 60 cm. por 90 cm. La cartografía generada ayudo a realizar un análisis completo de los peligros, vulnerabilidades y sistemas expuestos, señalando las zonas 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. Los mapas finales representan el grado o nivel de peligros, vulnerabilidad y riesgos ante cada uno de los fenómenos naturales, de acuerdo con los términos de referencia para la elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016.

Mapa Base.

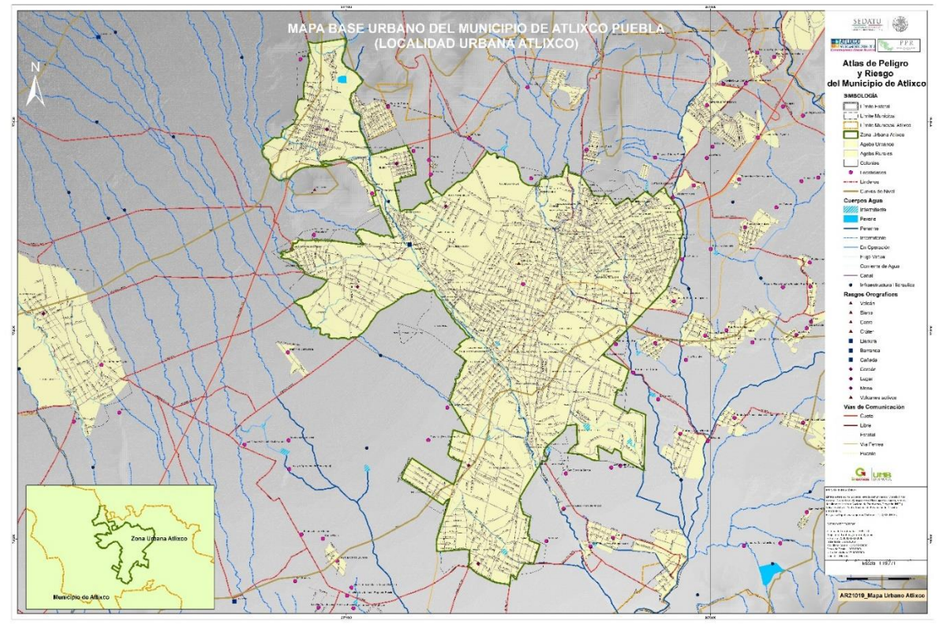
El Mapa Base se compone de diferentes capas que permiten ubicar claramente al municipio y los diversos componentes geográficos, orográficos e hidrológicos de la zona de estudio. La mayoría de los mapas que se presentan a lo largo del documento se construyeron sobre el que se muestra en el mapa 8.



Mapa 8: Mapa Base del Municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI))

Es importante mencionar que dependiendo de la escala se agregan o quitan elementos con el fin de que a menor escala se pueda tener mayor detalle y más información que facilite la lectura del Mapa 9.



Mapa 9: Mapa de Zona Urbana

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI))

3 Diagnóstico de peligro e identificación de riesgos

Antecedentes de los riesgos

- **Políticas Públicas para la Prevención de Desastres en el Municipio de Atlixco.**

La Ciudad de Atlixco, como muchas de las ciudades de la República Mexicana afronta año con año, problemas derivados de la presencia de fenómenos naturales o meteorológicos, por lo que el Gobierno Municipal encara el imperativo de aplicar mayores y mejores mecanismos, así como recursos para atender las necesidades básicas de seguridad a la población.

Como consecuencia del alto grado de incidencia de los fenómenos naturales, en el Municipio de Atlixco, cada año ocurren un importante número de desastres de distinta magnitud y con niveles de pérdida y daños diferenciados. Hasta este momento, la mayoría de las estrategias instrumentadas han omitido el énfasis que se debe asignar a las acciones de prevención y mitigación, así como a la evaluación de la vulnerabilidad de la población, enfocándose básicamente a perfilar acciones reactivas ante una situación de desastre.

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 establece como la estrategia central en materia de protección civil el transitar de un sistema reactivo a uno preventivo, con la corresponsabilidad y participación de los tres órdenes de gobierno, población y sectores social y privado.

Dentro de los instrumentos normativos de política en materia de prevención de desastres, la Ley General de Protección Civil establece los lineamientos básicos del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) cuyas disposiciones, medidas y acciones están destinadas a la prevención, auxilio y recuperación de la población ante la eventualidad de un desastre.

- **Antecedentes de la SEDESOL en materia de Prevención de Desastres**

Durante el periodo 1976-1982, se creó en la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) la Dirección General de Prevención y Atención de Emergencias Urbanas, encargada de desarrollar el tema en los planes de desarrollo urbano, elaborando el Plan Nacional de Prevención y Atención de Emergencias Urbanas en 1981.

Posteriormente en el Programa Nacional de Desarrollo Urbano 1990-1994 se incorporó un anexo en el que se establecen propuestas para reducir los riesgos a los que pueden estar sujetos los centros de población.

A partir de la explosión en la ciudad de Guadalajara en 1992, se introduce el tema de prevención de desastres a través de la regulación del uso del suelo, con el propósito de que las localidades contempladas en el Programa de 100 Ciudades incorporen en forma amplia el tema de prevención de desastres a los planes de desarrollo urbano.

En 1993, la Secretaría de Desarrollo Social, con la promulgación de la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) promueve, mediante el Artículo 3º de dicha Ley, que con “el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población, tenderán a mejorar el nivel y calidad de vida de la población urbana y rural, mediante la vinculación del desarrollo regional y urbano con el bienestar social de la población; la adecuada interrelación socioeconómica de los centros de población; el desarrollo sustentable de las regiones del país; el fomento de centros de población estratégicos; la descongestión de las zonas metropolitanas; la coordinación y concertación de la inversión pública y privada; la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanos en los centros de población, así como la participación social en los asentamientos humanos, entre otros aspectos”.

En el Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio (PNDU y OT) 2001–2006 se contemplan las acciones dirigidas a mejorar los sistemas de prevención-alarma; la elaboración de planes de contingencias y organización de la sociedad para su aplicación: el desarrollo de estudios territoriales y urbanos de riesgo, la elaboración y aplicación de planes y reglamentos de control y uso del suelo; el estudio, planeación, proyecto, gestión y ejecución de obras de infraestructura para protección y control ante fenómenos que originan desastres.

A partir del año 2003, con el Programa Hábitat, la SEDESOL propone, además de contribuir a superar la pobreza urbana y mejorar el hábitat popular, hacer de las ciudades y sus barrios espacios ordenados, seguros y habitables, mediante acciones orientadas a reducir la vulnerabilidad de los hogares y mejorar la infraestructura frente a peligros de origen natural. Es a través de la Modalidad de Ordenamiento del Territorio y Mejoramiento Ambiental que a partir de este 2004, se pretende fortalecer los esfuerzos de prevención de desastres en las zonas urbano-marginadas mediante el impulso de seis tipos de acciones:

1.- La elaboración de Estrategias para la prevención de desastres, que incluyen atlas de riesgos naturales a nivel ciudad y estudios y mapas de riesgo;

2.- La elaboración de propuestas para ordenar el uso del suelo con fines de prevención;

3.- Acciones de educación y sensibilización para la prevención de desastre;

4.- La realización de obras de mitigación que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos frente a amenazas de origen natural;

5.- La reubicación de familias asentadas en zonas de riesgo no mitigable; y

6.- Apoyos a viviendas en situación de emergencia mediante el aprovisionamiento de enseres domésticos básicos.

- **Registro de zonas de riesgo en el municipio de Atlixco, Puebla**

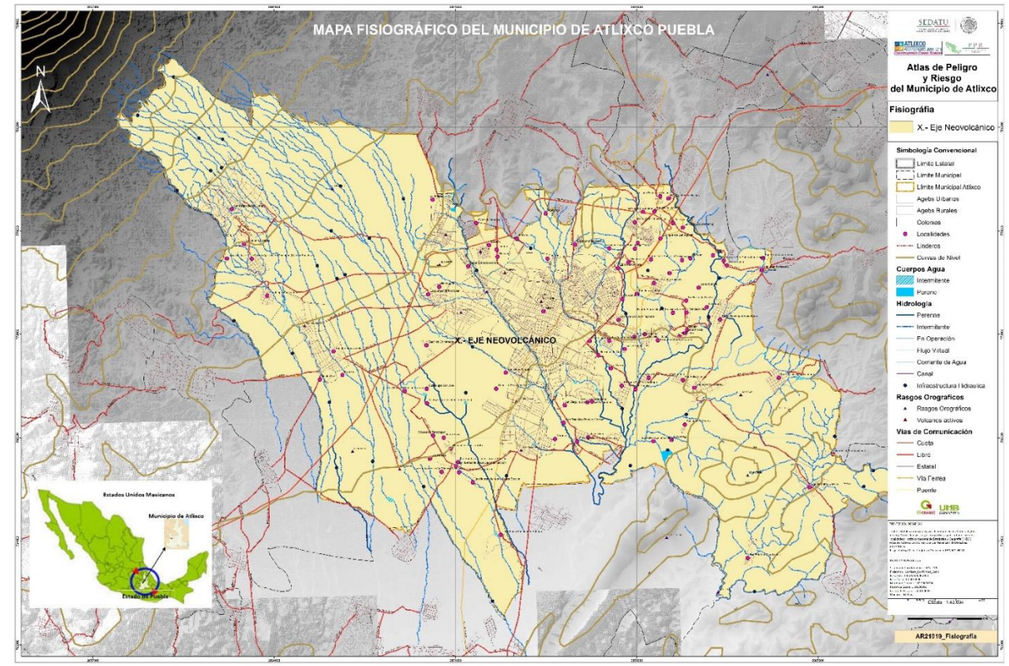
Tabla 3 Zonas de Riesgo del Municpio de Atlixco

ZONA DE RIESGO	RIESGOS DETECTADOS
Zona 1: San Pedro Benito Juárez, San Juan Ocotepec, Agrícola Ocotepec, Agrícola Guadalupe Huexocoapan; San Miguel Ayala, Coyula, Axocopan, Metepec y El León.	Erupción volcánica (volcán Popocatépetl), incendios forestales, heladas, sequias, inundaciones (crecientes de ríos), ataques de abejas africanas, rabia (población excesiva de perros), fugas de gas por mala instalación, concentración de gente en los fines de semana por los centros vacacionales (balnearios), zona turística de San Baltazar Atlimeyaya (zona de trucas y pesca).
Zona 2: Área urbana del centro de la población de Atlixco.	Riesgo por actividad volcánica (volcán Popocatépetl), deslave en el Cerro de San Miguel, zona sísmica, afectación de viviendas de la zona centro, incendios forestales (Cerro de San Miguel), Avenida Xalpatlaco y el cerro de Tizayuca, colonia centro, calles 3 y 5 oriente y poniente, boulevard ferrocarriles, 15 oriente y Nicolás Bravo inundaciones, rabia (por perros callejeros), peligro de alacranes, fugas de gas, incendio en viviendas, concentraciones masivas de gente y riesgos en zonas comerciales.
Zona 3: San Diego Acapulco, Castillotla, La Trinidad Tepango, Tenextepec y La Sabana.	Riesgo por actividad volcánica (volcán Popocatépetl), incendios en sembradíos, rabia (por perros callejeros), peligro de alacranes, fugas de gas, accidentes aéreos (zona de autopista), accidentes carreteros y de transporte de materiales peligrosos y tóxicos, accidentes automovilísticos.
Zona 4: Santo Domingo Atoyatempan, San Jerónimo Caleras, Cosamaloapan, Zoapiltepec, Ixtahuixtla, Nexatengo, Huilotepec y Tejaluca	Riesgo por actividad volcánica (volcán Popocatépetl), incendios en sembradíos, fugas de gas y accidentes carreteros.

(Fuente: Atlas Municipal de Riesgos. Unidad de Protección Civil. H. Ayuntamiento de Atlixco, Puebla. 2005).

Fisiografía

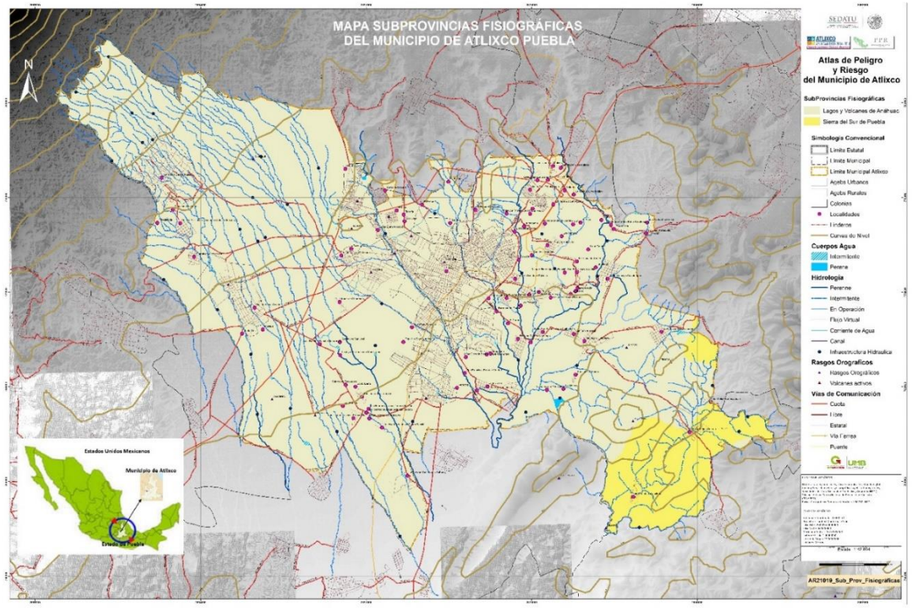
El municipio de Atlixco se encuentra ubicado en un área que corresponde a dos provincias fisiográficas, Provincia Eje Neovolcánico, sub-provincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, y a la Provincia Sierra Madre del Sur, Sub-provincia Sierras y Valles Guerrerenses (Ver Mapa 10).



Mapa 10 Provincias fisiográficas de México

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI))

La Sub-provincia Lagos y Volcanes de Anáhuac es la más extensa de las catorce que integran al Eje Neovolcánico. La sub-provincia se extiende de poniente a oriente, desde unos 35 km al occidente de Toluca, México, hasta Quimixtlán, Puebla. Consta de sierras volcánicas o grandes aparatos individuales que alternan con amplias llanuras formadas, en su mayoría, por vasos lacustres. De oeste a este se encuentran en sucesión las cuencas de Toluca, México, Puebla y Oriental (Ver Mapa 11).



Mapa 11 Sub-provincias fisiográficas

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI))

Esta sub-provincia es la que abarca la mayor superficie del estado, ya que el 35.93% de su territorio pertenece a ella. Ocupa casi toda la parte central de la entidad, desde la Sierra Nevada hasta el Pico de Orizaba, el área de Izúcar de Matamoros y dos franjas que van desde Hueyapan y Ahuazotepec hasta la localidad de Oriental. Comprende 66 municipios completos y cubre parte de otros 35, entre ellos, Atlixco. Esta sub-provincia cubre el 91.99 % del territorio de Atlixco.

En esta sub-provincia se localizan las tres mayores elevaciones del país: Citlaltépetl o Pico de Orizaba (5,610 msnm), Popocatépetl (5,500 msnm) e Iztaccíhuatl (5,220 msnm). En las cumbres de estas elevaciones existen tres de los pocos pequeños glaciares de la región intertropical del mundo, además, entre las dos últimas, las cuales conforma a la Sierra Nevada, se localiza el Paso de Cortés, puerto orográfico relevante por su importancia histórica y su accesibilidad.

Las cuencas de Puebla y Atlixco-Izúcar quedan incluidas en esta sub-provincia. Estas cuencas se encuentran interrumpidas y separadas por lomeríos suaves.

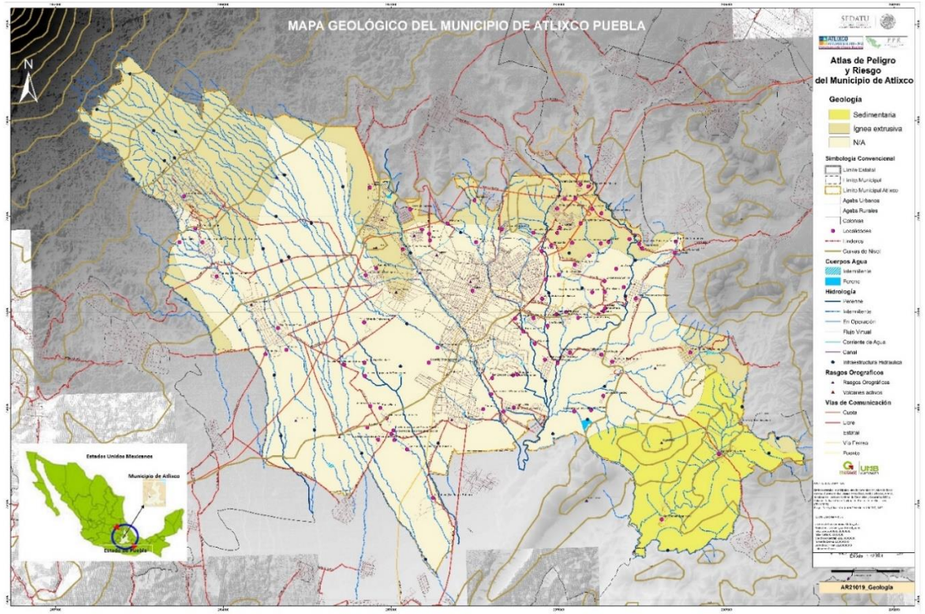
Provincia Sierra Madre del Sur. Esta provincia comprende 45.42% de la superficie del estado y está representada por parte de siete sub-provincias: Cordillera Costera del Sur, Mixteca Alta, Sierras y Valles Guerrerenses, Sierras Centrales de Oaxaca, Sierras Orientales, Sur de Puebla y Llanuras Morelenses. Abarca la mayor parte de la porción sur de la entidad, aproximadamente desde una línea definida por los poblados de Cohuecán, Atzala, Tochimiltzingo, Santa Clara Huitziltepec, Tecamachalco y Morelos Cañada, hasta los límites con Oaxaca.

La Sub-provincia Sierras y Valles Guerrenses se introduce en el estado de Puebla por el suroeste, a lo largo de una franja de orientación noreste-suroeste, que se extiende desde la parte sur de la presa de Valsequillo, hasta el extremo suroeste del estado. Comprende 9.84% de la superficie total estatal, superficie que pertenece a los municipios de Jolalpan, Cohetzala, Epatlán, Ahuatlán, Coatzingo, San Martín Totoltepec y Xochiltepec; así como a porciones de los de Teotlalco, Huehuetlán el Chico, Chiautla, Chietla, Izúcar de Matamoros, Tepeojuma, Huaquechula, Atlixco, Ocoyucan, San Diego la Mesa Tochimiltzingo, Teopantlán, Huehuetlán el Grande, Tzicatlacoyan, Cuayuca de Andrade, Tehuitzingo y Xicotlán. Esta sub-provincia cubre el 8.01% del territorio de Atlixco.

Provincia Eje Neovolcánico. Esta provincia abarca el 38.26% del territorio estatal. Dentro del estado de Puebla se encuentran áreas que forman parte de tres sub-provincias del Eje Neovolcánico: Lagos y Volcanes de Anáhuac, Chiconquiaco y Llanos y Sierras de Querétaro e Hidalgo.

Geología

El territorio municipal está constituido por tres clases litológicas: rocas ígneas, rocas sedimentarias y suelos aluviales (Ver Mapa 12).



Mapa 12 Clase de rocas presentes en el municipio de Atlixco, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI))

Las rocas ígneas extrusivas, formadas por el enfriamiento rápido del magma en superficie o cerca de ella, están compuestas casi en su totalidad por silicatos. En la zona se encuentran rocas ígneas extrusivas tipo andesita, dacita, basalto, toba intermedia y volcanoclástico del Cenozoico Neógeno y, andesita, basalto y toba básica, del Cenozoico Cuaternario. Estas rocas abarcan en conjunto 8,310 hectáreas.

El área que corresponde al volcán Popocatépetl está formada litológicamente por rocas ígneas extrusivas tipo andesitas y toba básica. El área de la llanura aluvial con lomerío que se localiza al norte de la cabecera municipal, se caracteriza por la presencia de lomeríos suaves formados por rocas ígneas extrusivas: tipo toba intermedia en el cerro La Leona y alrededores de Metepec; tipo andesita y volcanoclástica al sur de Metepec y; tipo volcanoclásticas el cerro ubicado al norte de la localidad de Santa Lucía Cosamaloapan. Las rocas de origen sedimentario cubren 9,083 hectáeas. Se encuentran rocas sedimentarias tipo caliza del Mesozoico Cretácico, conglomerado del Cenozoico Paleógeno y Cenozoico Cuaternario y; limotita-arenisca del Cenozoico Terciario.

Las rocas calizas están formadas a partir de la consolidación de restos de organismos y constituidas por calcita (carbonato de calcio y; los conglomerados son rocas que se originan a partir de partículas que mantienen su integridad física durante el transporte y son depositadas rápidamente sin dar lugar a la clasificación del depósito.

Sierra volcánica de laderas tendidas con lomerío y el Cerro Cruztépetl están formados litológicamente por rocas sedimentarias tipo caliza. La porción septentrional de esta sierra por rocas tipo dacita y toba intermedia y conglomerado y; la llanura con lomerío de piso rocoso por rocas sedimentaria tipo limolita-arenisca.

Los suelos aluviales o aluviones son depósitos aluviales recientes, del Cenozoico Cuaternario (el término se refiere a material no consolidado). Están constituidos por detritos de las diversas rocas presentes en la región. Estos materiales, transportados y depositados por el agua en los canales de las corrientes y en las planicies inundables, ocupan las dos terceras partes de la superficie total de la zona de estudio, 17,090 hectáreas. La llanura aluvial está compuesta fundamentalmente por suelos aluviales, encontrándose dos áreas formadas por rocas sedimentarias tipo conglomerado, la primera en las estribaciones del cerro La Leona y, la segunda del cerro Zoapiltepec.

El análisis de las características geológicas del territorio municipal en estudios como el presente tiene como propósito establecer las condiciones de riesgo y vulnerabilidad que se presentan en el territorio, la superficie y distribución de las formaciones consignadas y cuyo comportamiento con respecto a eventos específicos pueden generar en mayor o menor inestabilidad de los suelos.

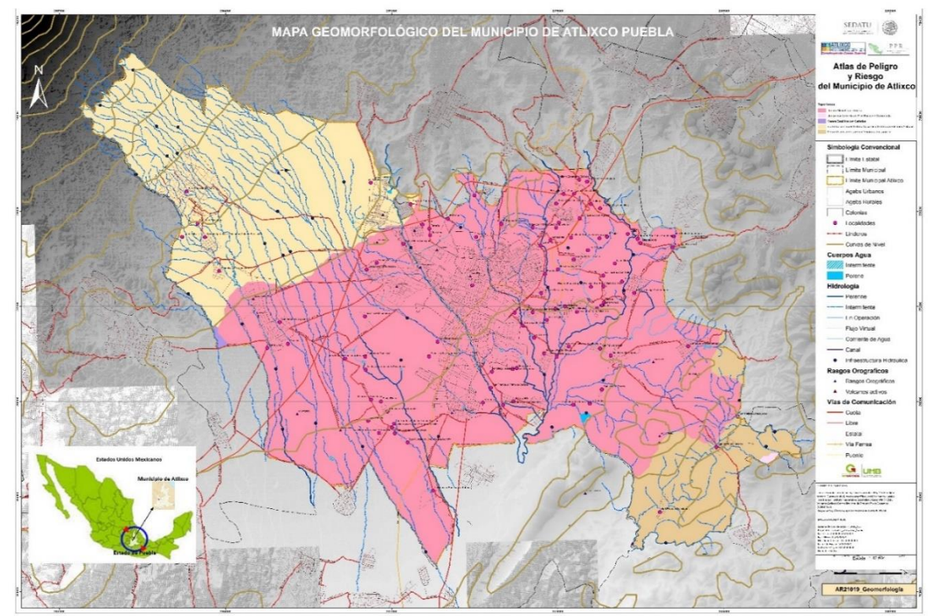
El suelo del municipio de Atlixco en el estado de Puebla, se ha estado formando en los siguientes periodos geológicos:

- Cuaternario (66%)
- Cretácico (12%)
- Neógeno (6%)
- Paleógeno (1%)

Geomorfología

El Municipio de Atlixco forma parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovalcánico subdividiéndose en 3 subregiones. Atlixco corresponde a la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac, teniendo cerca el volcán Popocatépetl (5,500 msnm).

El Valle de Atlixco tiene una altitud que varía de los 3,910 a los 1,650 msnm clasificándose como un valle se laderas tendidas con lomerios, donde los suelos más representativos en orden de su extensión con el fluvisol, feozem y regosol, litrasólicos y el cambisol, predominando las rocas ígneas extraídas del terciario (Ver Mapa 13).



Mapa 13 Clase de geomorfología presentes en el municipio de Atlixco, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI))

El municipio muestra un mosáico variado de suelos, siendo los más pobres los pubicados en las faldas del volcán y los más fértiles se encuentran hacia la porción este, presentando como problemática principal, el desgaste de las tierras, debido a la intensa explotación, a la que han sido expuestos.

En laderas abruptas tanto de las faldas volcánicas como en el Zoapile, los suelos son poco profundos, llegándose a detectar la presencia de tepetate que dificulta el desarrollo y absorción radicular.

El territorio del municipio se encuentra comprendido dentro de dos unidades morfológicas divididas por la cota 2,000 msnm que atraviesa el Noroeste del estado; hacia el Norte de la cota se encuentra el valle de Puebla, y de la cota hacia el Sur, el valle de Atlixco; ambos descienden de las faldas meridionales de la Sierra Nevada.

Las suaves pendientes del terreno, de 0 a 5º, siguen el cauce del río Nexapa mostrando su menor altura al sur del municipio con 1,700 msnm. Conforme se avanza hacia el Noroeste, estribaciones del Volcán Popocatépetl, el nivel del terreno va ascendiendo suavemente con pendientes que van de 5 a 20°, hasta alcanzar en el extremo Noroeste la cota de 2,500 metros y valores de pendiente mayores a 40°. Al Sureste, el nivel del terreno asciende por el inicio de la Sierra del Tentzo donde aparecen formaciones montañosas que alcanzan un nivel superior a los 2,100 msnm y pendientes que superan los 40°.

El sistema de topoformas es el conjunto de formas del terreno asociadas según algún patrón o patrones estructurales y/o degradativos. Los sistemas de topoformas se clasifican con base en sus características o la combinación de las mismas. Estas características son: formas del terreno, elevación, aspecto, componente, origen, tipo de roca, material de depósito, ubicación, asociaciones y fase.

Dominan el paisaje, la sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados, la sierra volcánica con lomerío de laderas tendidas y la llanura aluvial con lomerío; otras formas de terreno con menor representación son la llanura con lomerío de piso rocoso o cementado y la meseta basáltica con cañadas.

La llanura aluvial con lomerío cubre la porción central del municipio ocupando una superficie total de 19,899 hectáreas. Estas áreas sin elevaciones o depresiones prominentes asociadas a lomerío tienen su origen en materiales de depósito fragmentarios no consolidados que fueron transportados y depositados por corrientes de agua. En esta área se encuentran cerros aislados como el Pochote, Tecuitlacuelo, loma La Calera, el Charro, Crustépetl y, en el centro de la ciudad de Atlixco, se levanta el pequeño volcán de San Miguel.

La llanura con lomerío de piso rocoso o cementado ocupa 715 hectáreas, inicia en el extremo occidental del municipio de Atlixco extendiéndose a los municipios de Ocoyucan, Puebla y Teopatlán. En su fase de desarrollo, este sistema presenta una superficie formada por roca o material clástico compactado, es decir, un piso rocoso o cementado.

Las sierras volcánicas ocupan en la zona de estudio una superficie total de 13,828 hectáreas. Las emisiones de lava fueron los eventos geológicos que conformaron este sistema, de ahí el nombre, sierras volcánicas. Este sistema corresponde a la Sierra Nevada y abarca una superficie de 9,788 hectáreas. Presenta, como elemento sobresaliente, un cono volcánico compuesto alternadamente por capas de roca y cenizas–estrato volcanes- o conos volcánicos compuestos separados -estrato volcanes aislados-.

Al Oriente, las sierras presentan como elemento sobresaliente en su superficie porciones extendidas y se encuentran asociadas a un conjunto de lomas, son sierras volcánicas de laderas tendidas con lomerío. Abarcan una superficie de 4,041 hectáreas. En este sistema, inicia la Sierra del Tentzo y aparecen formaciones montañosas aisladas que culminan en los cerros de El Mecate, Zoapiltepec y Texistle, que alcanzan un nivel superior a los 2,100 msnm.

Las mesetas son terrenos elevados y llanos de gran extensión. Las mesetas se clasifican como basálticas en función del origen, así como del contenido mineralógico, roca ígnea extrusiva de tono oscuro común en volcanes y derrames volcánicos. En esta zona las mesetas basálticas coexisten con cañadas, de ahí su nombre. Ocupa una superficie de 39 ha al Oriente de las localidades San Miguel Ayala y San Jerónimo Coyula en los límites del municipio de Tochimilco.

Su sistema topofórmico se compone de sierra 26.18%; llanura con lomeríos 65.89%; meseta con cañadas 0.03%; y sierra con lomeríos 7.90%.

Se le considera una subprovincia de lagos y volcanes de Anáhuac (92%) y sierras del sur de Puebla (8%), siendo un sistema de topoformas de llanura aluvial con lomerío (66%), sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados (26%) y sierra volcánica de laderas tendidas con lomerío (8%). (Ver Fig. 1)

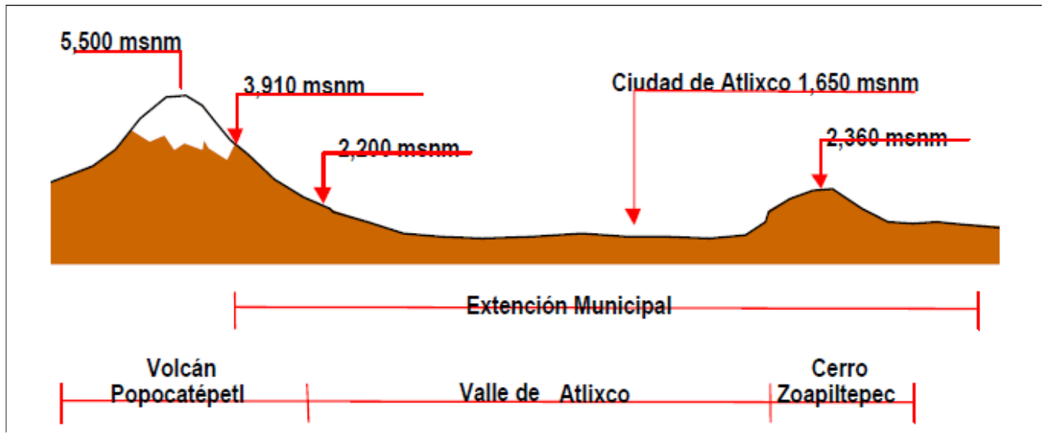


Fig. 1 Topografía

(Fuente: FOA, Consultores en base a cartas topográficas del INEGI 2000, Síntesis Geográfica del Estado de Puebla, 2000 INEGI)

Edafología

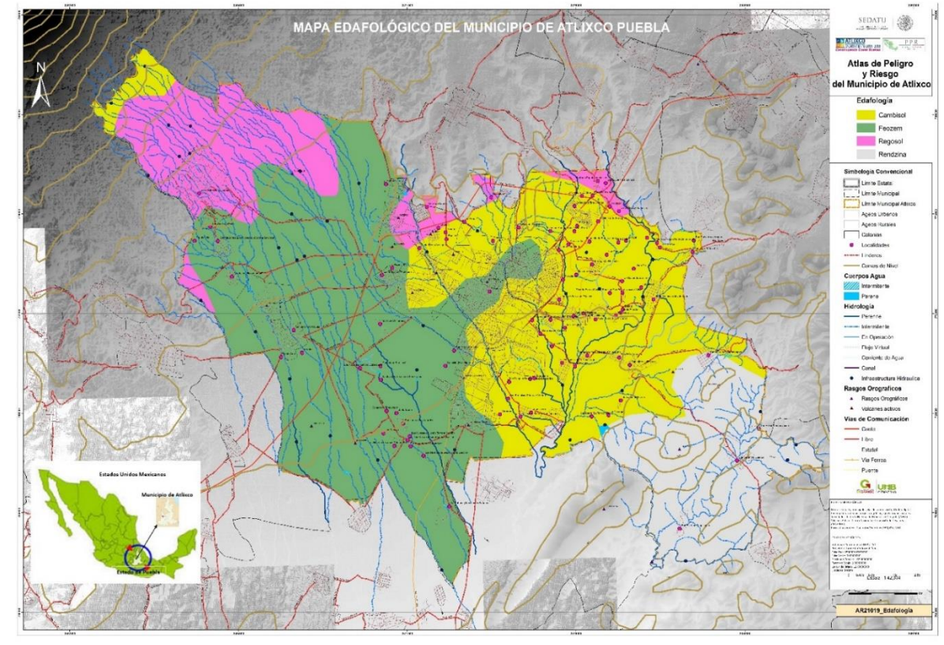
El análisis edafológico que incluyen los estudios de planeación urbana tiene como propósito fundamental determinar el potencial aprovechamiento de los suelos de un territorio determinado reconociendo aquellos que pueden ser utilizados para el desarrollo urbano como aquellos que por sus características son potencialmente aprovechables para usos distintos al urbano y que constituyen la base de la sustentabilidad a largo plazo de estos territorios. El suelo es un cuerpo natural, distribuido como un continuo en el paisaje con variaciones determinadas por las condiciones lito-climáticas del sitio, el drenaje, la historia geomorfológica y el uso de la tierra.

Dado los procesos que participan en la formación de suelos, estos mantienen y explican funciones que han permitido la sobrevivencia de la población y de sus asentamientos. La función más conocida y utilizada de los suelos es la de soporte y suministro de nutrientes para las diversas asociaciones vegetales naturales y los cultivos, un resultado de este tipo de análisis es la clasificación de los suelos según este criterio y que presentamos como resultado parcial en el apartado correspondiente al análisis de aptitud del suelo.

El suelo también cumple con otras funciones relevantes como la de permitir identificar áreas de recarga de los mantos acuíferos al configurar áreas porosas y permeables, necesarios para la regulación del sistema hidrológico, influyendo en la retención y pérdida de agua, su contaminación o purificación.

Además, según sus características, el suelo es el hábitat de una gran diversidad de organismos así mismo en los ecosistemas urbanos, el suelo juega un papel importante en los bancos de materiales, como cimiento para la infraestructura urbana pues dependiendo de sus características las obras que se realizan en la ciudad.

En resumen, los suelos son una pieza clave en cuanto al soporte de todos los ecosistemas terrestres, determinando su funcionamiento y productividad. En este sentido la información edafológica es la base de la evaluación y manejo sustentable de las tierras (Mapa 14).



Mapa 14 Edafología del municipios de Atlixco, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995))

La evaluación de la calidad del suelo enfatiza tanto las características inherentes del suelo (producto de los factores formadores), que se mencionan también en un levantamiento tradicional al que ya nos referimos en párrafos anteriores, como las características dinámicas superficiales (que se presentan en los primeros 20 cm, aproximadamente) y describen el status o la condición de un suelo específico como resultado de su uso y manejo.

El enfoque morfo-edafológico, donde la información edáfica y geomorfológica sustenta la cartografía de unidades de paisaje y permite la explicación de la formación de los suelos y la evaluación de la calidad del sitio de una manera integral y que nos da un resultado más certero del potencial aprovechamiento del suelo en el territorio objeto de este trabajo. Ésta estrategia metodológica permite ajustar los criterios para determinar la aptitud del suelo para usos urbanos después de contrastar el resultado parcial derivado de la clasificación por clases agrologicas con la evaluación integral que conduce a la identificación de las unidades de paisaje.

En el municipio de Atlixco se encuentran 8 unidades suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO-ISRIC-ISSS, 1998 modificada en 2006), siendo los que predominan, en términos de superficie (Ver Tabla 4):

Tabla 4 Tipos de suelo

Tipo de suelo	%
Fluvisol	36
Phaeozem	17
Leptosol	12
Arenosos	12
Regosol	5
urisol	1
Andosol	2

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995))

La unidad litológica de sus suelos está compuesta por los siguientes minerales (Ver Tabla 5):

Tabla 5 Unidad litológica

Unidad Litológica	%
Andesita	3.68
Basalto	0.88
Toba Básica	7.53
Conglomerado	9.58
Aluvial	60.53
Toba Intermedia	4.36
Volcanoclástico	0.60
Dacíta	0.44
Caliza	12.40

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995))

Hidrografía

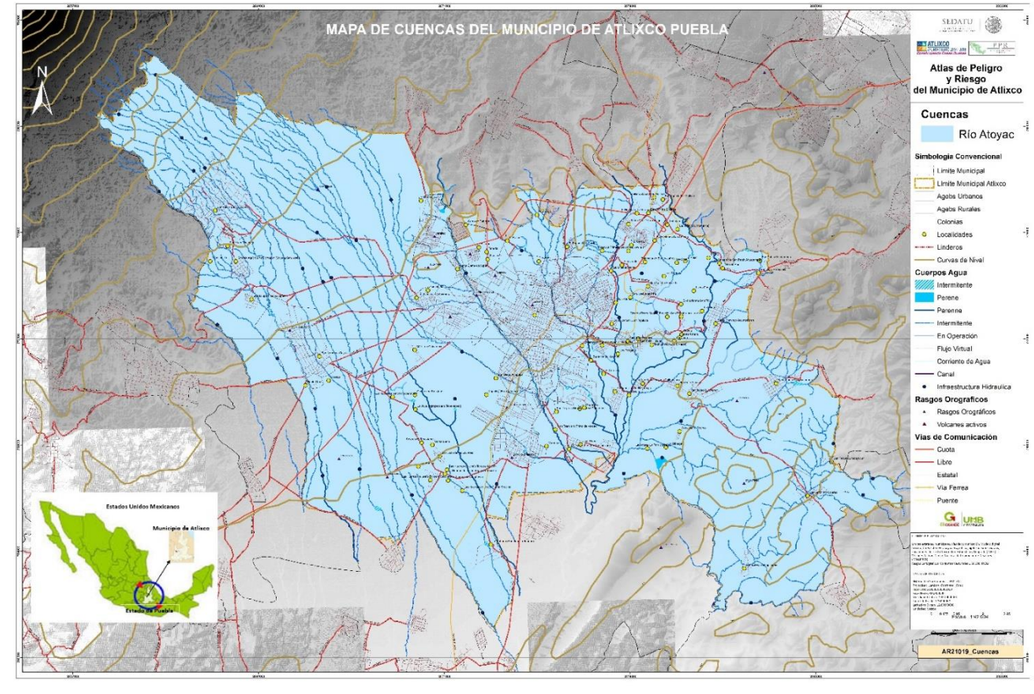
El municipio se encuentra comprendido dentro de la Región Hidrológica (RH-18) Río Balsas, Subregión hidrológica del Alto Balsas, Cuenca del Río Atoyac (Ver Mapa 15) y Subcuenca del río Nexapa.

La Región Hidrológica Río Balsas es una de las más importantes del país. Ocupa las zonas central y suroccidental del estado de Puebla. Se extiende desde el estado de Michoacán y en una pequeña porción del estado de Veracruz, donde está limitada por las elevaciones que circundan la cuenca de Oriental-Perote, entre las que destacan, la caldera de los Humeros, el volcán Pico de Orizaba, el Cofre de Perote y el volcán Atlítzin o Sierra Negra. Hacia el sur de estas montañas, el parteaguas oriental de la región, se prolonga a lo largo de las serranías que constituyen el borde occidental de la cañada poblana-oaxaqueña. Al norte y al sur, la región se encuentra limitada por los parteaguas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur, respectivamente.

La cuenca de drenaje del río Balsas se localiza entre los paralelos 17° 13´ y 20° 04´de latitud Norte y los meridianos 97° 25´y 103° 20´ de longitud Oeste; comprende el 6% del territorio mexicano con una superficie hidrológica total de 117,405 km² a través de ocho estados de la República.

La cuenca del río Balsas se divide en tres subregiones hidrológicas principales: la Cuenca de los ríos Atoyac y Mixteco o del Alto Balsas; la Cuenca del río Cutzamala y del Medio Balsas y Cuenca del Bajo Balsas. La Cuenca del Alto Balsas, que se subdivide a su vez en siete subcuencas: Cuencas Cerradas Orientales, Alto Atoyac, Bajo Atoyac, Nexapa, Amacuzac, Tlapaneco y, Mixteco

La corriente superficial más importante que escurre por el municipio de Atlixco es el río Nexapa. El rio nace en la falda oriental del Popocatépetl a unos 20 km al norte de la ciudad de Atlixco, es un río de régimen permanente, alineado en su porción alta por los deshielos del volcán, solo que pocos kilómetros debajo de su nacimiento derivan sus aguas a través de un canal, cuyo nombre va cambiando, en este sitio es conocido como Los Molinos, estimándose un gasto de 400 litros por segundo. Sobre su porción occidental, recibe aportaciones del Río Cantarranas y de las barrancas La Leona y Cuescomate. El río Cantarranas se inicia donde nacen los manantiales de San Baltazar Atlimeyaya, cuyas aguas son conducidas por el canal Catecuxco con un gasto estimado de 1 m3/s.



Mapa 15 Cuenca Río Atoyac

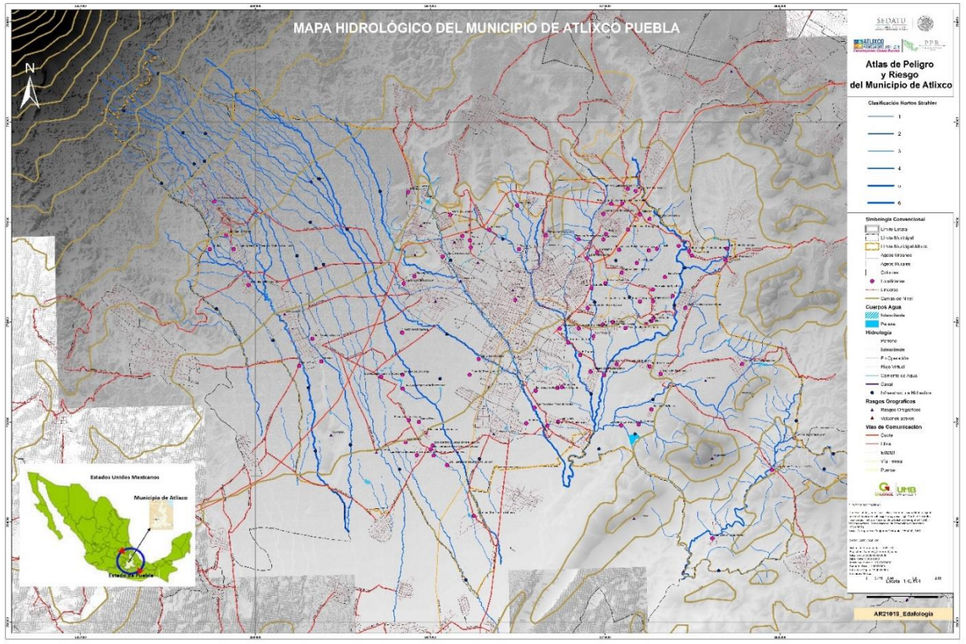
(Fuente: Elaboración Propia, con información de la Comisión Nacional del Agua (1998))

La infraestructura hidráulica del municipio consiste en presas de reducida capacidad, bordos y canales.

En el estado de Puebla las corrientes superficiales son escasas y de volumen reducido, especialmente hacia la parte centro y sur de la entidad, o bien, se encuentran casi totalmente aprovechadas o presentan problemas de contaminación. Aparte de los ríos Nexapa y Atoyac, todas las demás fuentes de agua que sustentan la economía estatal, son de origen subterráneo.

El municipio de Atlixco queda comprendido dentro del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros. El acuífero se considera en general de tipo libre presentando condiciones de buena permeabilidad. La dirección de flujo de aguas subterráneas tiende a seguir la pendiente del Valle. La evolución del nivel estático muestra abatimientos en la parte central del valle, hasta de –4 m y recuperaciones en la parte noroeste de la zona de Atlixco y a lo largo del valle de San Juan Epatlán que llegan a ser de +2 a +4 m, respectivamente, estas últimas corresponden claramente a áreas cercanas a zonas de recarga (CNA, 2002). De acuerdo con el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado la vulnerabilidad del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros era moderada.

En 2010 la extracción total anual de aguas subterráneas y superficiales en el Valle Atlixco-Izúcar de Matamoros fue de 129.1 m³. El agua extraída y superficial en el caso del municipio de Atlixco fue de 81.2 m³., se emplea principalmente en la agricultura, 77.22%; en segundo lugar, están el uso público industrial con 15.60%, finalmente el uso público urbano con 7.18%.



Mapa 16 Mapa de Hidrología

(Fuente: Elaboración Propia, con información de la Comisión Nacional del Agua (1998))

La extracción de agua del acuífero, se efectuaba mediante un total de 727 aprovechamientos, 583 agrícolas, 60 de uso público-urbano, 8 industriales y 76 de uso doméstico-agrícola.

En el estado de Puebla existen actualmente 4 zonas de explotación correspondientes a la Región Hidrológica número 18, las cuales constituyen la principal fuente de agua para el desarrollo de las actividades económicas en la región que depende de esta subcuenca. El balance geo-hidrológico, indica una disponibilidad media anual de aproximadamente 99.72 millones de metros cúbicos de agua por año, dado que se tiene estimada una recarga global de 1,218.5 Mm3, y se extraen anualmente alrededor de 977.1 Mm3. Los acuíferos correspondientes al Estado de Puebla se encuentran comprometidos y en el caso específico del correspondiente al de Atlixco-Izúcar de Matamoros está claramente sobreexplotado (Ver Mapa 16).

Climatología

El Municipio de Atlixco, se encuentra en la zona intertropical de mediana altitud y en las estribaciones del volcán Popocatépetl, lo que determina una elevada insolación y descarga de humedad existente en los vientos provenientes del Golfo de México por efecto de la barrera montañosa.

Tales condicionantes hacen que se presenten el clima semicálido, semihúmedo con lluvias en verano y humedad media, con temperaturas máximas de 25°C y un promedio de 18°C y mínimas 11°C. En los poblados centrales del Municipio estas cifras se incrementan ligeramente.

En estricto sentido técnico, son apreciables cinco tipos de clima en Atlixco a lo largo del año (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Tabla 6):

Tabla 6 Cuenca Río Atoyac

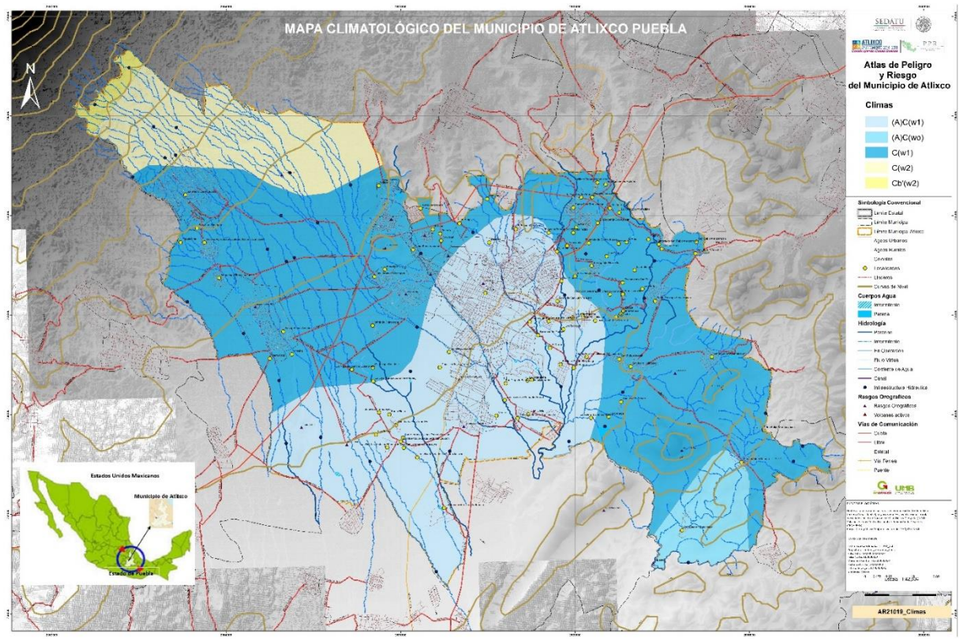
Tipo de Clima	Hectáreas
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media.	41.13
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad baja.	41.13
Templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad.	34.68
Templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media.	23.13
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad	1.06

(Fuente: Elaboración Propia)

El clima en el municipio corresponde a la transición entre los climas semifríos y templados del Norte del estado, a los cálidos del Sur. En la clasificación climatológica de Köppen, se describe como un clima templado con régimen de lluvias de verano y poca oscilación de temperatura. La temperatura media anual va de 16.1 a 21.8° C. La precipitación media anual varía de 719.9 a 1,061.2 mm, siendo la precipitación media anual de 890 mm. Los meses más lluviosos ocurren en junio, julio, agosto y septiembre con alturas de lluvia hasta de 1,273.2 mm. La evaporación potencial media anual es de 1,926.4 mm.

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de W. Köppen (1936), modificada para la República Mexicana por E. García (1964) y revisada y complementada por INEGI (1980), el clima que predomina en el municipio es el templado, cubre el 57.55% de la superficie municipal. En orden de dominancia, le siguen los climas semicálidos y los semifríos, 37.7% y 4.75% respectivamente. El clima semifrío se localiza en las faldas del volcán Popocatépetl; el clima templado entre los semifríos y los semicálidos y se extiende desde la Sierra Nevada hasta la porción occidental del municipio y; los semicálidos se localizan en la zona centro Sur.

El clima templado cubre 19,847 hectáreas de la superficie municipal y se caracterizan por presentar temperaturas medias anuales que varían entre 12° y 18°C y temperatura media del mes más frío entre -3° y 18°C. De acuerdo con el régimen de lluvias y grado de humedad se encuentran dos subtipos de este clima, el templado subhúmedo con lluvias en verano más húmedo y; el templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media que cubren 32.38% y 25.2% del territorio municipal respectivamente. En estos climas la precipitación del mes más seco menor a 40 mm.



Mapa 17 Tipos de clima Atlixco, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, con información de la Comisión Nacional del Agua (1998))

El clima templado subhúmedo más húmedo es el más acuoso de los climas templados subhúmedos, abarca, desde las estribaciones orientales de la Sierra Nevada hasta las localidades de Metepec por el Norte y de San Miguel Ayala por el Sur. En este clima cubre otras localidades: San Pedro Benito Juárez, Col. Agrícola Ocotepec y San Jerónimo Coyula. La temperatura media anual en estas zonas varía entre 12° y 18°C; la precipitación total anual entre 700 y 1,500 mm, el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5%, (dentro de ésta se considera la precipitación ocurrida en los meses de enero, febrero y marzo) y el grado de humedad es mayor a 55%.

Los climas templado subhúmedo de humedad media, situados entre los templado subhúmedo más húmedo y los semicálidos, se localizan en una franja continua que va del sureste de la localidad de San Jerónimo Coyula al Norte de la zona suburbana de la ciudad de Atlixco, de ahí, a la localidad de Santo Domingo Atoyatempan en dirección noroeste sureste donde comprenden la localidad de La Trinidad y, al Sur en dirección noreste suroeste hasta los límites de Huaquechula. Comprende la localidad de Santa Lucía Cosamaloapan y la porción septentrional de los cerros de Texistle, Zoapiltepec y El Mecate. En estas áreas la temperatura media anual varía entre 12° y 18°C, la precipitación total anual tiene un rango de 600 a 1,000 mm, el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5% y el grado de humedad varía entre 43.2% y 55%.

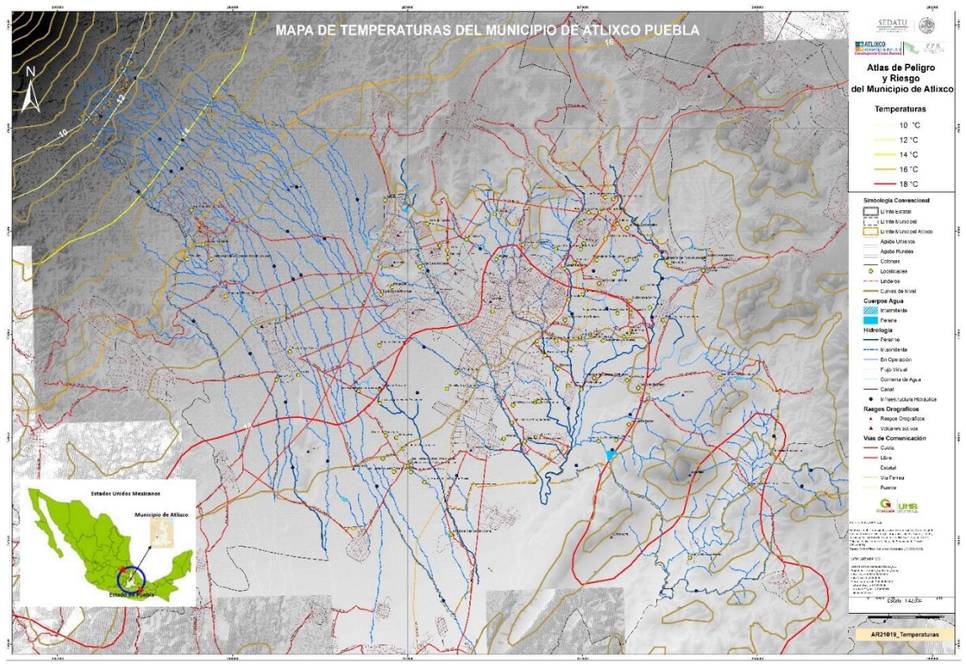
El clima semicálido cubre 13,000 hectáreas al Sur del municipio. Este clima se caracteriza por presentar una temperatura media anual de entre 18 y 22° C, temperatura media del mes frío mayor de 18°C, régimen de lluvias de verano, lluvia invernal entre 5 y 10.2 % del total anual y precipitación del mes más seco menor a 60 mm. Con base en el grado de humedad y régimen de lluvias se encuentra los subtipos semicálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media y, el semicálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad baja, que ocupan 41.13% y 1% de la superficie municipal respectivamente.

El clima semicálido subhúmedo de humedad media ocupa el área centro Sur del municipio. La temperatura media anual supera los 18°C, la precipitación promedio anual va de 700 a 1,000 mm, el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5% y el grado de humedad varía entre de 43.2% a 55%.

El semicálido subhúmedo es el menos húmedo de los climas semicálidos subhúmedos. Se distribuye en una franja continúa orientada noreste sureste la porción meridional de los cerros de Texistle, Zoapiltepec y El Mecate y comprende la localidad de San Jerónimo Caleras. En estas zonas la temperatura media anual va de 18° a 22°C, la precipitación total anual fluctúa de 600mm a 1,000 mm, el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5% y el grado de humedad es menor de 43.2% (Ver Mapa 18).

El clima semifrío se restringe a un área de extensión relativamente pequeña, 1,637 ha. Cubre zonas con una altitud mayor a los 2,500 msnm situadas en la Sierra Nevada. Este clima se caracteriza por una temperatura media anual de entre 5 y 12°C y temperatura media del mes más frío entre -3° y 18°C; régimen de lluvias de verano, lluvia invernal entre 5% y 10.2% y precipitación del mes más seco menor a 40 mm.

En estas zonas se presenta el subtipo semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, con una temperatura media anual varía entre 5° y 12°C, precipitación total anual entre 600 y 1,500 mm, porcentaje de lluvia invernal menor de 5% y grado de humedad mayor a 55%.



Mapa 18 Temperatura media anual de Atlixco, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, con información de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) 1998)

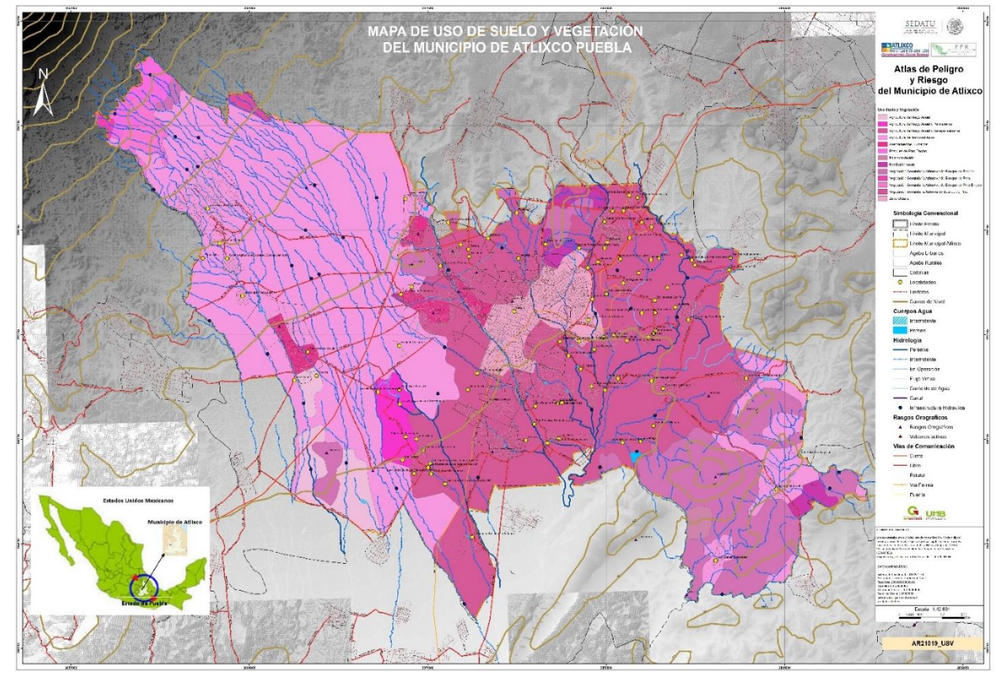
Uso de suelo y vegetación

El cambio de uso de suelo es considerado como uno de los mejores indicadores que describen tendencias, inercias y procesos en un territorio específico. Se elaboraron los cambios de uso de suelo y vegetación, durante dos periodos 1980-1993 y 1993-2005 en el Municipio de Atlixco, Puebla.

Es importante mencionar que las áreas sub-urbanas van ganando espacio territorial, ya que se ha dado el un proceso de urbanización difuso y disperso de este municipio hacia áreas que representan aproximadamente 3’096,207 hectáreas alrededor de los diversos asentamientos humanos del municipio.

En México, diversos problemas sugieren que actualmente se realiza un uso inapropiado del territorio, lo cual impide el aprovechamiento de los bienes y servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas. Una extensa superficie del país presenta severos problemas de erosión y degradación de suelos en general; la diversidad biológica se reduce con los cambios no deseados de la cobertura vegetal; grandes áreas están expuestas a los efectos de riesgos naturales; los mantos acuíferos se encuentran sobreexplotados y cuerpos de agua contaminados; las zonas urbanas y la infraestructura crecen sin la planificación adecuada.

Estos problemas sugieren que el territorio debería estar sujeto a procesos de planificación territorial los cuales, en cualquier modalidad y a cualquier escala, requieren como fundamento su regionalización ecológica.



Mapa 19 Uso de Suelo y Vegetación

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI))

La mayor parte de la población del Municipio se concentra en asentamientos de más de 5,000 habitantes, como son las ciudades de Atlixco, Metepec, la Trinidad Tepango, San Pedro Benito Juárez, San Jerónimo Coyula y San Miguel Ayala, el resto de asentamientos es menor, pero ubicados muy cerca el uno del otro, por lo que se puede hablar de un municipio conurbado.

Dicha concentración de población ha generado que los servicios y equipamiento se ubiquen en la población más grande que es la de la ciudad de Atlixco, donde alrededor de ella órbita todo el municipio.

Existen, además, problemas socioeconómicos que limitan fuertemente las actividades agropecuarias tales como: falta de mano de obra, de transporte, de organización de productores, y de asistencia técnica; deficiencias en la comercialización.

Las características geográficas del Municipio de Atlixco determinan los tipos de ecosistemas que se desarrollan en el área. Ecológicamente, se ubican tres regiones con condiciones distintas que ocasionan diferentes tipos de hábitats.

Al noroeste, donde se presentan las temperaturas más bajas del Municipio, debido a su cercanía con el volcán Popocatépetl y donde la orografía es marcada por la inclinación ascendente del volcán se encuentra el Bosque de oyamel y pino en las partes más altas, con algunas asociaciones de pino y encino en las partes bajas.

Las especies animales que predominaron en esta zona fueron: mamíferos como el coyote, venado, conejo, teporingo, jabalí, armadillo, tlacuache y zorrillo; algunas aves como el guajolote silvestre, cuervo, aguililla, cuervo, gavilán, búho, tecolote, paloma y codorniz; y reptiles como la serpiente de cascabel, falso coralillo y chirrioneras, en la actualidad la fauna se encuentra muy amenazada y en gran parte del territorio extinto.

La parte central presenta el clima más representativo de todo el Municipio, predominantemente templado con tierras fértiles, propias para la agricultura; sin embargo, por ser la zona donde se ha establecido la ciudad y los principales asentamientos humanos, los ecosistemas originales no han sobrevivido y sólo encontramos fauna de tipo doméstica como ganado bovino, porcino y caprino, perros, gatos y algunas aves de corral.

La región más calurosa del Municipio se encuentra hacia el sureste, formada por un macizo montañoso compuesto, en su mayoría, por roca caliza, donde se presentan desde asociaciones de tipo de selva baja caducifolia hasta matorrales de palma y pastizales, éstos últimos en zonas que han sido alteradas por el hombre.

La biodiversidad constituye la riqueza total en composición y número de manifestaciones de las formas de vida en la naturaleza y la cual comprende la gama completa de variación y abundancia de genes, organismos, poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y procesos ecológicos involucrados. En la República Mexicana se presenta la zona de transición entre dos grandes regiones biogeográficas: la región neártica y la neotropical, lo cual propicia la mezcla y variedad de flora y fauna. Aún más, la topografía, variedad de climas, historia geológica y los cambios climáticos derivados de las glaciaciones durante el pleistoceno han permitido conformar las características megadiversas presentes en México.

Enmarcada entre las provincias florísticas de las Serranías meridionales según Rzedowszki, la depresión del río Balsas, especialmente sus flancos de la Faja volcánica transmexicana, la Sierra Madre del Sur y la Sierra Norte de Oaxaca, se consideran florísticamente como una de las regiones biológicamente más ricas del mundo. Estas provincias han jugado un papel fundamental en la historia evolutiva de diversos linajes vegetales asentados en el territorio mexicano desde épocas tan remotas como los principios del periodo Cretácico, a finales de la era Mesozoica, hace 70 u 80 millones de años (Challenger 1998).

En la zona de estudio, en una primera aproximación, la superficie con vegetación abarca 8,622 ha, 25% de la superficie total. En esta superficie están presentes 7 tipos de vegetación: bosque de oyamel de desarrollo, 187 hectáreas, bosque de pino, 996 ha; bosque de pino encino, 845 hectáreas; bosque de encino, 5,286 hectáreas; bosque de encino pino, 57 hectáreas; palmar inducido, 1,140 hectáreas; pastizal inducido, 425 hectáreas. Según su desarrollo, la vegetación primaria ocupa 1,810 hectáreas, 21% de la superficie con vegetación y, la vegetación secundaria, 6,812 hectáreas (Ver Mapa 19).

Las serranías meridionales que bordean la depresión del río Balsas forman parte del centro primario mundial de diversidad de los pinos (Pinus spp.) y del centro primario de diversidad del Hemisferio occidental de los encinos (Quercus spp.). La Faja volcánica transmexicana y la Sierra Madre del Sur han jugado un papel fundamental en la historia evolutiva de ambos géneros. La enorme variedad de microhábitat de estas cadenas montañosas ha permitido la radiación adaptativa de numerosas especies (Challenger 1998).

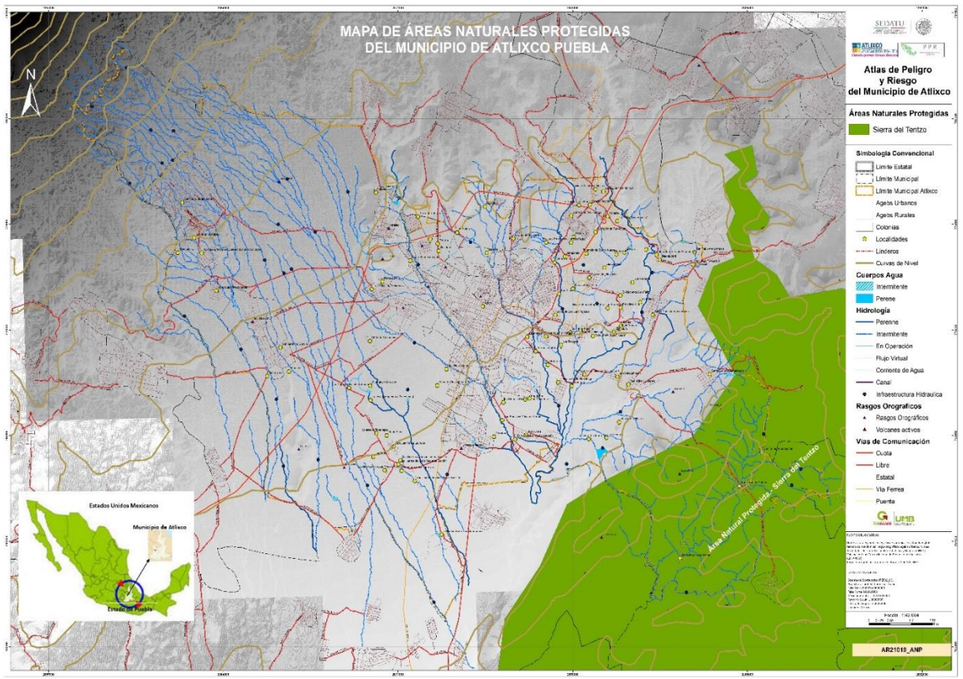
La diversidad de pinos y encinos de esta zona ecológica alcanza en efecto niveles sorprendentes. De las 450 especies de encinos que se estima existen en el mundo, en esta zona crecen, por lo menos, de 135 a 173, esto es, del 30% al 38% (Nixon 1998). De las 173 especies de encinos identificadas en México, 115 son endémicas. La diversidad de los pinos mexicanos llega a 49 especies, la mayoría de ellas endémicas, lo que representa aproximadamente 50% de la diversidad mundial de este género. Por ello, México ha sido reconocido como uno de los mayores centros mundiales de diversidad de estos géneros, característicos de los bosques templados de la cuenca del río Balsas (Styles 1998, Challenger 1998).

El endemismo de los bosques de pino y encino es también excepcional: las especies endémicas equivalen al 70% de la flora de esta zona ecológica (Rzedowski 1986).

Los bosques de pino y encino albergan más del 10% de las especies de la familia Asteraceae conocidas en el mundo, de las cuales más del 60% son endémicas. La región más importante de diversidad de estas especies es el centro-sur de México, especialmente la Sierra Madre del Sur (con unas 356 especies endémicas) y la Faja volcánica transmexicana (con unas 377 especies endémicas) (Turner y Nesom 1998). De las 312 especies de Salvia (más del 35% de todas las especies de este género en el mundo), cuya mayoría crece en el hábitat del bosque de pino y encino, 270 especies son endémicas (alrededor del 86%). Otra familia, la Agavaceae, especialmente el género Agave, alcanza su máxima diversidad en México y en el mundo, en la Faja volcánica transmexicana.

Áreas naturales protegidas

En la porción suroeste del municipio de Atlixco se encuentra una parte del Área Natural Protegida Reserva Estatal "Sierra del Tentzo". El Tentzo debe su nombre debido a que el cerro donde comienza la Sierra tiene la forma de un rostro de un hombre barbudo. El nombre proviene del náhuatl Tentzoe o tentli que significa borde o labio y tzontli que quiere decir pelo o barba. Lo que se traduce como hombre barbudo. Los lugareños lo conocen como Cerro de las Barbas o del Viejito (Ver Mapa 20).



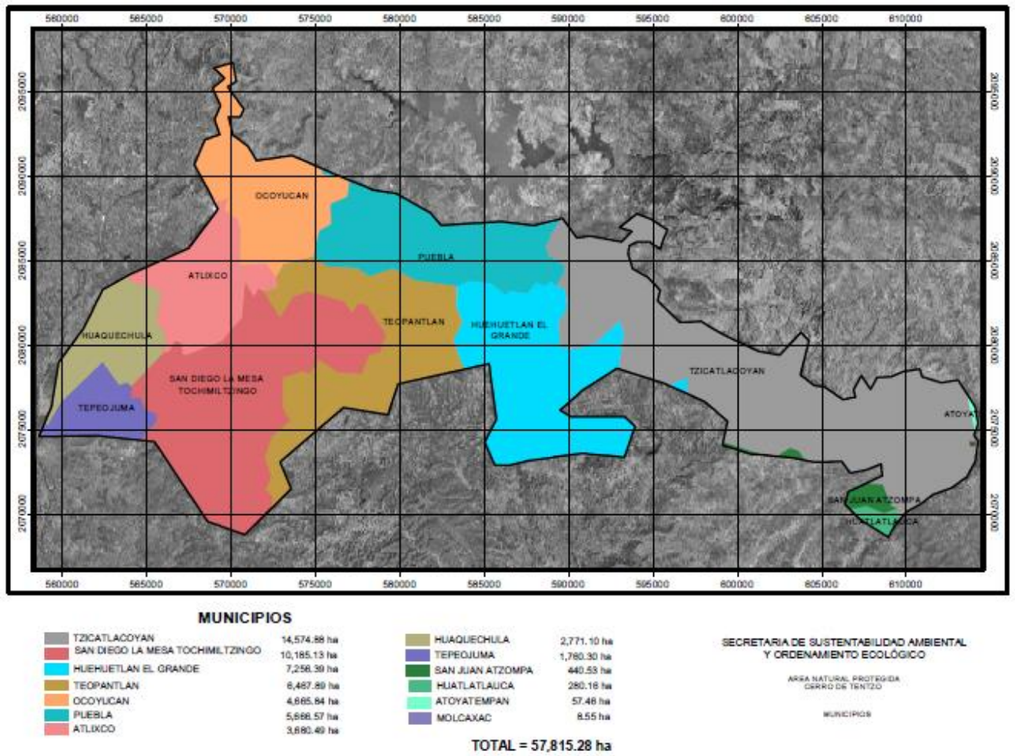
Mapa 20 Áreas Naturales Protegidas

(Fuente: Elaboración Propia, con información de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas)

La Reserva Estatal está formada por dos cordilleras principales, la cordillera Cumbre Tecoile, y la Cordillera del Tentzo que por extensión y por ser la más conocida se le denomina Sierra del Tentzo.

La Sierra del Tentzo, con 57 mil 815 hectáreas de rica biodiversidad en 13 municipios, fue declarada como Área Natural Protegida Estatal el 29 de abril de 2011. Con la declaración anterior, el destino del suelo en dicha sierra es el de ordenamiento ecológico, que comprende actividades de investigación y educación ambiental, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, flora y fauna, el desarrollo de actividades recreativas, turísticas, obras de infraestructura y demás actividades productivas; financiamiento para la administración del área, de prevención y control de contingencias y vigilancia.

La Sierra del Tentzo comprende los municipios de Atlixco, Atoyempan, Huaquechula, Huatlatlauca, Huehuetán El Grande, Molcaxac, Ocoyucan, Puebla, San Diego La Mesa Tochimiltzingo, San Juan Atzompa, Teopantlán, Tepeojuma y Tzicatllacoyan. Al municipio de Atlixco comprenden 3,880.40 hectáreas del total del área de la Sierra del Tentzo (Ver Mapa 21).



Mapa 21 Área Natural Protegida del Cerro de Tentzo

(Fuente: Elaboración Propia, con información de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas)

Problemática ambiental

Uno de los graves problemas del municipio de Atlixco es el deterioro ambiental. Además de la deforestación en las zonas de montaña, un componente importante de este fenómeno es la contaminación del agua de ríos, manantiales y la extraída de los pozos por bombeo, así como de sus suelos lo que genera graves problemas para la salud humana.

Durante las últimas décadas, la presión de las actividades antrópicas ejercida sobre los ecosistemas naturales ha ido en aumento, provocando intensos efectos ambientales negativos que disminuyen la

calidad de vida de los habitantes actuales y comprometen seriamente el bienestar de las generaciones futuras.

Las comunidades que muestran un grado mayor de marginación, por carecer de servicios básicos, muestran una mayor tendencia a la falta de manejo en la disposición de desechos sólidos, lo cual crea una problemática ambiental no severa pero sí digna de ser tomada en cuenta, pues generalmente se vierte a los arroyos, ríos esas aguas son utilizadas.

Se observa que, de no prestar atención a la distribución equitativa de servicios, infraestructura y a la concentración de la actividad económica en la Cabecera Municipal, se creará un importante desequilibrio ecológico en la zona.

La vegetación de la Sierra Nevada constituye una de las más ricas reservas de bosques de la cuenca montañosa del río Balsas. Su función en el mantenimiento de los servicios ecológicos de los ecosistemas de la cuenca es irreemplazable. Hoy opera una profunda transformación en el manto vegetal de la sierra. Los bosques han sufrido procesos acelerados de destrucción por actividades humanas ligadas a los aprovechamientos forestales irracionales, los incendios inducidos y los cambios de uso en favor de actividades agrícolas y ganaderas de baja productividad. De acuerdo con cifras de INEGI, en 15 años (entre 1980 y 2005) los bosques naturales de oyamel y pino se redujeron de 1,595 hectáreas a 913, esto es perturbador; los bosques con vegetación secundaria, aumentaron de 501 a 563 hectáreas, lo que da una idea del ritmo de destrucción de estas masas forestales. Respecto a la selva baja caducifolia solo quedan relictos, tan solo 111 hectáreas en el municipio de Atlixco fueron clasificadas como selvas con vegetación secundaria.

Otros usos del suelo también han sido modificados: las superficies dedicadas a la agricultura de temporal y los pastizales se vieron reducidas en 1,963 hectáreas y 1,463 hectáreas respectivamente; mientras que la de riego y palmar inducido aumentaron 427 y 98 hectáreas; El uso del suelo que ha presentado el mayor crecimiento es el urbano al pasar de 538.84 hectáreas en 1980 a 4,347 hectáreas en 2005, incremento que representan casi el 800%.

Las descargas de aguas residuales de la ciudad de Atlixco y las localidades aledañas no son vertidas directamente al río Nexapa sino a las barrancas de la Leona, el Cuexcomate y al río Cantarranas, tributarias del primero. Estas aguas residuales sin tratamiento ingresaban al cauce de los ríos y todavía de manera irregular son utilizadas durante su paso en los terrenos agrícolas para el riego de plantas constituyendo un riesgo potencial para la salud pública como agentes transmisores de enfermedades gastrointestinales por el consumo de frutas y verduras crudas sin lavado y desinfección adecuadas (Romero et al). De acuerdo con Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Atlixco (SOAPAMA), desde 1998 se presentó a CONAGUA un plan de acciones de saneamiento y se adhirió este organismo al convenio para cumplir con un periodo de diez años con el saneamiento de los cuerpos receptores mencionados en el párrafo anterior.

El desarrollo industrial que caracterizó el auge municipal a finales del siglo XIX, eclipsó las potencialidades que el territorio de Atlixco posee desde el punto de vista de sus riquezas naturales, tales como su excelente clima para las actividades agropecuarias, urbanas y turísticas. La industria textil muy demandante de agua, generó además una limitante para el uso de la misma, con fines agropecuarios y con ello terminó por decidir la vocación de la población para dedicarse en su mayor parte al trabajo industrial y en menor proporción a lo agropecuario.

Se han realizado diversos estudios para evaluar la contaminación de aguas, plantas y suelo en la región atlixquense relacionada con el río Nexapa. En algunos estudios se analizaron tanto el agua potable para consumo humano como el agua de riego para uso agrícola. En estos estudios se llegaba a la conclusión de que la región presentaba contaminación en prácticamente todos los sitios estudiados, situación que señalaba la urgencia de establecer un plan de control de emisión de aguas residuales y de recuperación de la calidad del agua.

Por ejemplo, Silva et al. (2002) muestran los contaminantes encontrados en el agua potable y de riego que excedieron las normas oficiales mexicanas aplicables. Los contaminantes reportados son, en pozos, ríos, manantiales y escurrimientos: coliformes fecales, coliformes totales, nitritos, cadmio y plomo en verano y en primavera; en agua de río nitrógeno amoniacal y sustancias activas al azul de metileno en ambas épocas y; en río, cromo en el verano.

Los datos anteriores indicaban que el agua de los pozos, de los ríos, de los manantiales y de los escurrimientos de la región estaba contaminada. La contaminación reportada para los pozos sugiere que los mantos freáticos, aun siendo profundos, están expuestos a mezclarse con drenajes municipales e industriales, o con alguna fuente de agua contaminada. La de los ríos, que el agua de los ríos se mezcla con aguas residuales y recoge grandes cantidades de basura. Los manantiales se contaminan principalmente por el mal manejo que la población y el turismo regional les dan. Los escurrimientos también están contaminados por basura y, al igual que los ríos, por el mal manejo de ganado que llega a abrevar y refrescarse en ellos.

Según el informe de SOAPAMA ya referido, desde 2005 se realiza un control semestral de las fuentes de abastecimiento mediante análisis físico químico y muestreos bactereológicos y de concentración de cloro de toma cercana, intermedia y lejana a las fuentes de abastecimiento siendo entregados estos a la Comisión de Agua y Saneamiento del Estado de Puebla (CEASPUE) y Salubridad.

En otro orden de ideas de acuerdo con el informe proporcionado por SOAPAMA en esta consulta el 40% de las aguas usadas que aún no tienen como destino una planta de tratamiento de aguas, éstas se encuentran ya canalizada hacia colectores marginales subsistiendo el problema de su uso irregular a partir de tomas clandestinas de los usuarios de riego particularmente de los ejidos Flores Magón y Revolución que toman clandestinamente aguas usadas del colector marginal Cuexcomate.

La problemática de contaminación y su control en esta zona tiene implicaciones muy importantes. La región de Atlixco se ha caracterizado por su alto potencial agrícola, hortícola principalmente. Esta actividad se ha visto favorecida por los diferentes sistemas de irrigación, de riego rodado o de riego por aspersión y por la disponibilidad de diversas fuentes de agua como las del río Cantarranas, las aguas de pozos profundos, las aguas negras del río Nexapa y las aguas negras del río Nexapa almacenada en jagüeyes. El uso de estas aguas en el riego presenta condiciones sanitarias inadecuadas por su aplicación directa, particularmente en los cultivos hortícolas. Por este motivo el intercambio comercial de productos frescos provenientes de la región de Atlixco se ha tornado más difícil en los últimos 15 años, ya que en la Ciudad de México y en mercados regionales (Tepeaca, Acatzingo, Puebla) se conoce la condición de los cultivos regados con aguas residuales, lo que dificulta su venta. Así es que, un número considerable de productores han optado por cambiar la explotación de hortalizas por cultivos forrajeros o florales.

Dentro del avance de los compromisos del convenio mencionado anteriormente SOAPAMA informa que dentro de la infraestructura realizada todos los colectores convergen hacia un emisor y este lleva a una planta de tratamiento en el que se procesaran el 60% de las aguas servidas del municipio con un gasto de 150 litros por segundo. Actualmente la planta se encuentra en la fase de estabilización y puesta en marcha estimando el propio organismo que esta planta se encontrará en funcionamiento a mediados del 2011.

Por otro lado, el propio SOAPAMA informa que ha buscado negociar con la comunidad de Santa Ana Coatepec a fin de que el Manantial San Baltazar y el Afluente Cantarranas sea cedido al SOAPAMA a fin de que este organismo entregue agua tratada a la comunidad representando diversas ventajas en materia de ahorros en el consumo de energía eléctrica, estabilización de los pozos permitiendo la recuperación de los mantos freáticos y tratamiento de aguas.

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el acuerdo de fecha 16 de enero de 2011 en el que se dan a conocer los estudios técnicos relativos a la cuenca Hidrológica número 18, se establece la condición deficitaria del acuífero subterráneo (cuadro 19 del acuerdo) Atlixco-Izúcar de Matamoros, entre otras esa es una de las razones fundamentales de mitigar el deterioro ambiental de las fuentes de recarga de este acuífero. La presión por los usos antrópicos del suelo, agrícola y urbano, el sobre-pastoreo y la tala ilegal del bosque han disminuido notablemente la cubierta vegetal original en el volcán Popocatépetl.

El estudio más reciente de la degradación de los suelos en México, Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre (2003), fue elaborado en 2002 por la Semarnat y el Colegio de Posgraduados. Para ello se consideraron cuatro procesos de degradación: la erosión hídrica y eólica y la degradación física y química.

La erosión hídrica se define como la remoción laminar o en masa de los materiales del suelo por medio de las corrientes de agua. Por acción de éstas se puede deformar el terreno y originar cavernas y cárcavas. En la erosión eólica, el agente de cambio del terreno es el viento. La degradación química involucra procesos que conducen a la disminución o eliminación de la productividad biológica del suelo y está fuertemente asociada con el incremento de la agricultura. La degradación física se refiere a un cambio en la estructura del suelo cuya manifestación más conspicua es la pérdida o disminución de su capacidad para absorber y almacenar agua.

Como una primera aproximación, la información de degradación de suelos en la zona de estudio se obtuvo a partir de los mapas generados en la evaluación realizada por SEMARNAT-Universidad Autónoma de Chapingo y, en los casos en los que se dispuso de información adicional, se describen los procesos que han originado la degradación.

En las zonas de montaña el potencial a la erosión hídrica es elevado debido a sus pendientes que alcanzan valores mayores a 40º. La topografía, junto con la pérdida de la vegetación natural -por actividades agrícolas, sobre pastoreo y sobrexplotación de la vegetación- y de la capacidad de infiltración del agua al subsuelo, han favorecido la escorrentía superficial y con ello la pérdida de suelo superficial.

De esta manera, la erosión hídrica ha originado, en las áreas de mayor altitud y pendiente, suelos muy someros en los que la roca continua se encuentra dentro de los 10 cm de la superficie, leptosoles calcáricos líticos, caso de la sierra volcánica de laderas tendidas y; en las bajadas y lomeríos, depósitos de roca y arena formando suelos con muy poco o ningún desarrollo de perfil, regosoles, caso de las sierras volcánicas y; en la zona final del torrente, donde la pendiente disminuye bruscamente, la sedimentación de los materiales arrastrados en las llanuras formando suelos aluviales. Las zonas de montaña con suelos, leptosoles calcárico lítico y regosoles, alcanzan cerca del 10 y 9.3% del territorio de la zona de estudio respectivamente.

Con base en lo anterior se puede estimar que, de continuar el proceso de deforestación sin recuperar la cubierta vegetal, la superficie con pérdida potencial de suelo por erosión hídrica llegaría al 40% de la superficie de la zona de estudio.

La pérdida de suelo superficial tiene serias consecuencias en las funciones del suelo: remueve los nutrimentos y la materia orgánica, reduce la profundidad de enraizamiento de las plantas, y disminuye la tasa de infiltración y retención de agua. Cuando los sitios afectados por este tipo de erosión se destinan a fines agrícolas, es necesaria la aplicación de fertilizantes, pesticidas o el uso de aguas tratadas para mejorar su productividad, pero en ocasiones esto promueve la eutrofización y la contaminación de los acuíferos o de otros cuerpos de agua donde llegan los escurrimientos. Estos eventos se conocen como efectos “fuera de sitio” de la erosión hídrica.

No se cuenta con información de degradación química originada por la disminución de los elementos minerales y de la materia orgánica disponible en el suelo, ni de la degradación química del suelo por polución proveniente de tiraderos a cielo abierto, derrames, residuos industriales, deposición de compuestos acidificantes y/o metales pesados.

No se cuenta con información de degradación química originada por la disminución de los elementos minerales y de la materia orgánica disponible en el suelo, ni de la degradación química del suelo por polución proveniente de tiraderos a cielo abierto, derrames, residuos industriales, deposición de compuestos acidificantes y/o metales pesados.

Sin embargo, Córdoba et al. (1991) observan en el municipio de Atlixco que el rendimiento de algunos cultivos baja a través de varias cosechas, ya que determinadas concentraciones de metales pesados inhiben el crecimiento de la planta y la producción de flores y frutos. Además, el suelo pierde sistemáticamente sus propiedades; por ejemplo, la acción del plomo limita la microbiota e impide la descomposición de la materia orgánica del suelo y el manejo de las aguas residuales implica decremento en el rendimiento humano, en particular, de los agricultores y sus familias, ya que merma su salud.

Con respecto a las causas de la degradación del suelo, en el Mapa Principales causas de la degradación de los suelos en México, 2002, ésta se asocia en la zona de estudio a actividades agrícolas y a la sobreexplotación de la vegetación. La actividad industrial no se reporta, en la evaluación realizada, como causa de la degradación del suelo en la zona de estudio.

Con la decadencia de la industria, la población no se quedó en el sitio y emigro en busca de la misma fuente de trabajo a otras partes del Estado de Puebla o hacia otros estados. Esta situación ha generado poca actividad e interés en el trabajo rural del campo. Este, ha sido relativamente poco utilizado como bien de producción y sólo ha persistido su función de proveedor, de energéticos como leña y carbón, agua para la generación hidroeléctrica y el proceso de lavado industrial, madera para la construcción urbana e industrial, arena, grava y piedra para la construcción, etc.

Todo ello ha provocado procesos de deterioro de los recursos forestales de bosques, alteración y erosión de los suelos, abatimiento de los recursos hídricos (esto último acentuado por el calentamiento y desaparición de los glaciares y campos de nieve de las cimas del volcán Popocatépetl y la disminución de las lluvias por efecto del cambio climático global), degradación por contaminación de residuos sólidos y líquidos en el agua y el suelo de las barrancas.

Finalmente, la actividad actual del volcán Popocatépetl, es una fuente de productos sólidos, líquidos y gaseosos que pueden ser vectores de toxicidad variable para los organismos de cualquier tipo.

4 Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos

Dinámica demográfica;

Uno de los aspectos principales para poder evaluar el riesgo es la cantidad de sistemas expuestos presentes en el municipio, a mayor exposición la probabilidad de ocurrencia de daños y pérdidas también aumenta. En ese sentido, el conocer la dinámica demográfica del municipio es de gran importancia, ya que el sistema expuesto más valioso de Atlixco son sus habitantes.

El conocer las características de la población, cómo se distribuye y las proyecciones de crecimiento permiten planear acciones encaminadas a evitar la construcción de nuevos riesgos, reducir los existentes y contar con elementos para reaccionar de manera eficaz ante el posible impacto de un fenómeno perturbador.

4.1.1. Análisis comparativo (valores absolutos y porcentajes) de la población de la Entidad

De acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el municipio de Atlixco tiene una población total de 134,364 habitantes, lo que representa el 2.18% del total estatal.

El municipio de Atlixco registra una Tasa de Crecimiento de 1.04 entre 2010 y 2015 (Ver Tabla 7), ligeramente por debajo de la registrada a nivel estatal que es de 1.05. Entre 1990 y 2015 (Ver Fig. 2) la población del municipio pasó de 104,294 habitantes a 134,364, es decir, aumentó un 28.8% en 25 años.

Tabla 7 Población total 1990-2015

Año	Población total
1990	104,294
1995	112,480
2000	117,111
2005	122,149
2010	127,062
2015	134,364

(Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Encuesta Intercensal 2015)

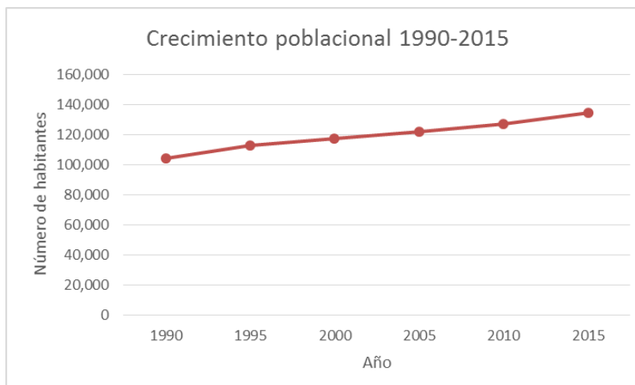


Fig. 2 Crecimiento poblacional de Atlixco 1990-2015

(Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.1.2. Proyección al 2010 - 2030 (por municipio y por localidad según CONAPO)

Con base en las proyecciones de población elaboradas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), se estima que Atlixco contará con una población de 381,056 habitantes para el año 2030. A nivel localidad, el mayor incremento en términos absolutos se registrará en Santa Cruz Tehuixpango, por otro lado, en la cabecera municipal se observa una disminución de 6,268 habitantes en el mismo periodo (Ver Tabla 8).

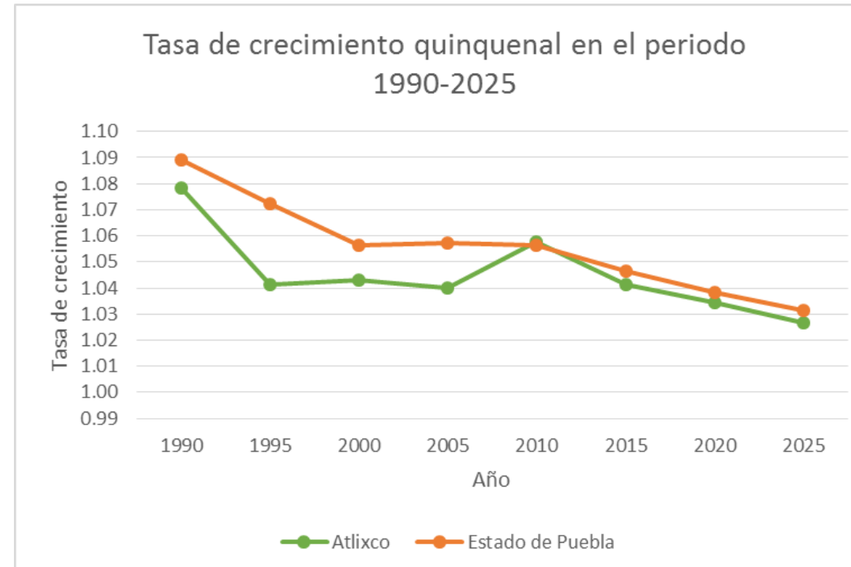


Fig. 3 Tasa de crecimiento quinquenal para el Estado de Puebla y el municipio de Atlixco en el periodo 1990-2025 con base en las proyecciones de población de CONAPO

(Fuente: Consejo Nacional de Población (CONAPO))

Tabla 8 Proyecciones de población de las localidades urbanas de Atlixco

Nombre de la localidad	2010	2015	2020	2025	2030
Atlixco	87,904	87,830	86,996	84,920	81,561
San Isidro Huilotepec	1,428	1,717	2,047	2,405	2,781
San Jerónimo Coyula	6,715	7,152	7,551	7,857	8,044
San Pedro Benito Juárez	3,197	3,039	2,863	2,658	2,429
Santa Cruz Tehuixpango	3,438	4,638	6,201	8,170	10,592
El Encanto del Cerril	2,222	2,667	3,173	3,720	4,293
Resto	23,938	27,326	31,071	34,969	38,883

(Fuente: Elaboración Propia con información del Consejo Nacional de Población (CONAPO))

La tendencia histórica indica que el ritmo de crecimiento en el municipio tiende a disminuir de manera paulatina en los próximos años. Son varias las razones que se asocian a este fenómeno, la principal se relaciona con la migración. De acuerdo con el CONAPO, Atlixco presenta un Alto Grado de Intensidad Migratoria México-Estados Unidos, ocupando el lugar 45 a nivel estatal y el 524 a nivel nacional.

4.1.3. Distribución de población (por localidad)

De acuerdo con datos del INEGI, de las 134,364 personas que habitaban el municipio, 63,603 eran hombres y 70,761 mujeres, lo que representa el 47.3% y el 52.7% respectivamente (Ve Fig. 4).

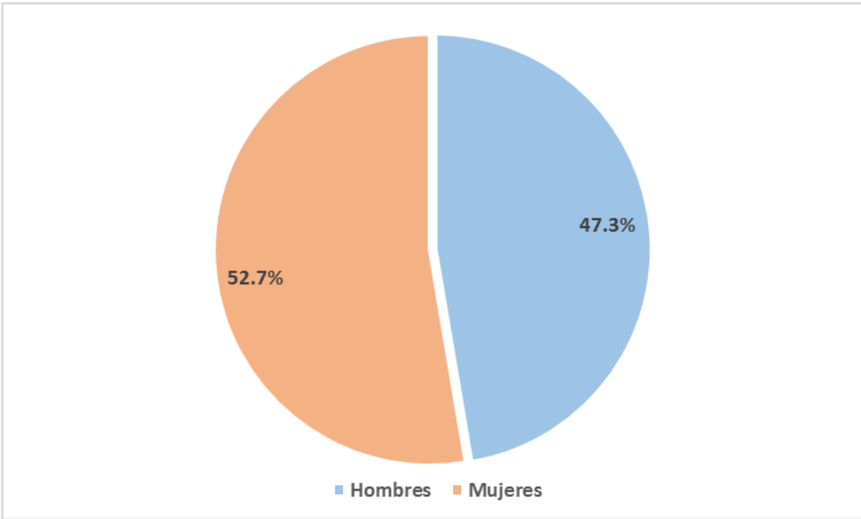


Fig. 4 Población según género del municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

El municipio de Atlixco está conformado por 142 localidades rurales que cuentan con una población de entre 1 y 2,499 habitantes y cuatro localidades urbanas con más de 2,500 habitantes. El 78.6% de la población del municipio habita en localidades urbanas, y sólo el 21.4% en rurales. A nivel estatal, 72% de la población es urbana y 28% rural (Ver Fig. 5).

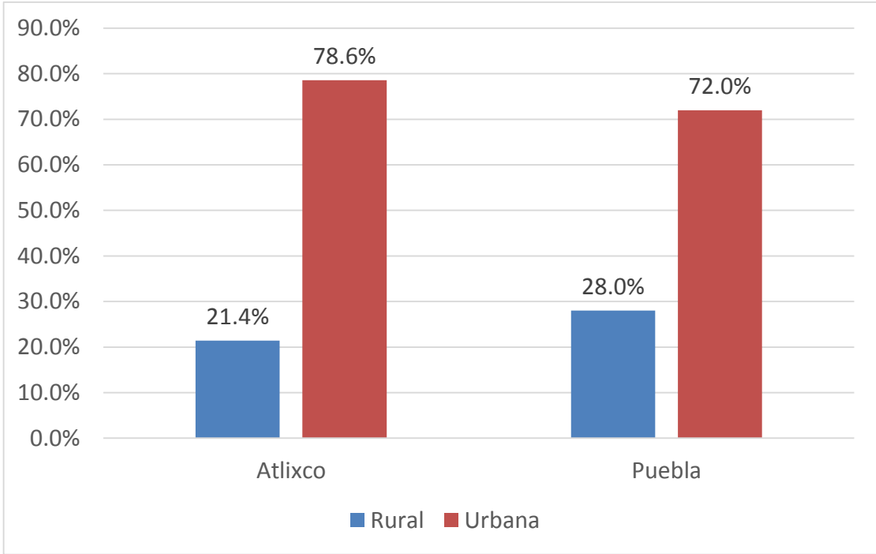
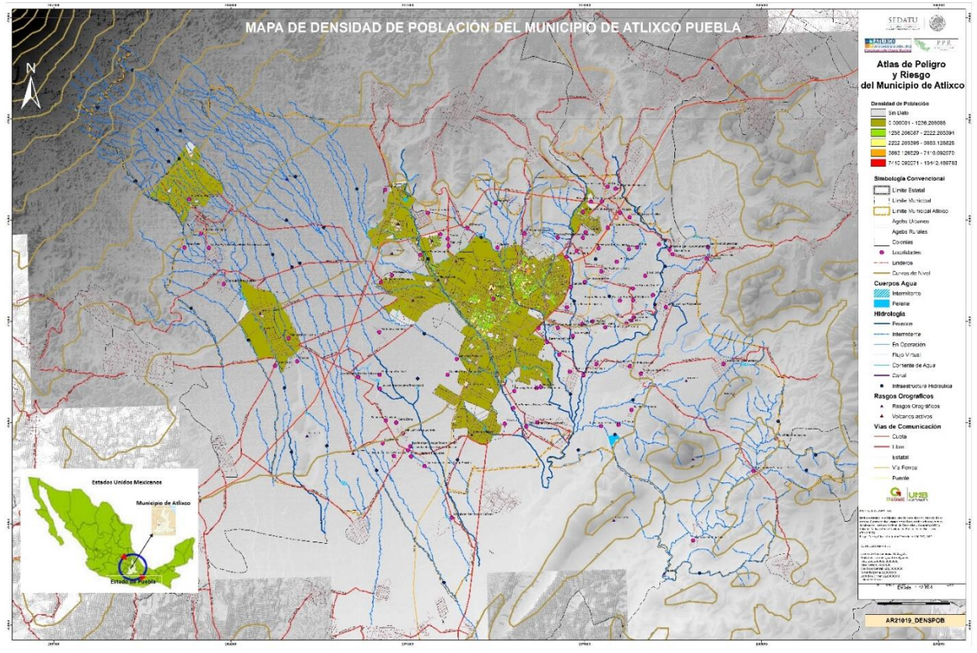


Fig. 5 Distribución de la población

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.1.4. Densidad de la población (por manzana en zonas urbanas).

La densidad de población en el municipio de Atlixco es de 460.3 habitantes por kilómetro cuadrado, sin embargo, a nivel de manzana, se puede observar que en varias de las colonias aledañas al Centro, como son la Unidad Habitacional Infonavit, Vista Hermosa, Alta Vista, Guadalupe Victoria, Unidad Habitacional Militar, entre otras, la densidad de población rebasa los mil habitantes por kilómetro cuadrado (Ver Mapa 22).



Mapa 22 Densidad de población de las zonas urbanas

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Con base en información del Censo Nacional de Población y Vivienda del INEGI, la población joven del municipio[16] está conformada por el 19.3% del total de sus habitantes, mientras que la población adulta, es decir aquella que va de los 25 años a los 60 años de edad representa el 39.6%. El 10.2% de la población son considerados adultos mayores (Ver Fig. 6).

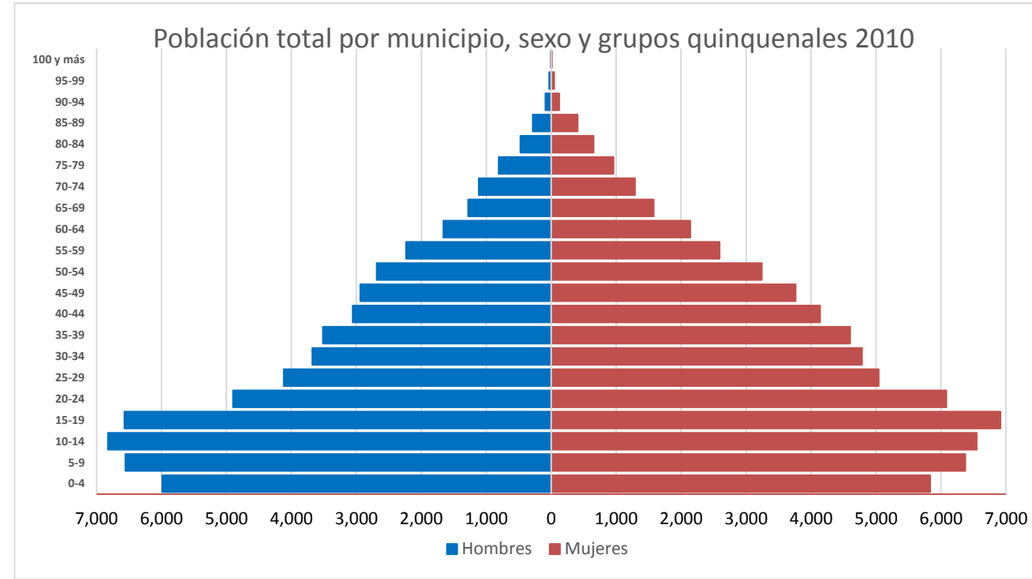


Fig. 6 Pirámide de edades del municipio de Atlixco, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Características sociales

La vulnerabilidad de un municipio se puede asociar a ciertas condiciones sociales y económicas de sus habitantes, por lo que conocerlas y ubicarlas geográficamente es relevante, pues permite focalizar esfuerzos para gestionar el riesgo de desastres.

Características como el nivel educativo, el acceso a la salud, las condiciones de las viviendas, aspectos culturales y niveles de marginación o pobreza, son sólo algunas de la cuales inciden directamente en los niveles de vulnerabilidad.

Cabe recordar que la vulnerabilidad se define como la "susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador, determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales".[17]

4.1.1 Porcentaje de analfabetismo, población de 14 años y más que asiste a la escuela y grado promedio de escolaridad.

Las variables sobre educación son importantes cuando se habla de gestión de riesgos, ya que se asocia que mayor nivel educativo se tiene más acceso a la información sobre los riesgos a los que se está expuesto y

[16] De acuerdo con Naciones Unidas, se considera población joven a las personas que van de los 15 a los 24 años de edad.

[17] Ley General de Protección Civil

a la forma de reaccionar en caso de desastre. De hecho, para calcular el índice de Vulnerabilidad Social, el CENAPRED incluye este tipo de variables para su construcción.

En México, se considera que una persona es analfabeta cuando tiene 15 o más años de edad y no sabe leer ni escribir.

En ese sentido, en Atlixco 7.4% de la población de 15 años y más es analfabeta y 22.6% no tiene la primaria completa. El porcentaje de población de 15 a 24 años que asiste a la escuela es del 41.3% (Ver Tabla 9).

Tabla 9 Características educativas del municipio de Atlixco

Población que no asiste a la escuela	Mujeres	Hombres	Suma	Porcentaje	Población total
De 3 a 5 años	1,660	1,721	3,381	44.5%	7,605
De 6 a 11 años	271	301	572	3.6%	15,744
De 12 a 14 años	445	482	927	11.5%	8,028
Población que asiste a la escuela					
De 15 a 17 años	2,733	2,581	5,314	63.5%	8,367
De 18 a 24 años	2,526	2,255	4,781	29.7%	16,102
Población analfabeta					
De 8 a 14 años	428	268	696	3.7%	18,655
De 15 y más años	4,518	1,943	6,461	7.4%	87,823

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.1.2 Población con discapacidad (población con limitación en la actividad) por localidad y manzana.

El INEGI define a la población con limitaciones en la actividad a aquellas personas que tienen dificultad para el desempeño y/o realización de tareas en la vida cotidiana. El mismo organismo, clasifica este tipo de limitaciones en cinco rubros: limitaciones motrices, visuales, del leguaje, auditivas y mentales.

De acuerdo con datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2010, en el municipio de Atlixco existen 5,466 personas con algún tipo de limitación, que representan el 4.3% de la población total. (Ver Tabla 10)

Tabla 10 Población con limitaciones en el municipio de Atlixco según tipo de limitación

Tipo de limitación	Descripción de limitación	Número de personas
Motriz	Caminar, moverse, subir o bajar	3,116
	Vestirse, bañarse o comer	229
Visual	Ver, aun usando lentes	1569
Del lenguaje	Hablar, comunicarse o conversar	454
Auditiva	Escuchar	639
Mental	Poner atención o aprender cosas sencillas	232
	Mental	413

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Nota: La suma de los distintos tipos de limitación en la actividad, puede ser mayor al total mencionado por aquella población que tiene más de una limitación.

La mayoría de la población con algún tipo de limitación habita en zonas urbanas, siendo la cabecera municipal la que concentra la mayor proporción con el 69.3% (3,788 personas). El tipo de limitación con mayor presencia en el municipio es la motriz. (Ver Tabla 11)

Tabla 11 Población con limitaciones en localidades urbanas según tipo de limitación

Localidad urbana	Total de población con limitaciones	Descripción de limitación						
		Caminar, moverse, subir o bajar	Vestirse, bañarse o comer	Ver, aun usando lentes	Hablar, comunicarse o conversar	Escuchar	Poner atención o aprender cosas sencillas	Mental
Atlixco	3,788	2,234	1,061	301	428	184	147	268
San Jerónimo Coyula	195	94	56	19	31	7	11	27
San Pedro Benito Juárez	314	175	139	18	63	0	13	12
Santa Cruz Tehuixpango	110	65	27	10	11	0	0	7

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Nota: La suma de los distintos tipos de limitación en la actividad, puede ser mayor al total mencionado por aquella población que tiene más de una limitación.

La población con algún tipo de limitación que habita en localidades rurales suma 1,059. Santa Lucía Cosamaloapan, San Agustín Ixtahuixtla, El Encanto del Cerril y San Isidro Huilotepec son las que registran la mayor proporción. (Ver Tabla 12)

Tabla 12 Población con limitaciones en localidades rurales según tipo de limitación

Localidad urbana	Total de población con limitaciones	Descripción de limitación						
		Caminar, moverse, subir o bajar	Vestirse, bañarse o comer	Ver, aun usando lentes	Hablar, comunicarse o conversar	Escuchar	Poner atención o aprender cosas sencillas	Mental
Almazantla	6	2	1	0	0	0	0	3
Emiliano Zapata los Molinos	44	17	11	6	3	0	1	6
Emiliano Zapata Nexatengo	31	14	5	4	2	0	0	6
Guadalupe Huexocuapan	35	22	15	2	7	0	3	1
San Isidro Huilotepec	62	34	11	5	9	5	4	5
San Agustín Huixaxtla	37	17	6	10	1	0	2	2
San Agustín Ixtahuixtla	79	32	31	1	10	0	1	4
Juan Uvera	43	33	6	2	6	1	0	1
San Félix Almazán	18	12	5	0	4	2	1	0
La Magdalena	3	3	1	0	0	0	0	0
Mártir de Chinameca	2	1	0	0	1	0	0	0
Otilio Montaño (La Concepción)	18	11	8	1	1	1	1	0

Localidad urbana	Total de población con limitaciones	Descripción de limitación						
		Caminar, moverse, subir o bajar	Vestirse, bañarse o comer	Ver, aun usando lentes	Hablar, comunicarse o conversar	Escuchar	Poner atención o aprender cosas sencillas	Mental
La Sabana (San Juan la Sabana)	36	19	12	4	1	4	3	7
San Agustín los Molinos	19	7	8	0	1	0	2	1
San Diego la Blanca	1	0	0	0	1	0	0	0
San Esteban Zoapiltepec	8	3	2	1	3	0	2	0
San Felipe Xonacayucan	6	1	1	1	2	0	1	1
Ex-Hacienda San Félix	10	3	3	0	1	2	1	2
San Félix Hidalgo	26	16	3	4	0	3	5	3
San Isidro	7	4	2	2	0	1	0	0
San Jerónimo Caleras	13	6	3	2	2	2	2	2
San José Acatocha	3	3	0	0	0	0	0	0
San Juan Ocotepec	11	4	2	0	2	0	1	2
Colonia Agrícola de Ocotepec (Colonia San José)	58	28	10	4	8	0	6	6
San Juan Portezuelo	15	6	7	1	1	0	1	2
San Juan Tejaluca	32	27	5	1	2	0	0	2
Solares de Tenextepec	7	4	2	2	0	1	0	1
Santa Ana Yancuitlalpan (Chilhuacán)	38	18	11	5	7	1	1	4
Santa Lucía Cosamaloapan	95	51	36	10	9	4	3	6
Santo Domingo Atoyatempan	51	25	16	6	3	1	3	4
Texiquémetl (Los Olivares)	5	3	2	1	0	0	0	0
Tolometla de Benito Juárez	9	4	2	2	0	0	0	1
San Juan de los Laureles	4	2	0	2	0	1	1	0
San Pedro	1	1	0	0	0	0	0	0
San José el Recreo	4	2	1	0	1	1	1	0
Francisco Villa	7	2	2	3	0	0	2	2
El Puente	1	1	0	0	0	0	0	0
La Ciénega	2	1	1	0	1	0	0	0
Diez de Abril	3	2	1	0	0	0	0	1
Ex-Hacienda San Agustín	9	4	3	2	0	0	0	0
Las Lomas de Axocopan	1	1	0	0	0	0	0	0
El Novillero (La Granja)	1	0	1	0	0	0	0	0
El Pajar	3	3	0	0	0	0	0	0
Las Huertas de Jesús Primera Sección	6	4	1	1	0	0	0	0
Las Calandrias	1	1	0	0	0	0	0	0
La Cantera de San Pablo Ahuatempan	1	1	0	1	0	0	0	0
El Cerrito	1	1	0	0	0	0	0	0

Localidad urbana	Total de población con limitaciones	Descripción de limitación						
		Caminar, moverse, subir o bajar	Vestirse, bañarse o comer	Ver, aun usando lentes	Hablar, comunicarse o conversar	Escuchar	Poner atención o aprender cosas sencillas	Mental
Las Huertas de Jesús Cuarta Sección	1	0	0	0	0	0	0	1
Las Huertas de Jesús Segunda Sección	3	1	0	1	1	0	1	0
Huexócatl	3	1	0	2	0	0	0	0
La Ladera	2	2	0	0	0	0	0	0
Los Pericos	1	1	0	0	0	0	0	0
San Francisco Primo de Verdad	12	8	1	0	0	0	3	0
Toledo	1	0	0	1	0	0	0	0
San Diego Acapulco	1	0	1	0	0	0	0	0
San Alfonso	5	3	2	0	0	0	0	0
Laderas	2	1	0	2	0	1	1	1
Libramiento Norte	1	1	0	0	0	0	0	0
Loma de San Juan Tejaluca	22	11	8	0	0	0	1	2
El León	1	1	0	0	0	0	0	0
San José	5	2	2	1	1	0	0	0
Santa Elena Axocopan	2	1	0	0	0	0	0	1
Barranca del Carmen	2	1	0	0	0	0	0	1
Ixtepec	8	3	1	1	3	0	0	0
San Pablo Ahuatempan	1	0	0	0	1	0	0	0
Los Texcales	9	4	3	2	0	0	0	2
El Encanto del Cerril	68	33	17	7	5	4	4	13
Tenería	2	1	1	0	0	0	0	0
Cerro de Cabrera	3	2	0	0	0	0	0	1
Localidades de una vivienda	7	2	2	1	2	0	1	1
Localidades de dos viviendas	24	13	11	2	4	1	1	1

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.2.3. Población que habla alguna lengua indígena y no habla español,

De acuerdo con información del Censo Nacional de Población y Vivienda 2010, en Atlixco existen 3,768 personas de entre 3 y 130 años de edad que hablan alguna lengua indígena, lo que representa cerca del 3% de la población total del municipio.

Las localidades con mayor presencia de grupos indígenas son San Pedro Benito Juárez (918), San Jerónimo Coyula (848) y Colonia Agrícola Ocotepec (448), que en conjunto concentran el 58.8% del total de personas que hablan alguna lengua indígena. Del total de personas que hablan alguna lengua indígena, 44.9% son hombres y 55.1% mujeres. (Ver Fig. 7)

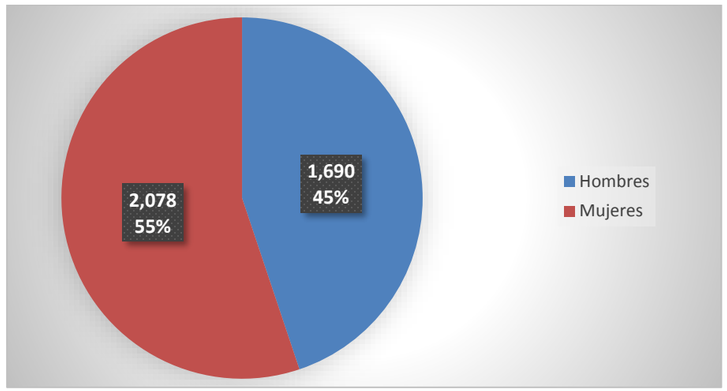


Fig. 7 Población de 3 años y más que hablan alguna lengua indígena según género

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

En lo que se refiere a la población de habla indígena que no habla español, en Atlixco existen 51 personas, mismas que representan el 0.04%.

4.2.4. Salud (población sin derechohabiencia, médicos por cada mil habitantes y tasa de mortalidad).

El sector salud es considerado uno de los más importantes cuando se habla de gestión de riesgos, ya que además de ser prioritario su funcionamiento en situaciones normales, en caso de alguna emergencia debe de asegurarse que los servicios que brinda no se dejen de prestar.

De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda 2010, en Atlixco, 68,598 personas no cuentan con derechohabiencia a servicios de salud, lo que representa el 54% de sus habitantes. La cabecera municipal, San Jerónimo Coyula, San Pedro Benito Juárez y la Colonia Agrícola de Ocotepec concentran tres cuartas partes de la población sin derechohabiencia en el municipio (Ver Fig. 8).

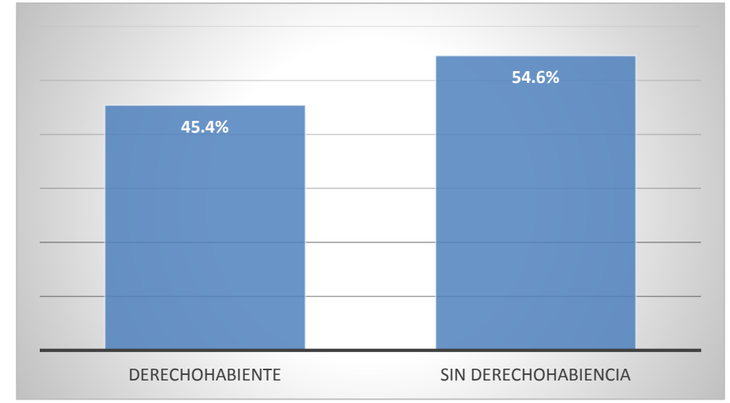


Fig. 8 Población derechoahabiente a servicios de salud en el municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

De la población derechohabiente a servicios de salud, el 44% tiene acceso a servicios médicos en el Instituto Mexicano del Seguro Social, 40% en el Seguro Popular, 12% en el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado y 4% en el Instituto de Seguridad Social del Estado. (Ver Fig. 9)

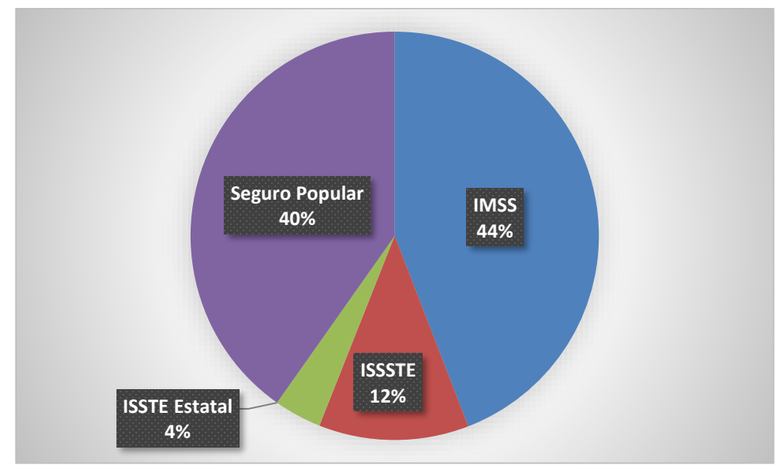


Fig. 9 Porcentaje de población derechohabiente según condición de afiliación a servicios de salud

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

En la siguiente tabla se observan las principales causas de mortalidad en el municipio, siendo la Diabetes Mellitus y las enfermedades del corazón las más comunes. (Ver Tabla 13)

Tabla 13 Principales causas de mortalidad en el municipio de Atlixco

Principales causas de Mortalidad	Tasa de mortalidad (Muertes por cada 100 mil habitantes)
Diabetes Mellitus	134.8
Enfermedades del corazón	67.4
Tumores malignos	60.8
Enfermedades del hígado	53.4
Accidentes	37

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Cabe destacar que la Tasa de Mortalidad General es de 7.33 por cada mil habitantes, mientras que la Tasa de Mortalidad Infantil alcanza 10.63 por cada mil habitantes. En lo que se refiere al número de médicos por cada mil habitantes, Atlixco ocupa el lugar 35 en el estado, ya que cuenta con 1.56 médicos por cada mil habitantes. (Ver Tabla 14)

Tabla 14 Indicadores de salud del municipio de Atlixco

Concepto	Atlixco	Puebla	Lugar que ocupa en el estado
Médicos por cada 1000 habitantes[18]	1.56	1.66	35
Tasa de mortalidad general por cada 1000 habitantes	7.33	5.48	29
Tasa de mortalidad infantil por cada 1000 habitantes	10.63	11.71	37

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.2.5. Pobreza

De acuerdo con el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), "una persona se encuentra en situación de pobreza cuando tiene al menos una carencia social y su ingreso es insuficiente para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades alimentarias y no alimentarias"[19]. En ese sentido, el CONEVAL define diferentes tipos de pobreza, mismos que se enuncian a continuación:

- Pobreza extrema: Una persona se encuentra en situación de pobreza extrema cuando tiene tres o más carencias, de seis posibles, dentro del Índice de Privación Social y que, además, se encuentra por debajo de la línea de bienestar mínimo. Las personas en esta situación disponen de un ingreso tan bajo que, aun si lo dedicase por completo a la adquisición de alimentos, no podría adquirir los nutrientes necesarios para tener una vida sana.
- Pobreza moderara: Es aquella persona que siendo pobre, no es pobre extrema. La incidencia de pobreza moderada se obtiene al calcular la diferencia entre la incidencia de la población en pobreza menos la de la población en pobreza extrema.
- Pobreza multidimensional: Deriva de la medición de la pobreza en México que define la Ley General de Desarrollo Social. La palabra multidimensional se refiere a que la metodología de medición de pobreza utiliza varias dimensiones o factores económicos y sociales en su concepción y definición.

En Atlixco, 54.1% de su población se encuentra en situación de pobreza, 40.3% en pobreza moderada y 13.7% en extrema. De igual forma, 26.4% de su población se considera vulnerable por carencias sociales y 6.7% por ingresos. (Ver Tabla 15)

Tabla 15 Población en situación de pobreza del municipio de Atlixco

Concepto	Porcentaje	Número de personas
Población en situación de pobreza	54.1%	62,575
Población en situación de pobreza moderada	40.3%	46,663
Población en situación de pobreza extrema	13.7%	15,912
Población vulnerable por carencias sociales	26.4%	30,505
Población vulnerable por ingresos	6.7%	7,802

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

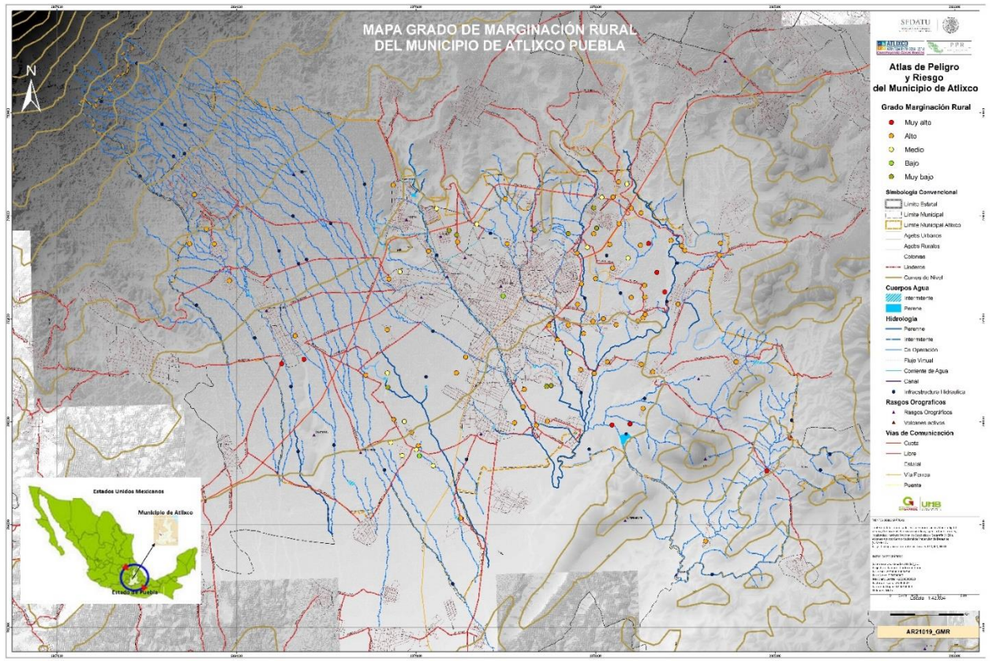
4.2.6. Hacinamiento (promedio de ocupantes por cuarto) por manzana

El INEGI considera que existe hacinamiento cuando la razón entre los residentes de una vivienda y el número de cuartos de estas sea igual o mayor a 2.5, es decir, cuando el promedio de ocupantes por cuarto dormitorio sea mayor a 2.5. Con base en lo anterior, en el municipio de Atlixco el promedio de ocupantes por cuarto es de 1.11, es decir, no existen condiciones de hacinamiento.

[18] Subsecreataría de Planeación del estado de Puebla. Dirección de Estadística e Información

[19] (CONEVAL, 2017)

A nivel de localidad rural, La Ladera, La Vega (Coyotomatitla), El Pajar, Santa Cruz, Morelos, Llano Grande y El Puente son las únicas de municipio que presentan un promedio de ocupantes por cuarto mayor a 2.5. En la cabecera municipal, se presentan niveles altos de hacinamiento en algunas manzanas de las colonias La Trinidad Tepango, Veracruz, Revolución, Lomas de Tejaluca y Altavista. (Ver Mapa 23)



Mapa 23 Grado de Marginación Rural

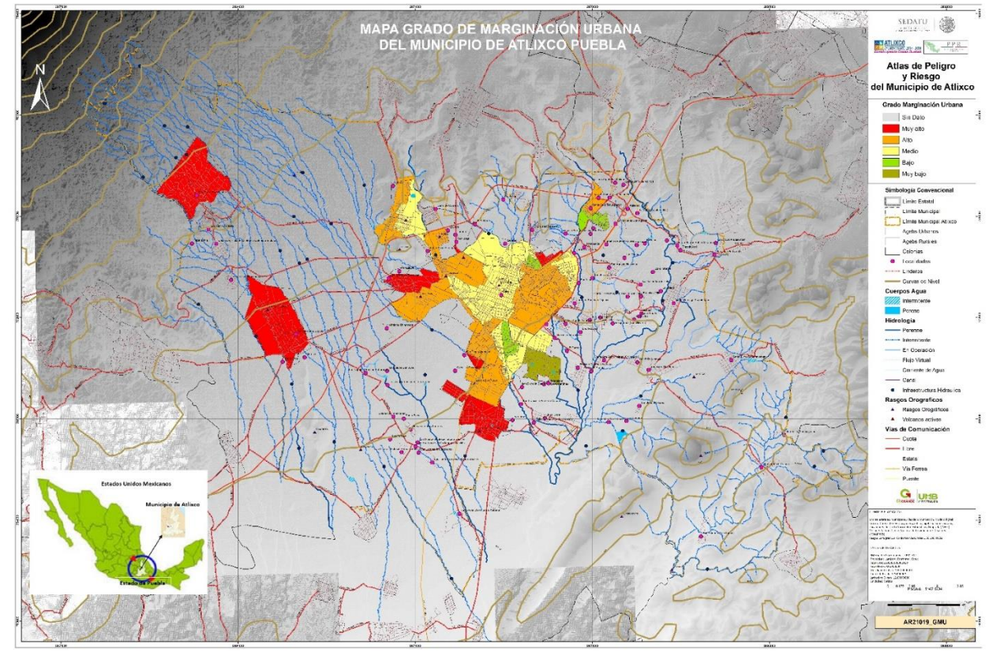
(Fuente: Elaboración Propia con información del Consejo Nacional de Población (CONAPO) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.2.7. Marginación por localidad y AGEB (en zonas urbanas).

De acuerdo con el Consejo Nacional de Población, la marginación es "un fenómeno multidimensional y estructural originado, en última instancia, por el modelo de producción económica expresado en la desigual distribución del progreso, en la estructura productiva y en la exclusión de diversos grupos sociales, tanto del proceso como de los beneficios del desarrollo"[20]. Por lo que este indicador se puede asociar directamente a las capacidades de respuesta de la población en caso de desastre, así como a la susceptibilidad de ser afectados por un agente perturbador potencialmente peligroso.

[20] (CONAPO, 2010)

El municipio de Atlixco presenta un grado de marginación Bajo de acuerdo con CONAPO, sin embargo, si el análisis se realiza a nivel de localidad, se observa que nueve registran niveles Muy Altos de Marginación, 65 localidades cuentan con un nivel Alto, 14 Medio, dos Bajo y nueve Muy Bajo. En términos de población, 33,380 de sus habitantes registran grados de marginación Altos y Muy Altos. (Ver Mapa 24 y Tabla 16).



Mapa 24 Marginación Urbana

Fuente: Elaboración Propia con información del Consejo Nacional de Población (CONAPO) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Tabla 16 Grado de marginación por localidades

Grado de Marginación	Número de localidades	Población
Muy Alto	9	1,101
Alto	65	32,279
Medio	14	656
Bajo	2	86,726
Muy Bajo	9	6,044

Fuente: Elaboración Propia con información del Consejo Nacional de Población (CONAPO) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

En lo relacionado con la marginación urbana, Atlixco cuenta con 64 unidades territoriales a nivel de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs), de las cuales 18 presentan un grado de marginación Muy Alto, 23 Alto, 18 Medio, cuatro Bajo y solamente una Muy Bajo. (Ver Tabla 17)[21]

Tabla 17 Grado de Marginación Urbana a nivel AGEB

Grado de Marginación	Número de AGEBS	Población
Muy Alto	18	15,856
Alto	23	39,756
Medio	18	35,964
Bajo	4	7,649
Muy Bajo	1	608

Fuente: Elaboración Propia con información del Consejo Nacional de Población (CONAPO) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Características de la Vivienda

Como complemento importante para el análisis de los elementos sociales con lo que se cuenta las persona que viven en el municipio, se analizaron las cualidades de las viviendas como los materiales con los que son construidas, el número de personas que habitan y el lugar donde fueron construidas. Para este estudio se tomó en cuenta el censo Nacional de Población y vivienda.

Los datos obtenidos por parte del INEGI en la encuesta 2010 muestran que existe un total de 41,516 viviendas con condiciones de ser ocupadas en las localidades del municipio, de las cuales el 17.52% (7,273) se encuentran deshabitadas, 7.33% (3,045) son de uso temporal y 75.15% (31,198) se encuentran habitadas. (Ver Fig. 10)

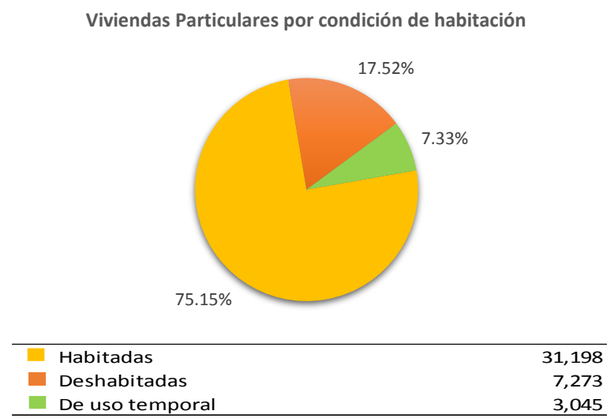


Fig. 10 Viviendas en condiciones de habitación

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

De las viviendas clasificadas como habitables y que se catalogan por el número de cuartos con los que cuentan, existen 8.23% (2,567) viviendas particulares que se componen de un solo cuarto, 19.90% (6,208) viviendas con dos cuartos y 71.29% (22,241) están conformadas por tres o más cuartos. (Ver Fig. 11)

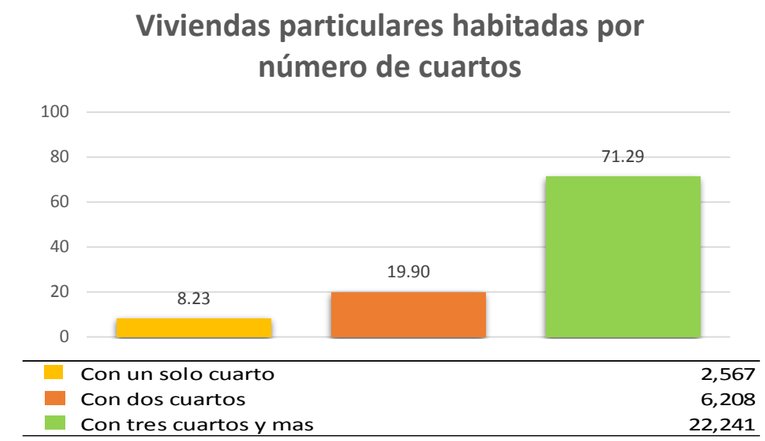


Fig. 11 Viviendas por número de cuartos

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.3.1. Pisos de tierra

Analizando datos más recientes de la encuesta interesal del INEGI 2015 para la Viviendas particulares habitadas con piso de tierra y que comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.

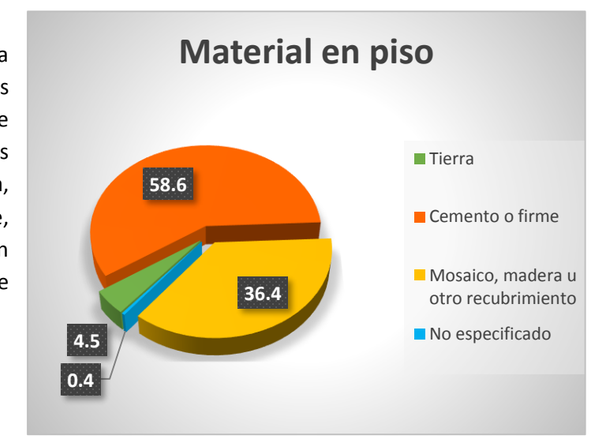
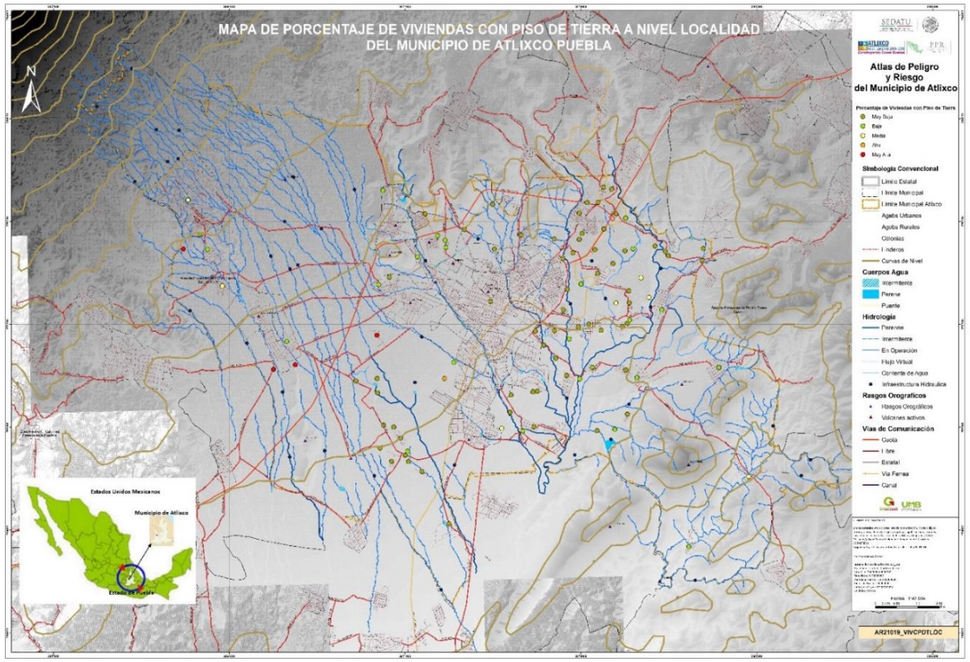


Fig. 12 Material en piso

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

[21] (CONAPO, 2010)

De las 35,093 viviendas habitadas, los datos muestran que solo un 4.5% (1,596) cuentan con piso de tierra, 58.6% (20,576) tiene piso o firme de cemento, 36.4% (12,773) cuentan con otro tipo de material y solo 0.4%(148) no está especificado (Ver Fig. 12 y Mapa 25).



Mapa 25 Piso en viviendas por localidad

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Una parte que complementa las viviendas y que puede aumentar el riesgo a los que se exponen sus ocupantes es el material con el que están hechos los muros o paredes en la misma encuesta del 2015 nos muestra los siguientes datos con respecto a este elemento estructural: El 92.7% de las viviendas cuentan con paredes de Tabique, el 5.7% es de madera y el 1.6% utiliza otro tipo de materiales (Ver Fig. 13).

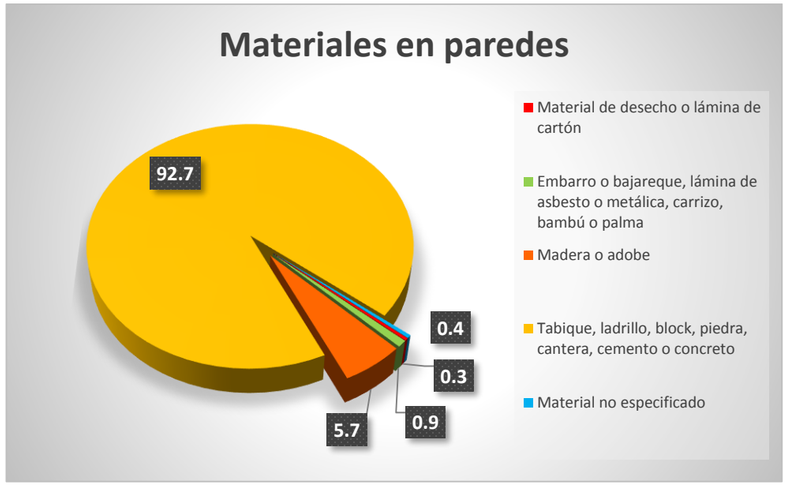


Fig. 13 Material en paredes

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Continuando con el análisis de los elementos estructurales para definir las características de las viviendas, los datos que se arrojan para los materiales con los cuales se construyen los techos son: 78.9% usan losa de concreto o vigueta y bovedilla que son estructuras sólidas y ancladas, 18.8% utilizan láminas de diferentes materiales, 1.4% están cubiertas con teja y el 0.9% usan cualquier otro material (Ver Fig. 14).

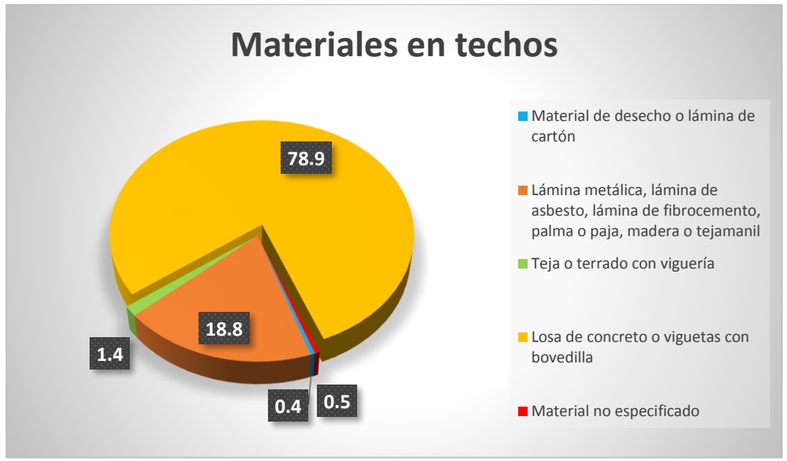


Fig. 14 Material en techo

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.3.2. Servicios (agua, luz, drenaje)

Los servicios básicos son indispensables para tener una vivienda funcional y digna en la ciudad, en muchas ocasiones las faltas de algunos de los servicios pueden derivar en problemas de salud, sanitarios y de seguridad. Las viviendas habitadas en Atlixco disponen del servicio de Luz eléctrica el 98.9% (30,841) viviendas particulares; en el suministro de agua entubada el 85.4% (26,630) viviendas cuentan con este servicio; cuentan con drenaje el 92.4% (28,830) viviendas (Ver Fig. 15).

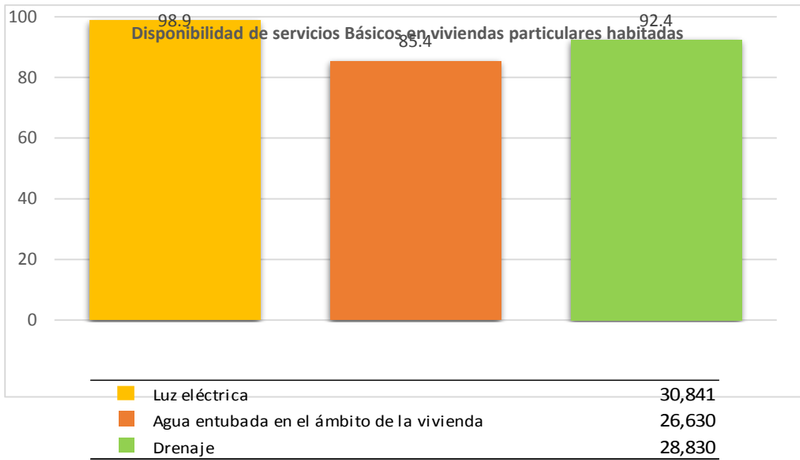


Fig. 15 Servicios Básicos

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Un complemento de los servicios en las viviendas es el equipamiento ya que al contar con el abasto de servicios públicos básicos se puede adquirir y equipar para mejorar la calidad de vida que habitan en ellas, INEGI registro que 93.49% de las viviendas particulares disponen de televisión; 76.1% tiene refrigerados; el 53.7% cuenta con lavadora y un 34.1% pose automóvil o camioneta para transportarse (Ver Fig. 16).

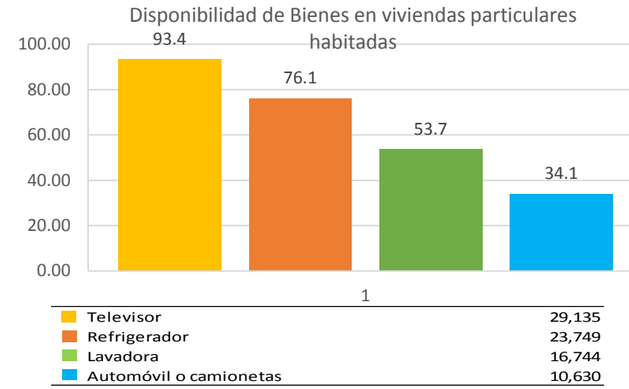


Fig. 16 Bienes en viviendas

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

En la actualidad la disponibilidad de tecnologías va en acenso ya que han facilitado la comunicación entre las personas durante el censo de 2010 solo el 24.2% de las viviendas contaban con computadora; el 51.5% tenían contratadas líneas telefónicas fijas; el 53.9% de las viviendas tenían celular y solo el 17.7% contaba con internet en su vivienda (Ver Fig. 17).

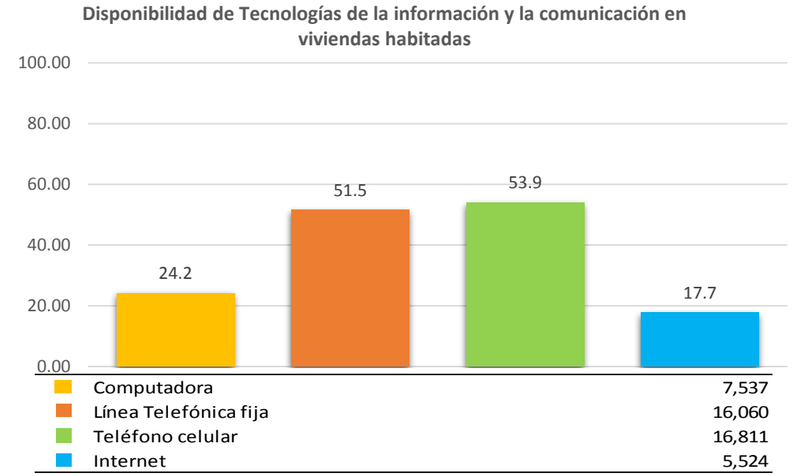


Fig. 17 Disponibilidad de Tecnología

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.3.3. Déficit de vivienda

El municipio de Atlixco no se registra déficit de vivienda según datos del INEGI 2010 ya que por cada hogar hay una vivienda.

Empleo e ingresos

Con base en lo señalado en el censo del INEGI 2010, de la población mayor a 12 años de edad que existe en el municipio de Atlixco el 52.8% se considera como Población Económicamente Activa, de los cuales el 96.4% están ocupados siendo el 72.4% hombres y el 36.6% mujeres.

El 46.7% restante del total de habitantes se considera como Población No Económicamente Activa, siendo el 27.1% hombres y el 63.0% mujeres, y el 0.5% restante del total se identifican en Condición de Actividad No Especificada.

El municipio de Atlixco cuenta con una población económicamente activa de 48,785 personas entre los sectores primarios, secundarios y terciarios. La población activa contiene 30,052 Hombres y 18,733 Mujeres.

4.4.1. Sectores de ocupación, porcentaje de ingresos de la PEA, razón de dependencia y tasa

En el sector primario hay 12,542 personas trabajando. En el sector secundario hay 9,106 personas y en el terciario existen 29,792 personas. La producción del sector secundario y terciario en millones de pesos es de 150.2 para el secundario y 783.5 para el terciario (Ver Fig. 18).

Para el sector primario tiene un valor la producción de 98 millones de pesos que se dividen en 3 principales sectores. El sector agrícola, la producción de carne y el de productos pecuarios. El sector agrícola da un monto de 2 millones de pesos, el de carne da 55 millones de pesos y el sector pecuario da un monto de 41 millones de pesos.

El porcentaje de la población que recibe un salario mínimo es de 13.93 y el porcentaje que recibe entre 1 y 2 salarios mínimos es de 14%. Estos porcentajes son de la población económicamente activa dentro del municipio.[22]

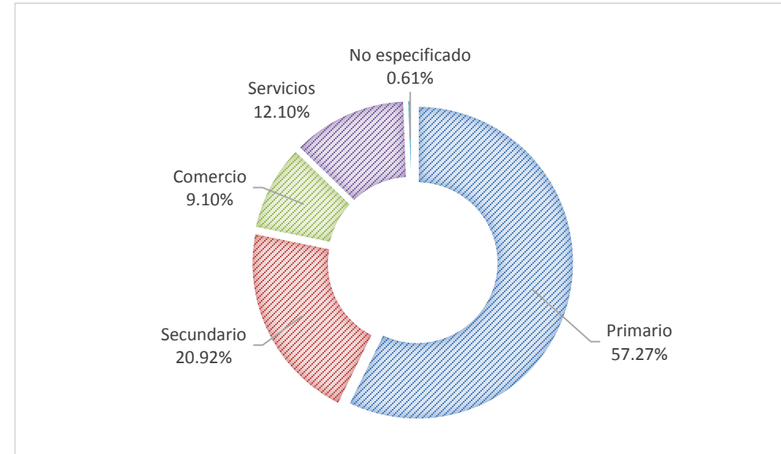


Fig. 18 Población ocupada y su distribución según sector de actividad económica

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Equipamiento e infraestructura

Como se ha mencionado con anterioridad, el riesgo se compone de tres elementos principales, el peligro, la vulnerabilidad y la exposición. Con relación a este último, un sistema expuesto se define como la cantidad de personas, bienes, infraestructura, medio ambiente y sistemas que son susceptibles de ser dañados o perdidos. Lo que se traduce en vidas o en términos económicos.

Parte importante de los bienes expuestos es el equipamiento y la infraestructura presente en el municipio: Escuelas, Hospitales, Oficinas de Gobierno, Unidades económicas, infraestructura eléctrica, hidráulica o urbana, etc.

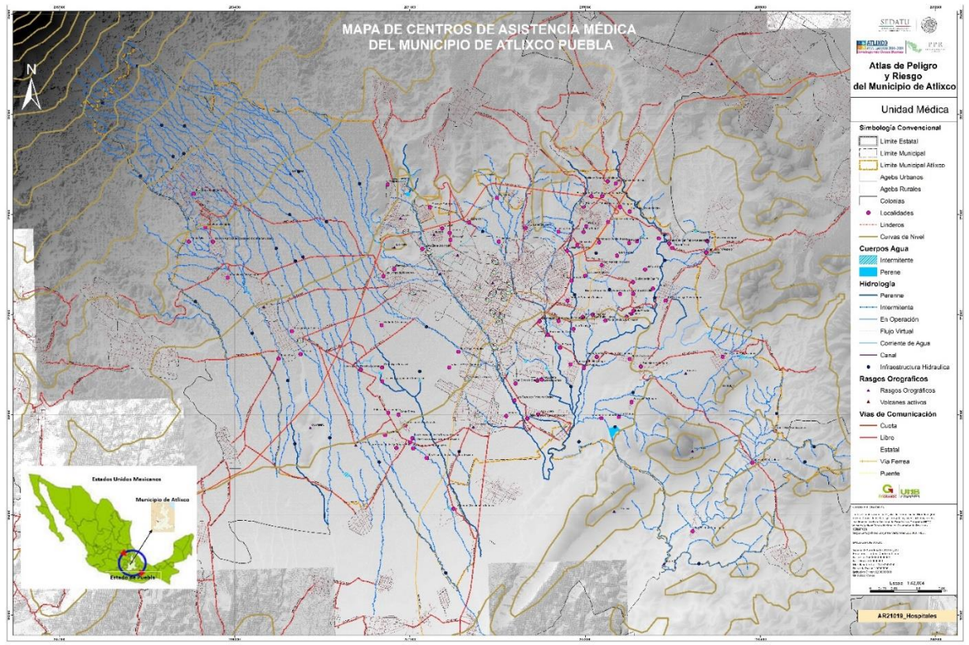
De igual forma, la cantidad y calidad de este tipo de infraestructura determina en cierta forma, la capacidad de responder, asimilar y enfrentar el impacto de un desastre, es decir su resiliencia. Por tal motivo, en el presente apartado se describe brevemente el tipo de infraestructura y equipamiento con el que cuenta el municipio.

[22] (CEIGEP, 2010)

4.1.3 Salud

La infraestructura de salud es considerada como una de los servicios vitales, que en caso de emergencia se debe evitar que sea afectada y que los servicios que brinda se vean interrumpidos.

En el municipio de Atlixco existen 26 centros de asistencia médica, la mayoría de ellos ubicados en la cabecera municipal. (Ver Mapa 26) .

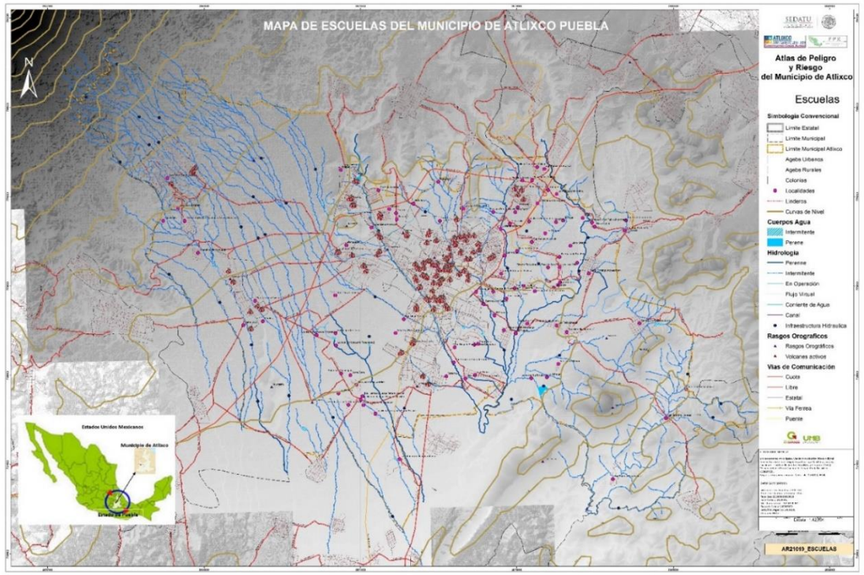


Mapa 26 Centros de salud

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.1.4 Educativo

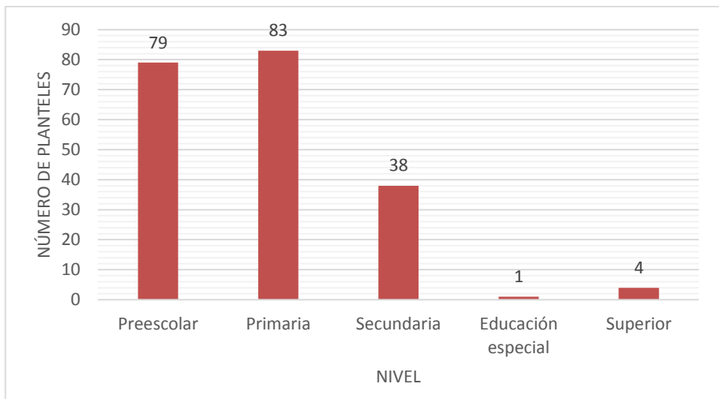
De acuerdo con información de INEGI, en Atlixco existen 205 planteles educativos, de los cuales 79 son de nivel preescolar, 83 primaria, 38 secundarias, una de educación especial y cuatro de educación superior (Ver Tabla 18 y Mapa 27).



Mapa 27 Escuelas

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

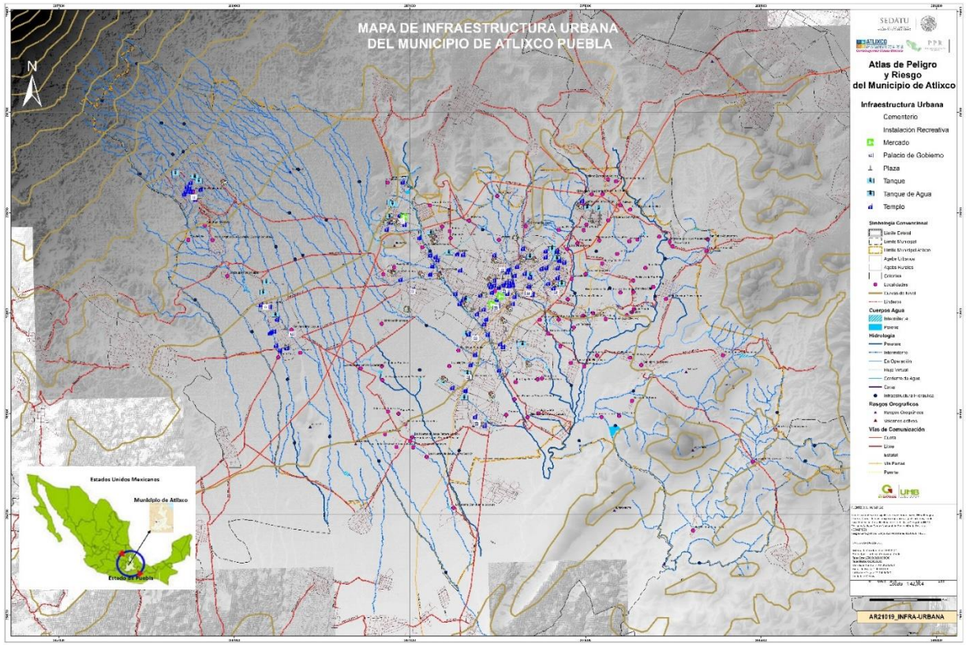
Tabla 18 Número de planteles según nivel educativo



Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.1.5 Recreativo y/o de esparcimiento (plazas, centros comerciales, teatros, cines, auditorios, etc).

En lo que se refiere a otro tipo de infraestructura, en el municipio existen 29 plazas, 3 mercados, 25 instalaciones deportivas, siete cementerios, 13 oficinas de gobierno y alrededor de 100 templos[23] (Ver Mapa 28).

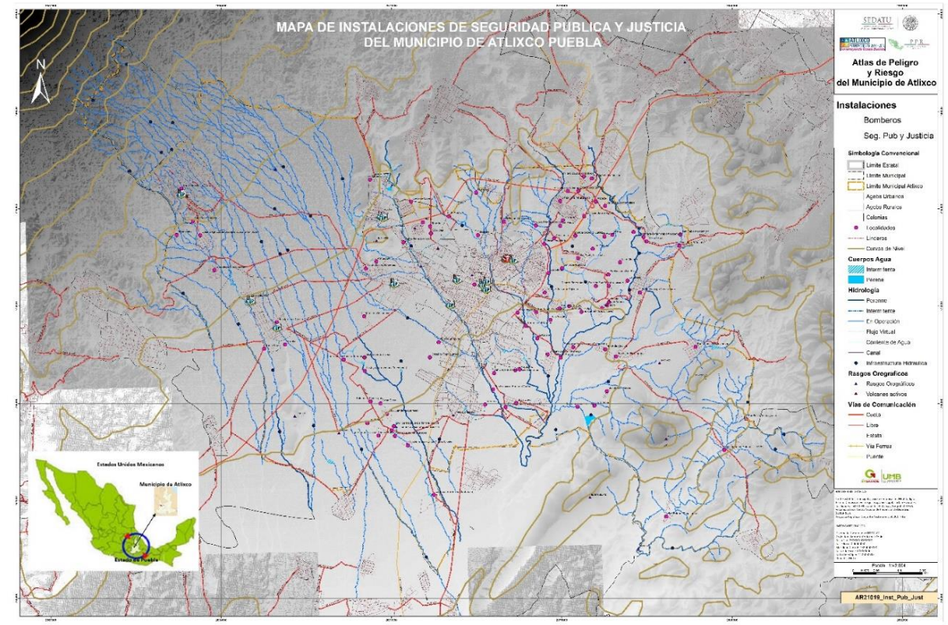


Mapa 28 Infraestructura

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

4.1.6 Estación de bomberos, seguridad pública, albergues, ruta de evacuación etc.

En lo que se refiere a instalaciones de bomberos y seguridad pública se identificó una estación de bomberos y 17 instalaciones que se encargan de la impartición de justicia y mantenimiento de la seguridad en el municipio, entre las que destacan la Comandancia de Policía Ministerial, la Dirección de Seguridad Ciudadana, la Dirección General de Seguridad Pública y Vialidad y el Centro de Readaptación Social, entre otras. (Ver Mapa 29)



Mapa 29 instalaciones de Seguridad

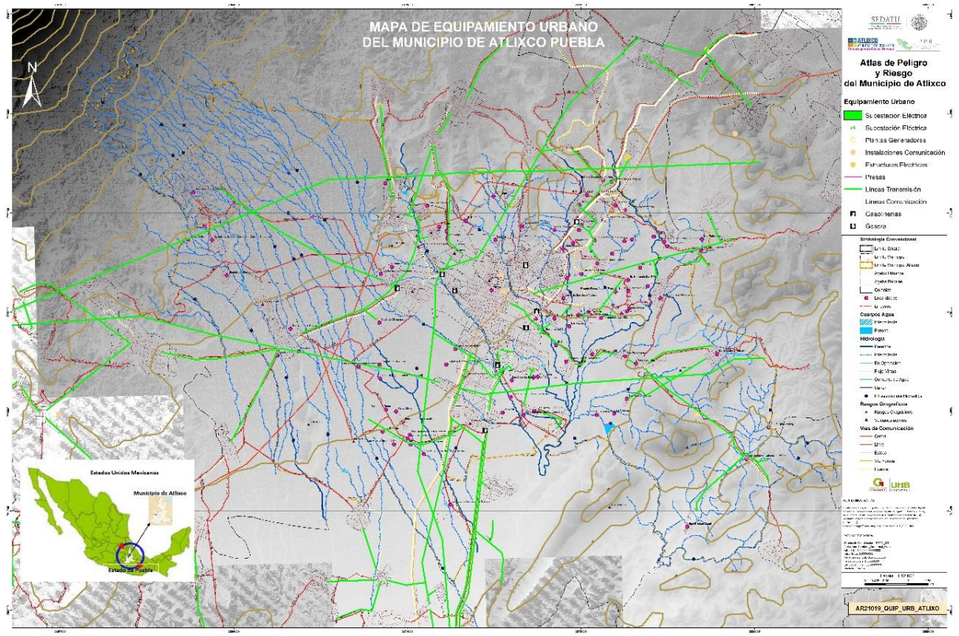
Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

[23] INEGI

4.1.7 Presas, Líneas de comunicación y transmisión, subestaciones eléctricas, plantas generadoras, estructuras eléctricas, gasolineras y gaseras, et.

La infraestructura de comunicación, eléctrica e hidráulica es de gran importancia para el municipio, y adquiere mayor relevancia en caso de que se presente una emergencia a consecuencia del impacto de un fenómeno de origen natural potencialmente destructivo.

El poder ubicar este tipo de infraestructura y los peligros a los que está expuesta, permite diseñar escenarios en caso de que se registren fallas asociadas a la ocurrencia de desastres. Con base en lo anterior, el contar con planes de emergencia, sobre todo previendo la falla de la infraestructura estratégica ubicada en las zonas de mayor riesgo, es de gran importancia (Ver Mapa 30).



Mapa 30 Equipamiento Urbano del Municipio de Atlixco Puebla

Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

Expansión de la Ciudad 1980 – 2010 (elaborar mapa identificando la expansión de la ciudad incluyendo año, población y superficie)

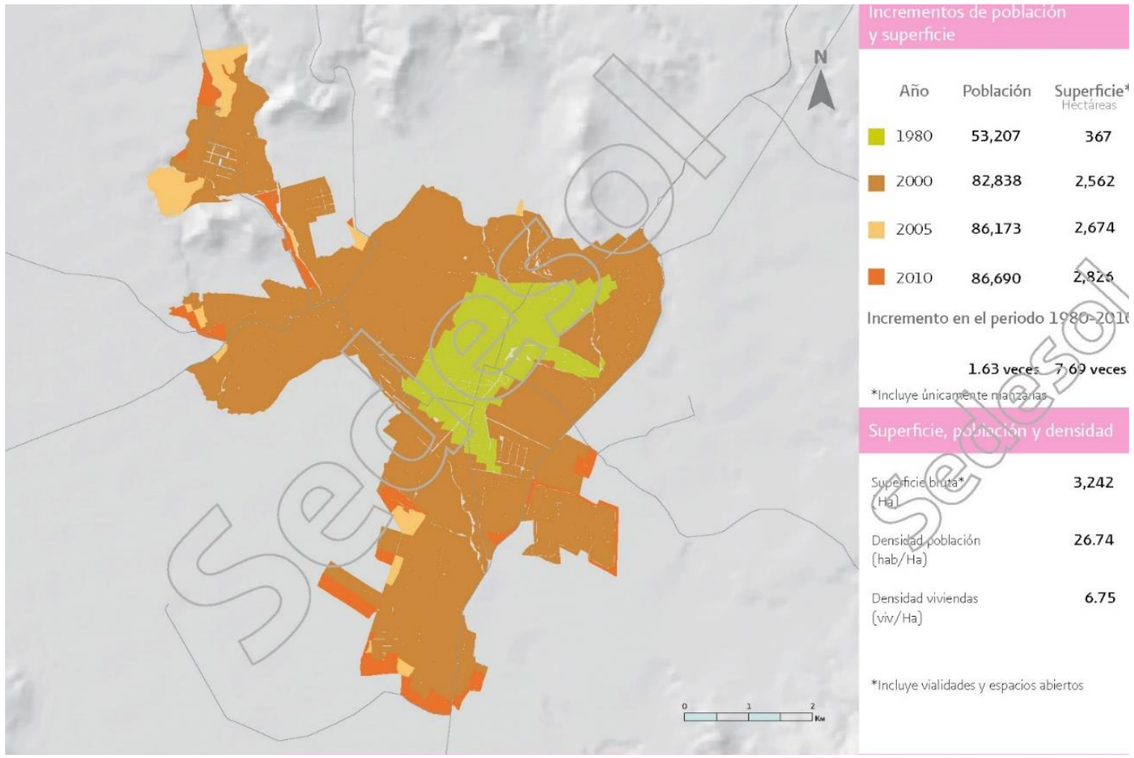
Los registros del crecimiento del municipio en el periodo que va de 1980 a 2010 constituye un antecedente documental que permite un análisis gráfico y cuantitativo de la relación de crecimiento poblacional en el territorio que se ha producido durante estos últimos años, se recomiendan que los datos de expansión territorial sean considerados por parte de los organismos y entidades involucrados para diseñar y desarrollar políticas públicas referentes al tema, analizando las tendencias y perspectivas del crecimiento de la población en la zona urbana y rural, así como los cambios que experimentan la ciudad (tamaño, infraestructura, servicios, población, etc.). Las tendencias actuales del proceso de urbanización a escala mundial indican que, en los próximos decenios, el crecimiento de la población mundial estará determinado, en gran medida, por la dinámica de las zonas urbanas de los países en desarrollo (Ver Mapa 31).

Con el análisis de estos datos se podrán visualizar y generar los posibles escenarios actuales y futuros, así como las implicaciones que tendría el permanecer con esta dinámica de crecimiento y la relación en la calidad de vida de los habitantes de continuar con la tendencia hasta hoy registrada. Datos de ONU Hábitat indican que el 32.7 por ciento de la población urbana de los países en desarrollo vive en asentamientos irregulares, en condiciones precarias y en algunos casos de alto riesgo. El crecimiento descontrolado y la construcción masiva de viviendas ha provocado una diversidad de problemas que involucran una conectividad deficiente, diseño urbano que incentiva el uso del automóvil, prioriza al vehículo particular sobre el transporte público y la movilidad no motorizada, margina al ciudadano propiciando la pérdida de calidad de vida.

La expansión de la ciudad también implica la pérdida de zonas agrícolas, forestales, de recarga del acuífero y de servicios ambientales al adaptarlas o transformarlas y darles un nuevo uso de suelo. Los vacíos intraurbanos y las zonas que han perdido su vocación, representan un área de oportunidad para la regeneración de la vida citadina. La adecuada ubicación y diversidad en la vivienda, sumadas a la asignación focalizada de los subsidios y apoyos hacia los sectores más necesitados, aportará beneficios de trascendencia social, ambiental, urbana y económica.

El desorden en el desarrollo de las ciudades se genera en muchas ocasiones a partir de asentamientos informales, que se establecen en zonas de riesgo o que no son aptas para la construcción de viviendas, teniendo como resultado la precariedad, la irregularidad y la falta de equipamientos y servicios. Otros factores han aumentado estas deficiencias en los instrumentos de planeación son: la falta en su aplicación, la incorporación desordenada de suelo y la autorización de desarrollos habitacionales cada vez más alejados de las zonas urbanas para cumplir con la demanda que existe. Este modelo de crecimiento implica altos costos económicos, sociales y ambientales para los tres órdenes de gobierno y para el ciudadano a corto, mediano y largo plazo.

El implementar un modelo de ciudad sustentable que integre usos mixtos, vivienda, privilegie el transporte público y no motorizado, redes de espacios públicos y áreas verdes y tenga al centro siempre al ciudadano garantiza una mejor calidad de vida.



Mapa 31 Expansión de la Ciudad

(Fuente: Secretaria de Desarrollo Social)

En el mapa anterior podemos observar el crecimiento de población, así como la expansión de la superficie que se fue ocupando a lo lago de los años, de 1980 al año 2000 hubo un crecimiento de casi 7 veces la superficie que ocupaba, del 2000 a 2005 el crecimiento de superficie fue solo de un 4% y con una población de 86,173 habitantes, finalmente el último periodo registrado 2005 a 2010 nos muestra que el crecimiento de superficie fue de casi el 6% y la población solo creció el 1% con un total de 86,690 habitantes.

Fase II

5 Identificación de amenazas y peligros, ante fenómenos perturbadores de origen natural y químico-tecnológico.

Fenómenos Geológicos

Los fenómenos geológicos son aquellos que tienen lugar en la corteza terrestre, ya sea en la parte interna, como los sismos, o en la superficie, como los deslizamientos de tierra, los hundimientos, los agrietamientos, las fallas o fracturas y las erupciones volcánicas. Dependiendo de la cercanía, intensidad y/o la magnitud con la que se presenten estos fenómenos, tienen mayor o menor impacto en la población, en sus bienes y en el medioambiente; pudiendo o no generar lo que, en protección civil, se conoce como desastre; el cual es resultado del impacto de uno o más agentes perturbadores, concatenados o no, de gran magnitud, y que pueden ser de origen natural o producto de actividades humanas y que, cuando acontecen en un tiempo o zona determinada, causan daños pudiendo exceder la capacidad de respuesta de la comunidad afectada.

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil (2014), y para fines del presenta Atlas municipal de peligros y riesgos, se entiende como fenómeno geológico al "Agente perturbador que tiene como causa directa las acciones y movimientos de la corteza terrestre. A esta categoría pertenecen los sismos, las erupciones volcánicas, los tsunamis, la inestabilidad de laderas, los flujos, los caídos o derrumbes, los hundimientos, la subsidencia y los agrietamientos. Esta definición es concordante con los "Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016", emitidos por la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU), los cuales serán considerados para el desarrollo de los temas y de los fenómenos geológicos considerados en el presente Atlas.

Para el desarrollo del presente Atlas, también se considerarán las recomendaciones de la Guía de Contenido Mínimo (GCM) para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos, publicada el 21 diciembre de 2016, en el Diario Oficial de la Federación, tomando como referencia los lineamientos y metodologías para el análisis de susceptibilidad y peligro (cuando la información existente lo permita) de los fenómenos perturbadores que se indican en el siguiente apartado.

- **Diagnóstico de los principales Peligros Geológicos**

Por su ubicación geográfica, topografía accidentada y por sus características geotécnicas y geológicas, el territorio del municipio de Atlixco es propenso a los fenómenos volcánicos, a la inestabilidad de laderas: deslizamientos, flujos y caídos o derrumbes, al hundimiento o subsidencia y al efecto de los sismos; aunque también se han documentado fallas y fracturas que, aunque no son activas, podrían resultar de interés para su consideración en el diseño y construcción de obras de ingeniería y de infraestructura. Esta situación se ve agravada por las condiciones de marginación, pobreza y el crecimiento acelerado, en ocasiones desordenado, de algunas de las comunidades y colonias del municipio de Atlixco. A ello, hay que sumar el hecho de que **no existe** un **reglamento de construcciones** ni un **registro histórico** de los principales fenómenos geológicos o geotécnicos que hayan impactado al municipio.

Los casos más recientes, de los que se tiene conocimiento, son la ocurrencia de algunos **caídos de bloques de roca** en las faldas del **cerro de San Miguel**, las afectaciones producidas por el sismo de Tehuacán de 7.0 grados, ocurrido el 15 de junio de 1999, y las frecuentes explosiones del volcán Popocatépetl que han arrojado una gran cantidad de ceniza en las comunidades aledañas al volcán y en la ciudad de Atlixco.

Cuando ocurren lluvias muy intensas o de larga duración, además de inundaciones y desbordamientos de ríos pueden detonar deslizamientos de tierra, flujos de lodo y escombros, caídos y desprendimientos de suelos y rocas, que afectan a núcleos de población en zonas urbanas y rurales. Como ya se dijo, para el caso del municipio y principalmente para la zona urbana de Atlixco los principales peligros geológicos tienen relación con la caída de rocas en el cerro de San Miguel, la presencia de fallas y fracturas por las cuales fluyen algunos ríos y la actividad eruptiva del volcán Popocatépetl.

5.1.1 Vulcanismo

El Vulcanismo es una de las manifestaciones más notables de la dinámica interna de la Tierra; los terremotos y las erupciones volcánicas son dos fenómenos naturales que se presentan con relativa frecuencia en México. Muchos recordaremos las noticias de la tremenda erupción del volcán Chichón o Chichonal, en el estado de Chiapas, cuya ceniza cubrió más de 30,000 km^2 y ocasionó decenas de pérdidas humanas y económicas. Estas noticias tuvieron gran repercusión entre la opinión pública durante el mes de abril de 1982, pero poco a poco se fueron olvidando.

México se encuentra situado en una región con importante actividad volcánica; de los casi 3000 volcanes que tiene el país, 22 son considerados activos. Muchas poblaciones importantes están ubicadas a lo largo del eje volcánico y se han asentado ahí debido a la calidad de los suelos y el clima (De la Rosa, 2002).

Un ejemplo real de riesgo lo representa el volcán Popocatépetl, que en Náhuatl significa "Montaña que humea" es un estratovolcán andesítico-dacítico localizado en las coordenadas 19.02° N, y 98.62° W en el Cinturón Volcánico Mexicano, con una altura de 5452 msnm y un cráter de 900m de diámetro y aproximadamente 200 m de profundidad, cerca del cual se encuentran numerosos asentamientos humanos e industriales.

Debido a la reactivación del volcán Popocatépetl a partir de diciembre de 1994, existe un peligro latente para las poblaciones asentadas en los límites del Estado de México, Puebla y Morelos. Para ciudades relativamente distantes del volcán, como son la Ciudad de México y la de Puebla, existe la posibilidad de afectación por caída de ceniza. "Una erupción del volcán Popocatépetl podría afectar, potencialmente, a unos 20 millones de personas, casi una cuarta parte de la población total del país, lo que generaría un fuerte impacto económico." (Valdés C. et al. 1995).

- **Tipos de vulcanismo**

Es necesario identificar y clasificar los volcanes. Existen dos tipos de vulcanismo: monogenético y poligenético:

Volcán monogenético: es aquel en que la erupción ocurre durante una sola etapa, a través de una fisura o boca y constituye un pequeño edificio en forma de maar, cono escoriáceo, domo o volcán escudo. Su duración varía de meses a aproximadamente 10 años y es predominantemente efusiva.

Volcán poligenético: es aquel en el cual se forman edificios volcánicos por la acumulación de materiales emitidos por varias erupciones a lo largo del tiempo geológico. Se producen erupciones con un rango amplio de intensidades. Construye edificios tipo estratovolcán y grandes calderas.

Los volcanes pueden ser de diferentes tipos (Ver Fig. 19), entre los que se encuentran las calderas, los conos cineríticos, maares, volcanes escudo, estratovolcanes y domos. Saber a qué tipo pertenece un volcán, proporciona mucha información acerca de la actividad que ha presentado en el pasado.

Caldera: Depresión circular o elíptica grande (1 a 100 km de diámetro), en ocasiones a simple vista es difícil reconocerla. Se forma cuando el magma se obtiene de un reservorio somero. En un año común, algún tipo de actividad se presenta en cerca de 18 calderas en el mundo.

Cono Cinerítico: Es una montaña con laderas muy inclinadas, que se forma debido a la acumulación de partículas y lava mezclada con gases. Es el volcán más simple de todos. En general son monogenéticos y alcanzan alturas entre 30 y 450 m. Sus magmas son de baja viscosidad. Uno de los conos cineríticos más recientes, es el volcán Paricutín, que construyó un cono con una altura de 424 m y produjo un flujo de lava que cubrió 25 km ^{2}.

Maar: Son conos con cráteres muy grandes de bajo relieve, que corta el nivel freático, por lo que forma un lago en el fondo llamado “mare”, el cual se forma por erupciones explosivas someras. Las explosiones son generalmente provocadas por el calentamiento del agua freática cuando el magma invade estos niveles.

Volcán Escudo: Es un volcán amplio con pendientes suaves (menos de 10°) construidas por erupciones de lava basáltica fluida. El nombre proviene del parecido con los escudos de los guerreros.

Estratovolcán: Son volcanes con formas cónicas y pendientes pronunciadas, construidos por la erupción de flujos de lava viscosa, flujos piroclástico y tefra. Se desarrollan generalmente en periodos de cientos a miles de años. Estos volcanes pueden generar varios tipos de magma; basáltico, andesitico y riolítico. Todos estos magmas, con excepción del basalto generan erupciones explosivas. De los 1511 volcanes que han hecho erupción en el mundo en los últimos 10,000 años 699 son estratovolcanes.

Domos: Los domos están formados por masas de lava relativamente pequeñas. Esta lava es muy viscosa para fluir a grandes distancias, por lo que se apila sobre y alrededor de su centro emisor. Presentan pendientes fuertes que tienden a derrumbarse y formar flujos de bloques y cenizas. Los domos son acompañados por actividad explosiva y llegan a medir hasta 200 m de diámetro y 500 m de altura.

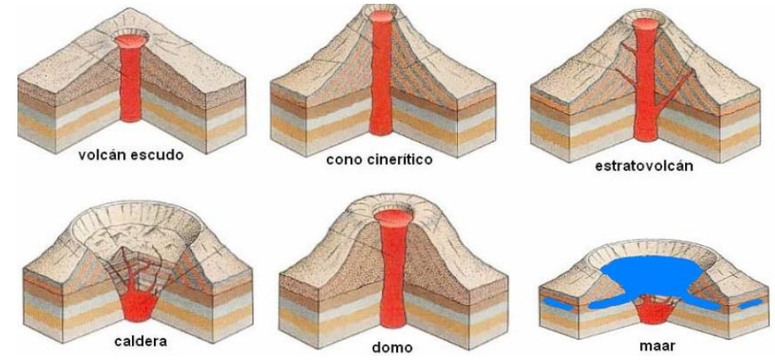


Fig. 19 Tipos de volcanes

.

ERUPCIONES VOLCÁNICAS

Un volcán se define como aquel sitio donde sale material magmático o sus derivados, formando una acumulación que por lo general toma una forma cónica alrededor del punto de salida. Generalmente los volcanes tienen en su cumbre o en sus costados, grandes cavidades denominadas cráteres donde se presentan las erupciones volcánicas.

Las erupciones volcánicas resultan del ascenso del magma que se encuentra en la parte interna o debajo de un volcán activo. Cuando el magma se acerca o alcanza la superficie, pierde todos o parte de los gases que lleva en solución, formando gran cantidad de burbujas en su interior. Las erupciones son emisiones de mezclas de magma (roca fundida rica en materiales volátiles), gases volcánicos que se separan de este (vapor de agua, bióxido de carbono, bióxido de azufre y otros) y fragmentos de rocas de la corteza.

A continuación, se describen los tipos de erupciones volcánicas (Ver Fig. 20):

Erupción efusiva o Hawaiana: Es una erupción dominada por la salida continua de lava de baja viscosidad que puede formar flujos o ríos de lava. El gas se libera fácilmente. La extrusión puede durar varios minutos o días y son típicas de volcanes escudo. La erupción histórica más larga, ocurrió en Islandia en 1783, y produjo 15 km cúbicos de material en 8 meses.

Erupción Estromboliana: Las erupciones estrombolianas están caracterizadas por una intermitente explosión o fuente de lava basáltica de viscosidad mayor a la Hawaiana, proviene de un solo cráter o fisura. Cada episodio de ésta obedece a la liberación de gases volcánicos, lo que ocurre típicamente, cada varios

minutos, algunas veces en forma rítmica y otras en forma irregular. Originando columnas eruptivas de hasta 10,000 m de altura.

Erupción Vulcaniana: La erupción vulcaniana, es un tipo de erupción explosiva que lanza fragmentos de lava nueva que no toman una forma redondeada durante su viaje por el aire. Esto se debe a que la lava es muy viscosa y ya está solidificada. Producen columnas eruptivas de 10 a 20 km de altura, con velocidades iniciales de hasta 200 m/s.

Erupción Pliniana y Peleana: Las erupciones plinianas son grandes eventos explosivos que forman enormes columnas de tefra y gas que se elevan hasta la estratósfera (entre 20 y 45 km). Las emisiones son continuas y de magma viscoso. Algunas de estas erupciones han provocado que cantidades de aerosoles (pequeñas gotas de líquidos) queden en la estratósfera, provocando que la temperatura en la superficie de la Tierra, baje un poco. En la figura 2, se pueden observar los diferentes tipos de erupciones.

La tasa de erupción promedio en México, durante los últimos 500 años ha sido de cerca de 15 erupciones de diversos tamaños por siglo.

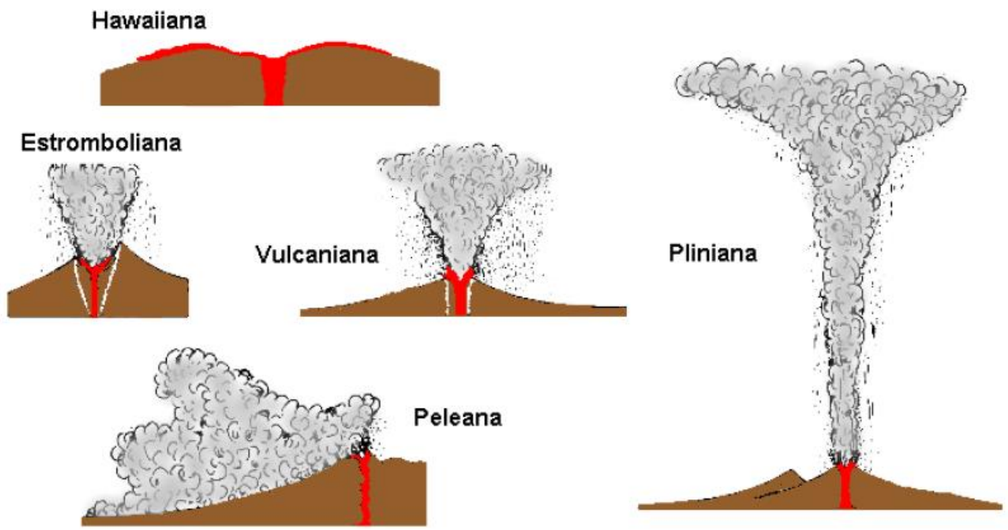


Fig. 20 Tipos de erupciones

.

Una de las formas más aceptadas de cuantificar las erupciones explosivas (forma que no es válida para las erupciones efusivas) es la escala del *Índice de Explosividad Volcánica* (VEI, por sus siglas en inglés). Se trata de una escala compuesta (VEI, Newhall y Self, 1982), en la que se toman en cuenta diversas características de una erupción como son: el volumen de magma emitido, la energía térmica liberada, el alcance de los productos fragmentados, el grado de destrucción causada, la altura de la columna eruptiva, la duración de la erupción, etc. La Tabla 19 presenta la escala VEI en términos de algunos de los parámetros eruptivos relevantes.

Tabla 19 Índice de Explosividad Volcánica (VEI, por sus siglas en inglés).

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción	No explosiva	Pequeña	Moderado	Moderada a grande	Grande	Muy grande	--	--	--
Volumen emitido (m^3)	<10, 000	10,000 – 1,000,000	Uno a Diez millones	Diez a cien millones	Cien a mil millones	Uno a diez km^3	Diez a cien km^3	Cien a mil km^3	Más de 1000 km^3
Altura de la columna (km)	0.1	0,1-1	1-5	3-15	10-25	Más de 25	--	--	--
Duración en horas	-1	-1	1-6	1-6	1-12	6-12	Más de 12	--	--
Inyección a la troposfera	Mínima	Leve	Moderada	Sustancial	Grande	--	--	--	--
Inyección a la estratosfera	Nula	Nula	Nula	Posible	Definida	Significativa	Grande	--	--

(´Fuente: VEI, Newhall y Self, 1982)

- **EL EJE VOLCÁNICO MEXICANO**

Los volcanes del centro y sur de México forman una especie de franja ancha que cruza la República desde el estado de Nayarit hasta Veracruz. A esta franja se le conoce con el nombre de Faja Volcánica Mexicana (FVM) o Eje Volcánico Mexicano.

En México gran parte del vulcanismo está relacionado con la zona de subducción formada por las placas de Rivera y Cocos con la gran Placa Norteamericana, y tiene su expresión volcánica con orientación Este-Oeste, que se extiende más de 1,200 km y su ancho varía de 20 a 150 km.

La FVM, ubicada sobre el paralelo 19°, alberga a los principales volcanes activos del país. Su vulcanismo es extremadamente variado, desde actividad efusiva cuyos productos más importantes son los derrames de lava, hasta erupciones altamente explosivas con predominio de depósitos piroclásticos tanto de flujo como de caída.

La FVM se caracteriza por la diversidad de volcanes, desde grandes estratovolcanes hasta extensos campos de pequeños conos de cenizas y volcanes escudo. Sin embargo, existen otros centros eruptivos en el país que no pertenece a la FVM, como son los volcanes del estado de Chiapas, el volcán Tres Vírgenes en Baja California, cuyo mecanismo de formación es de otro origen.

En México hay cerca de 3,000 volcanes, de los cuales alrededor de 22 se consideran activos o peligrosos, la Fig. 21 se muestran las zonas volcánicas de México, así como la ubicación de algunos de los volcanes considerados como de alta peligrosidad.

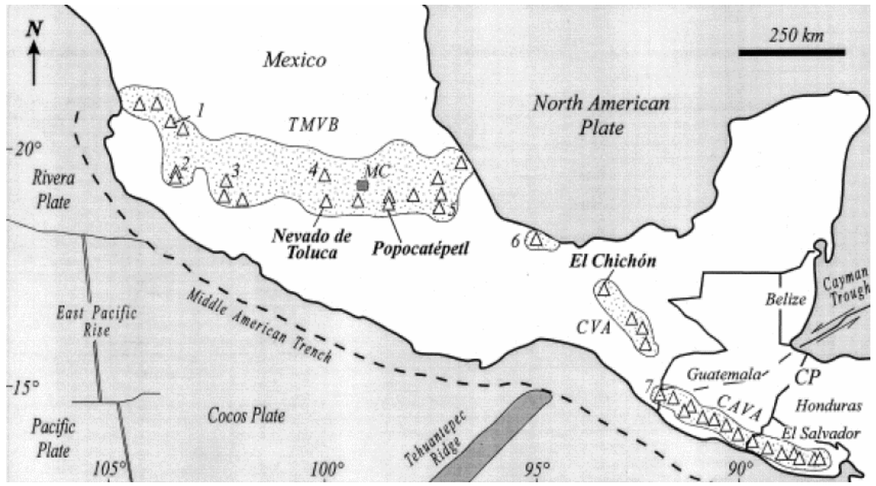


Fig. 21 Zonas volcánicas de México (TMVB), algunos volcanes considerados como peligrosos están indicados con triangulo y nombres, los números corresponden a:1. Ceboruco, 2. Colima, 3. Jorullo, 4. Jocotitlán, 5. Citlaltépetl, 6. San Martín Tuxtla, 7. Tacaná (Tomado de USGS/CVO, 2003)

(Fuente: catálogo de Volcanes de México del Smithsonian Institution (Siebert et al. 2003))

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

- **VOLCÁN POPOCATÉPETL**

El volcán Popocatépetl, es un estratovolcán andesítico-dacítico, localizado a 60 km al sureste de la Ciudad de México, a 45 km al Oeste de la Ciudad de Puebla y 22 km aproximadamente al noroeste del municipio de Atlixco. Tiene una altura de 5452 msnm y un cráter de 900 m de diámetro y aproximadamente 200 m de profundidad. Su edificio cubre un área de 500 km^2 abarcando los estados de Puebla, México y Morelos.

Después de un periodo de reposo, inició una nueva fase de actividad con una emisión de gases y cenizas el 21 de diciembre de 1994. La última etapa de actividad fue de 1920 a 1927, generando el crecimiento de domos de lava dentro del cráter, así como explosiones y emisiones de ceniza (Waiz, 1921). La etapa de actividad contemporánea del volcán se caracteriza por crecimientos de domos dentro del cráter, así como explosiones de tipo vulcanianas con un máximo índice de explosividad de 3 (VEI, Newhall).

La nueva etapa ha sido bien monitoreada y estudiada en diversas áreas: Sismología, Petrología, deformación, geoquímica, percepción remota, vulcanología física, magnetometría, visual, etc. Especialmente el monitoreo sísmico ha sido de gran ayuda para estudiar la actividad volcánica actual. En la Tabla 20, se presenta la historia eruptiva del volcán.

Tabla 20 Tipos de erupciones y naturaleza de la actividad volcánica. CENAPRED

Años	Tiempo transcurrido entre erupciones (en años)	Descripción de la actividad
24,000		Gran erupción tipo Sta. Elena, destruye edificio volcánico previo
14,000	9,000	Gran erupción Pliniana, lluvia de cenizas y pómez en la Cd. De México.
14,000-5,000	9,000	Varias erupciones grandes, al menos 4
3,000 a.C.	2,000	Erupción grande
200 a.C.	2,800	Erupción grande
800	1,000	Erupción grande
1354-1363	554	Erupción menor y fumarolas
1512-1530	149	Erupción moderada y fumarolas
1539-1549	9	Erupción moderada con cenizas y pómez
1571	22	Emisión de cenizas
1592	21	Fumarolas y emisión de cenizas
1642	50	Fumarolas y emisión de cenizas
1663-1665	11	Erupción moderada y emisión de cenizas
1697	32	Fumarolas
1720	23	Erupción leve y actividad fumarólica
1804	84	Fumarolas leves
1919-1927	115	Moderada emisión de cenizas y pómez
1994- ?	67	¿Moderada?
Promedio	47 años	Tomando desde 1512 y quitando el dato mayor y menor

(Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED))

- **Sismicidad debida a la actividad eruptiva del volcán Popocatépetl**

El monitoreo sísmico es una herramienta comúnmente utilizada para evaluar la actividad volcánica, con el fin de predecir erupciones volcánicas a corto plazo y determinar el tipo y grado de actividad de los volcanes (Tilling, 1993). La intrusión y movimiento de magma o flujos volcánicos produce generalmente señales sísmicas que preceden a periodos eruptivos. La comprensión de estas señales puede ser crucial para determinar el peligro volcánico. Al sur del volcán se han identificado por lo menos tres depósitos de avalancha de escombros, que indican su actividad anterior. Siebe et al. 1996, sugiere que estos depósitos de erupciones importantes ocurrieron entre 24,000 y 19,000 años a.c. mayores erupciones han sido fechadas recientemente por Siebe (1996), entre ellas, las que corresponden a los periodos de 3195 a 2830 a.c.; de 800 a 215 a.c. y de 675 a 1095 d,c. El último periodo eruptivo histórico ocurrió entre 1920 y 1927, cuando apareció un domo dacítico (Waitz, 1921).

En 1993, después de 70 años de reposo, se observó un repentino aumento en la sismicidad del volcán Popocatépetl (Valdés-González y González-Pomposo, 1994). El 21 de diciembre de 1994, el Popocatépetl inició una nueva fase de actividad volcánica, caracterizada por una gran actividad fumarólica y de emisiones de ceniza. Desde entonces se han registrado varios tipos de sismicidad, incluyendo miles de eventos de periodo largo (LP), volcanotectónicos (VT), así como tremor volcánico, emisiones constantes de ceniza, pequeñas explosiones frecuentes, grandes explosiones esporádicas y la formación de al menos sesenta y nueve domos de lava. La actividad eruptiva del volcán ha presentado episodios vulcanianos, strombolianos y subplinianos, que probablemente corresponden a la gran actividad eruptiva de 1667.

- **Identificación de diferentes etapas de la actividad del Popocatépetl**

Durante el periodo reciente de la actividad del volcán Popocatépetl, comprendida entre diciembre de 1994 a marzo de 2017, se han identificado cinco tipos de señales sísmicas asociadas a su actividad: volcanotectónica (VT); de periodo largo (LP); híbridos (H), tremor y explosiones. Las variaciones espaciales y temporales de estos eventos y su relación con la actividad del volcán permitió clasificarlas en 18 diferentes etapas (González, 2004). Dentro de las etapas se consideraron parámetros tales como: el número de sismos VT, LP y Tremor: magnitud, profundidad, frecuencia, distribución espacial y temporal, presencia y ausencia de domos y actividad fumarólica. De acuerdo con Arambula, 2007, se identifican las siguientes etapas (Ver Tabla 21):

Tabla 21 Etapas de la Actividad del Popocatépetl

Etapa	Periodo	Denominación
1	1 de enero de 1992 al 22 de octubre de 1994	Fase estable
2	23 de octubre al 21 de diciembre de 1994	Fase premonitora
3	21 de diciembre de 1994 al 1 de abril de 1995	Fase eruptiva
4	2 de abril de 1995 al 3 de marzo de 1996	Fase de limpieza de los conductos y fumarólica
5	4 de marzo 1996 a septiembre de 1996	Fase del primer domo de lava
6	Octubre de 1996 al 18 de agosto de 1997	Fase de actividad de pulsos casi-cíclicos
7	19 de agosto de 1997 al 24 de diciembre 1997	Fase de formación de un gran domo
8	25 de diciembre de 1997 al 22 de noviembre de 1998	Fase explosiva y de acumulación de energía
9	23 de noviembre de 1998 al 3 de enero de 1999	Fase muy explosiva
10	4 de enero de 1999 al 3 de septiembre de 1999	Fase posteruptiva y de relajación
11	4 de septiembre de 1999 al 15 de septiembre de 2000	Fase fallida de recarga
12	16 de septiembre de 2000 al 10 de diciembre de 2000	Fase de recarga
13	11 de diciembre de 2000 al 23 de enero de 2001	Crecimiento rápido del domo y fase eruptiva intensa
14	24 de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2002	Fase posteruptiva y formación frecuente de pequeños domos de lava
15*	1 de junio de 2002 a diciembre de 2003	Fase explosiva moderada y retorno a un periodo de relajación
16	Mayo 2003 a junio de 2005	Fase estable con mínima actividad
17	Julio de 2005 a 2009	Crecimiento de pequeños domos de lava
18	2010 y 2011	Fase de recarga, con el emplazamiento de domos cada vez más grandes

(Fuente:Elaboración Propia, con información de Arambula 2007)

La actividad del volcán no ha aportado ningún indicio de haber retornado a una fase de reposo hasta la fecha, pues ha continuado con la formación y destrucción de pequeños domos. El evento que finalizó la actividad eruptiva del Popocatépetl en los años 20 del siglo pasado probablemente fue una gran explosión que destruyó el domo interno, dando lugar a la formación de un lago dentro del cráter interno, que permaneció hasta diciembre de 1994. Esto lleva a proponer tres diferentes escenarios posibles de la actividad futura del volcán Popocatépetl:

- Que el procéso actual finalice con una liberación lenta y contínua de energía.
- Que el volcán continué generando etapas de actividad explosiva, semejantes a las etapas 6,8,9, y 10, capaces de lanzar fragmentos incandescentes a distancias de 4 a 6 kilómetros del cráter, acompañadas de grandes emisiones de ceniza.
- Que por medio de una formación y destrucción masiva del domo se generen flujos piroclásticos similares o mayores a los observados el 22 de enero de 2001, y que con esto el volcán inicie un periodo de inactividad temporal.

- **PELIGROS VOLCÁNICOS**

El riesgo volcánico es un concepto que gradualmente se va teniendo en cuenta, especialmente debido a las últimas erupciones catastróficas ocurridas con pérdida de vidas humanas y al impacto y difusión que éstas han tenido en los medios de comunicación. Es difícil estimar el valor de los daños materiales ocasionados por las erupciones, pero en algunos casos éstas han involucrado la pérdida de ciudades enteras, la destrucción de bosques y cosechas, y el colapso de las economías de las regiones afectadas por largos períodos, especialmente cuando ocurren en países relativamente pequeños.

Para tratar el problema de los daños provocados por fenómenos naturales y buscar soluciones que permitan reducir su impacto, es necesario definir y cuantificar los conceptos que relacionan los fenómenos naturales con su impacto sobre la sociedad.

“Riesgo” es un concepto complejo, que involucra varios componentes. En términos generales se define al Riesgo asociado a los fenómenos naturales, y en particular al fenómeno volcánico, como la combinación de dos componentes:

Riesgo = Peligro x Vulnerabilidad

El “peligro” o “amenaza” se define como la probabilidad de que alguna manifestación volcánica específica, como por ejemplo los flujos piroclásticos o la caída de ceniza, que mas adelante se describiran para el municipio de Atlixco, puedan presentarse en un área o región particular del entorno del volcán en un intervalo de tiempo dado. Y la “vulnerabilidad” se define como el grado o porcentaje de pérdida o daño que puede sufrir un elemento de la estructura social (población, infraestructura, productividad) por efecto de alguna de las manifestaciones volcánicas.

Si bien el peligro es una característica del fenómeno que no puede ser modificada, la vulnerabilidad puede ser reducida en forma considerable a través de la “preparación”. Es decir, la preparación depende de la

comprensión de los efectos de las diferentes manifestaciones volcánicas y de la adecuada percepción del riesgo, por lo que consiste en una respuesta organizada de la sociedad encaminada a realizar una serie de medidas coordinadas y precisas que reduzcan la exposición y fragilidad de los bienes amenazados por esas manifestaciones.

Por lo tanto el concepto de peligro volcánico comprende al conjunto de eventos que se producen en un volcán y que pueden provocar daños a personas o bienes expuestos (Ortiz y Araña, 1995). Los volcanes producen una amplia variedad de peligros o amenazas capaces de matar gente y destruir propiedades (Ver Fig. 22).

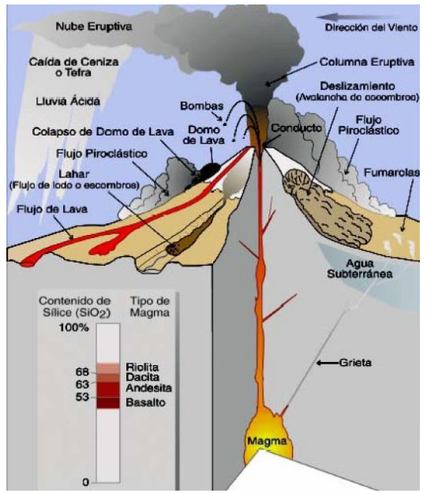


Fig. 22 Peligros volcánicos. Este dibujo simplificado muestra un volcán del tipo al que pertenece la mayoría de los volcanes más grandes y peligrosos del mundo. Reduciendo el riesgo de los peligros volcánico

(Fuente: Tomado del Servicio Geológico de estados Unidos (USGS))

Las grandes erupciones explosivas pueden poner en peligro a la población y a las propiedades a cientos de kilómetros de distancia y afectar, incluso, el clima global. Algunos de los peligros volcánicos que se describen a continuación, como las avalanchas (derrumbes gigantes) o los flujos de lodo o lahares pueden ocurrir aun cuando el volcán no se encuentre en erupción, por ello, para la mitigación de dichos peligros, se realizan evaluaciones y mapas para predecir las rutas que alcanzarán los eventos volcánicos.

- **Mapa de peligros del volcán Popocatépetl, 1995**

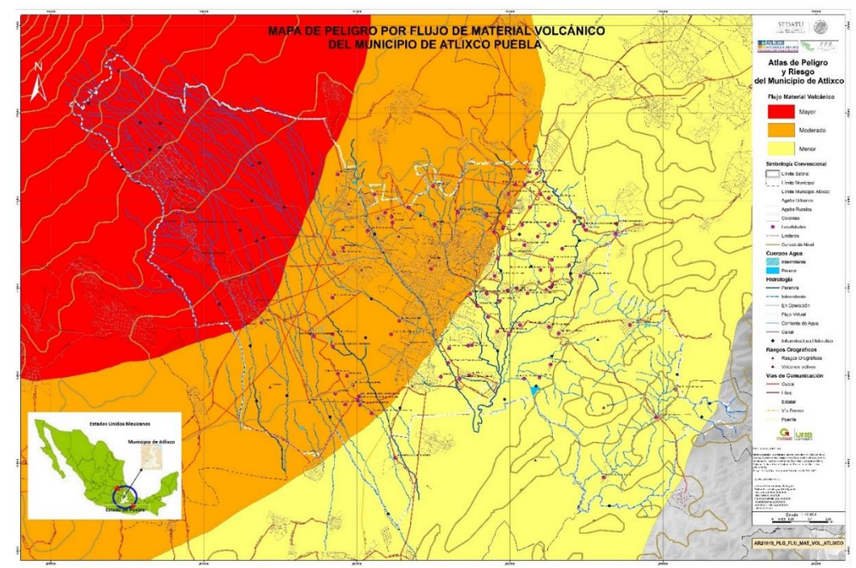
El Centro Nacional de Desastres (CENAPRED) en colaboración del instituto de Geofisica de la Universidad Nacional de Aútonoma de México (UNAM) se han dedicado al estudio de los peligros geológicos de México, con la finalidad de alertar a las autoridades y/o a la población en caso de que aumente sustancialmente la probabilidad de que ocurra una erupción u otro evento peligroso.

Ejemplo de ello, es el *Mapa de Peligros del Volcán Popocatépetl* en su primera edición. El mapa esta basado en información geológica disponible hasta enero de 1995 y considera la extensión máxima de los depósitos originados por erupciones volcánicas pasadas que se clasificaron en tres diferentes magnitudes. Los límites entre las tres áreas indicadas en el mapa fueron trazados con base en el alcance máximo de los productos originados por estas erupciones y en las distancias máximas de los flujos modelados por computadora. Además, el borde de cada área fue incrementado en varios kilómetros con margen de seguridad.

En caso de una erupción del volcán Popocatépetl, de acuerdo con esta edición, los tres posibles tipos de peligro de afectación para el municipio de Atlixcco serían:

- **Flujos calientes de material volcánico.**

Viajan a alta velocidad, sólo en algunos minutos descienden del volcán y destruyen todo a su paso. En el mapa de la figura 1 se identifica el municipio de Atlixco y se muestran tres diferentes tipos de áreas de peligro: 1 (mayor), 2 (moderado) y 3 (menor), de acuerdo con su peligrosidad las tonalidades de dichas áreas tienen como propósito mostrar que el mayor riesgo existe hacia la cima del volcán y cada zona incluye todo tipo de peligro volcánico asociado respectivamente a erupciones volcánicas grandes, medianas y pequeñas (Ver Mapa 32).



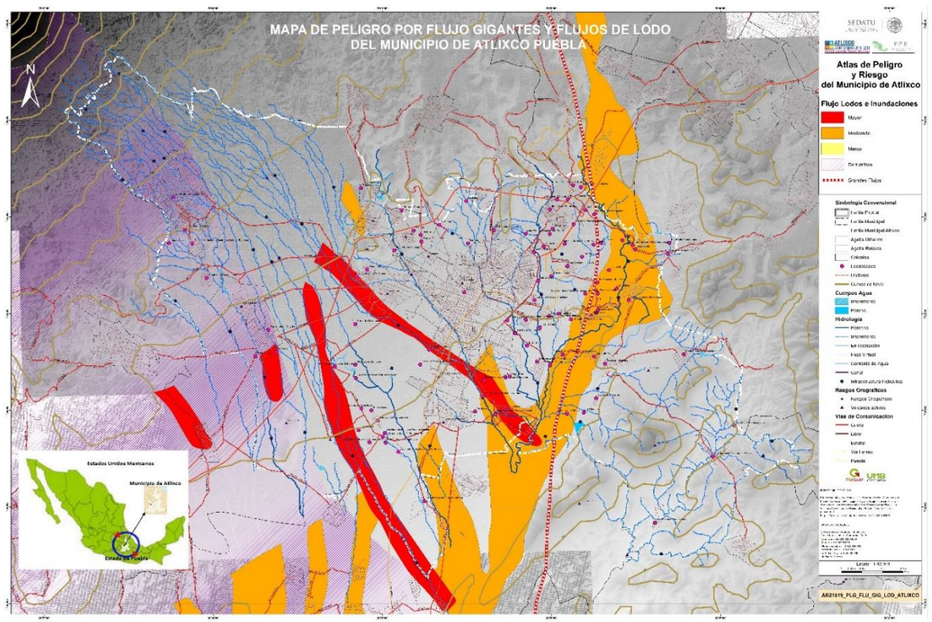
Mapa 32: Mapa de Peligro por Flujo de material volcánico para el Municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia)

- **Flujos de lodo e inundaciones.**

Se concentra esencialmente en las barrancas y en los arroyos y les toma de 10 a 30 minutos descender del volcán.

El Mapa 33, muestra la probable afectación ante este fenómeno volcánico y así mismo, la distribución y extensión máxima de los depósitos que podrían ser producidos por el derrumbe gigante de un sector del volcán. Evento que ha ocurrido aproximadamente dos veces en los últimos 40 000 años.

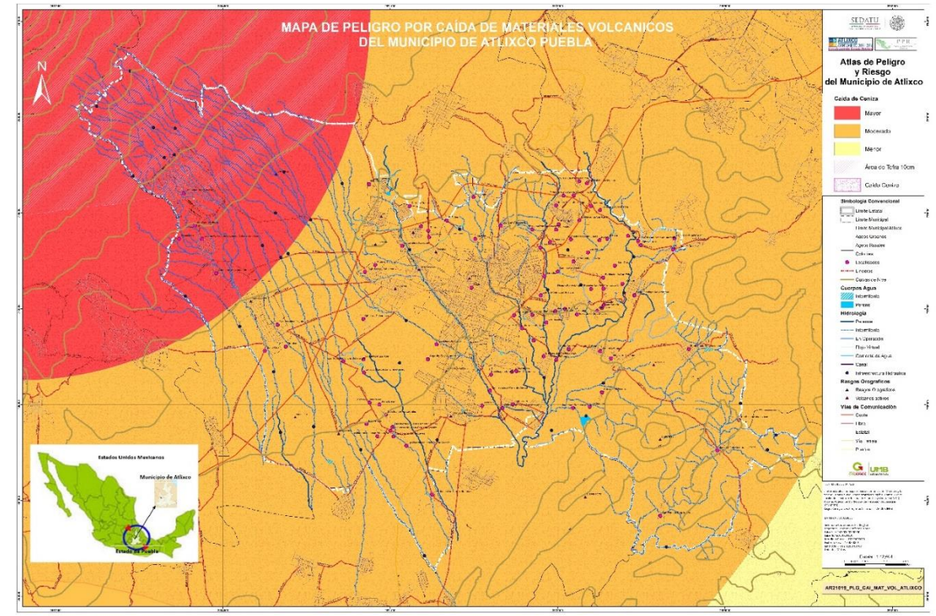


Mapa 33: Mapa de peligro por Flujos de lodo e inundaciones para el Municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia)

- **Caída o lluvia de material volcánico.**

Es peligrosa, si el peso del depósito excede la resistencia de los techos de las casas, ya que ello puede ocasionar que se colapse. En algunos casos, la acumulación de más de 10 centímetros de material puede producir el derrumbe del techo, sobre todo si el material se encuentra húmedo. El Mapa 34, muestra los límites máximos de los depósitos de caída (arena volcánica y pómez) para erupciones de diferente magnitud como los muestran los círculos concéntricos y la influencia de los vientos dominantes que controlarían su distribución.



Mapa 34: Mapa de peligro por Caída o lluvia de material volcánico para el Municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia)

- **MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL, 2016 PARA ATLIXCO, PUEBLA**

Recientemente el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en colaboración con el instituto de Geofisica de la Universidad Nacional de Aútonoma de México (UNAM), en una segunda edición, conformarón un grupo de trabajo con la finalidad de realizar una actualización al *Mapa de Peligros del Volcán Popocatépetl* considerando teorias y conceptos en donde el estudio de la peligrosidad volcánica exige dividir cada uno de los episodios volcánicos en elementos muy sencillos que se evalúan independientemente. La actualización del mapa de peligros para el volcán Popocatépetl, publicada en 2016, consiste en la reconstrucción de la historia geológica del volcán y la realización de trabajo de campo y revisión de archivos históricos, así mismo, se reconocieron los estilos eruptivos, recurrencia y extensión de las erupciones en tiempo geológicos e históricos del volcán.

Con esta información se proyectaron escenarios de peligro a través de múltiples simulaciones por computadoras basadas en la magnitud de las erupciones y su probabilidad de ocurrencia, resultando seis escenarios de peligro volcanico, considerando en todos ellos las carateristicas siguientes (Ver Fig. 23):

- Erupciones pequeñas con columnas eruptivas menores a 10 km (Rojo) que ocurren con mayor frecuencia y representan el escenario de mayor probabilidad.

- Las erupciones medianas con columnas eruptivas entre 10 y 20 km de altura (naranja) son menos frecuentes, aunque más grandes y representan el escenario de probabilidad intermedia.
- Las erupciones grandes con columnas eruptivas mayores a 20 km (amarillo) tienen una menor probabilidad de ocurrencia pero son altamente destructivas.

Utilizando el mapa actualizado de los peligros volcánicos del Popocatépetl, se realizará un analisis espacial mediante un sistema de Información Geografica (SIG), en donde se identificaran y ubicaran las zonas de afectación de cada uno de los peligros, en el municipio de Atlixco (Ver Fig. 23).

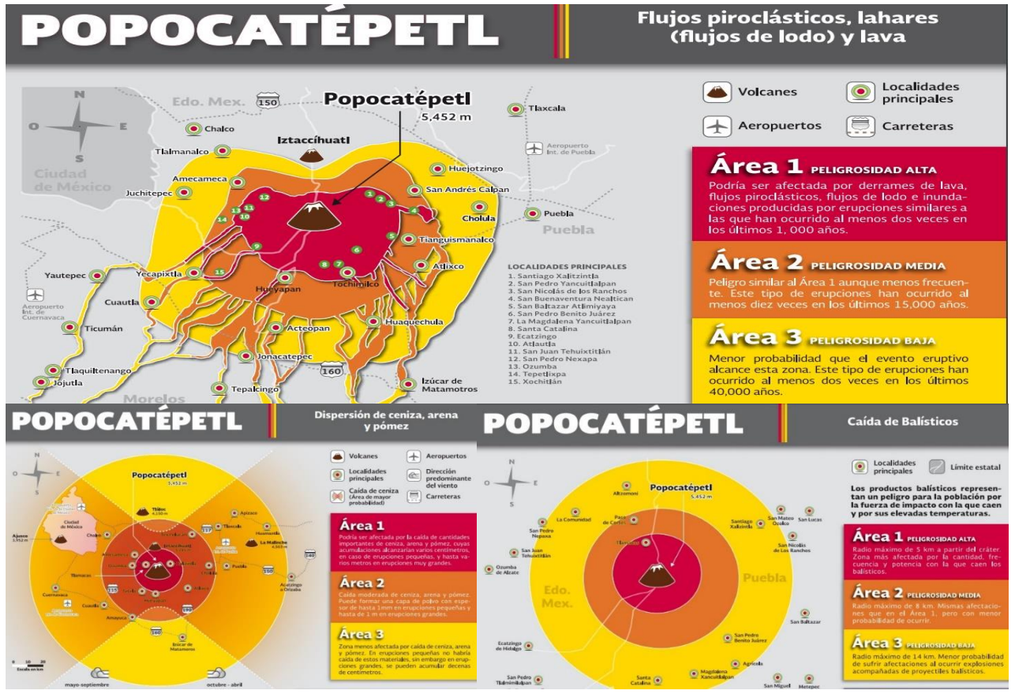


Fig. 23 Mapa de Peligro del Volcán Popocatépetl 2016 para el municipio de Atlixco Puebla, Colaboración CENAPRED y UNAM

(Fuente: Colaboración entre el Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM))

- **Cenizas volcánicas y efectos**

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

Puede provocar alguno de los siguientes efectos: el incremento de enfermedades pulmonares, trastornos gastrointestinales por la ingestión de agua y alimentos contaminados por flúor y posiblemente con metales pesados (arsénico, mercurio, etc.), daños oculares como conjuntivitis y abrasiones en la córnea.

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

Capas de ceniza de 2 a 3 cm de espesor pueden causar el colapso de techos con pendientes menores a 20°, así como en estructuras de mala calidad. Las cenizas secas tienen un peso de 400-700 kg/m^3, la lluvia puede incrementarlo de un 50 a un 100%. Una capa de ceniza de 10 cm de espesor representará una carga extra de 40-70 kg/m^2 si está húmeda (Ver Fig. 24).

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

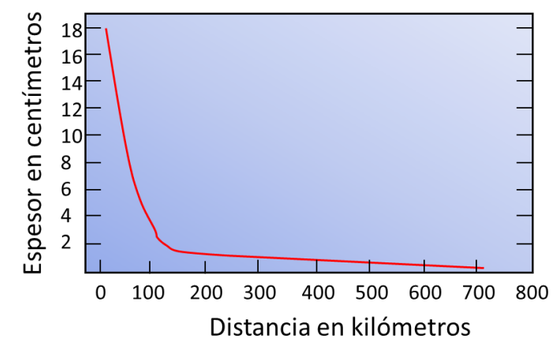


Fig. 24 Distribución de espesores de cenizas alcanzados en erupciones recientes de tipo pliniano

(Fuente: Colaboración entre el Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM))

.

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

De las mediciones de la acumulación de cenizas producidas por erupciones recientes de tipo pliniano, se han obtenido en promedio los siguientes espesores: hasta una decena de metros en la zona cercana al cráter (menos de 12 km), de 20 a 50 cm a distancias de entre 12 y 35 km y de 5 a 10 cm hasta distancias de

85 km. Para la determinación del impacto de las cenizas en una región determinada, se requiere información adicional de vientos locales.

El viento y el tipo de erupción son los dos factores principales que controlan la dispersión de cenizas de un volcán que entra en erupción. El tipo de erupción determinará el volumen y el tamaño de la ceniza (Ver Fig. 25), así como la variedad de altitudes a la cual la ceniza es elevada. De mayo a septiembre dominan los vientos hacia el oeste, mientras que de octubre a abril dominan hacia el este. Sin embargo, los vientos pueden presentar otras direcciones sobre todo en los meses transicionales como de mayo y octubre.

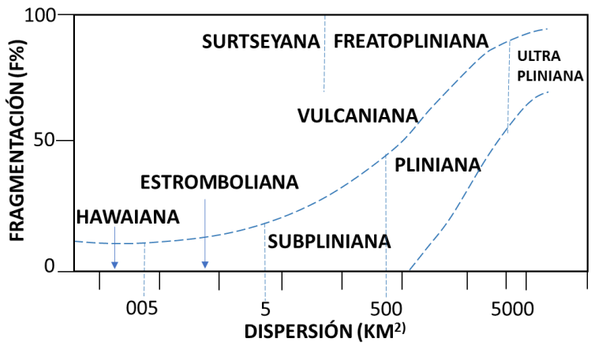
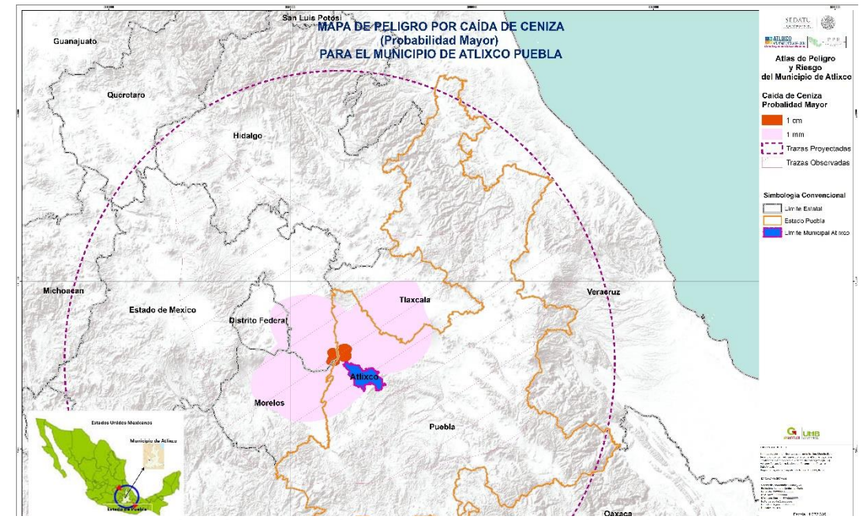


Fig. 25 Distancia alcanzada por la ceniza desde el centro de emisión de acuerdo al porcentaje de fragmentación y tipo de erupción

(Fuente: Colaboración entre el Centro Nacional de Prevención y Desastres (CENAPRED) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Los mapas de peligro por caída de ceniza representan tres escenarios correspondientes a erupciones de diferente magnitud que se basaron en observaciones de campo y modelaciones e integrando los datos de viento, estos son:

Un escenario más probable (mapa rojo), correspondiente a las erupciones más frecuentes con las columnas de ceniza menores a 10 km de altura. Los diferentes tonos en rojo muestran las áreas que pueden ser afectadas por caída de ceniza con espesores de 1 cm, 1 mm y trazas (menores a 1 mm), (Ver Mapa 35).



Mapa 35: Mapa de peligro de Caída de ceniza de mayor probabilidad para el Municipio de Atlixco, Puebla.

(Fuente: Elaboración Propia)

De acuerdo al Mapa 35, el municipio de Atlixco no estaría afectado por la caída de ceniza de 1 cm. La traza observada y proyectada afectaría al municipio en su totalidad y para la caída de ceniza de espesor de 1mm, el área de afectación se estima en 225.51 km^2 y una población de 118, 910 habitantes, en la Tabla 22, se especifican algunos de los sistemas expuestos también se verían afectados por la caída de ceniza de 1mm.

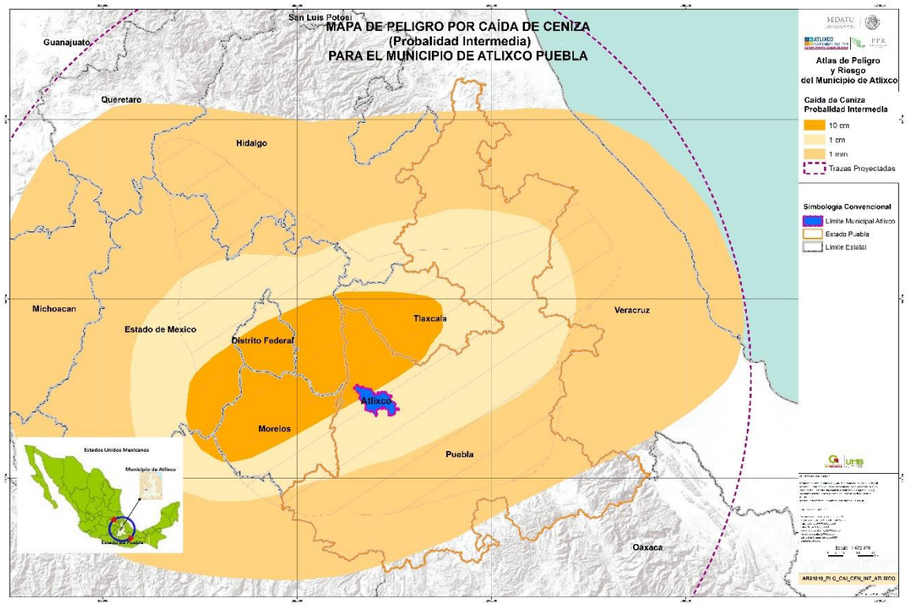
Tabla 22 Sistemas expuestos por caída de ceniza de 1 mm

Sistema expuesto	Total
Colonias*	248
Viviendas	33410
Hospitales	40
Escuelas	262
Supermercados	61
Hoteles	41
Bancos	29
Gasolineras	7
Presas	1
Unidades de Producción Pecuaria	28

*Ver anexo de colonias afectadas.

(Fuente: Elaboración Propia)

Un escenario de probabilidad intermedia (mapa en anaranjado), muestra zonas en las que se puede depositar ceniza de erupciones con columnas con alturas de entre 10 y 20 km. Los diferentes tonos en color anaranjado indican áreas con caída probable de 10 cm, 1 cm, 1mm y trazas (Ver Mapa 36).



Mapa 36: Mapa de peligro de Caída de ceniza de probabilidad intermedia para el Municipio de Atlixco, Puebla.

(Fuente: Elaboración Propia)

En este escenario, el municipio de Atlixco tendría un área de afectación de 55.20 km^2 por caída de ceniza de espesor de 10 cm y una población de 5919 habitantes. Para la caída de ceniza de 1 cm, 1mm y la traza proyectada el municipio estaría afectado en su totalidad. En la Tabla 23, se muestran los sistemas expuestos para este escenario.

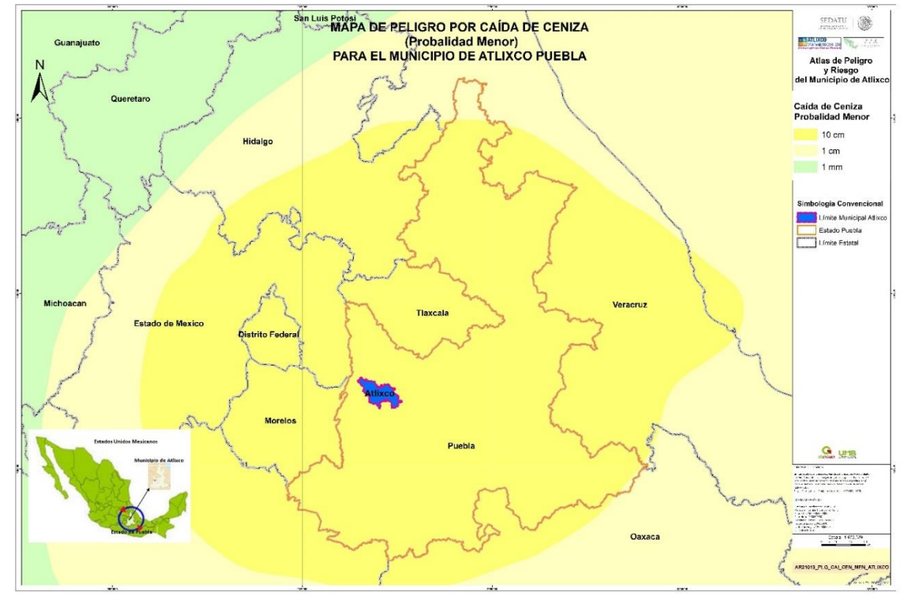
Tabla 23 Sistemas expuestos por caída de ceniza de 10 cm

Sistema expuesto	Total
Colonias*	7
Viviendas	1507
Hospitales	1
Escuelas	12
Supermercados	2
Hoteles	0
Bancos	0
Gasolineras	0
Presas	0
Unidades de Producción Pecuaria	0

*Ver anexo de colonias afectadas.

(Fuente: Elaboración Propia)

El escenario menos probable (mapa amarillo), muestra las zonas en las que caería en caso de una erupción de gran magnitud con columnas eruptivas mayores a 20 km de altura. Las áreas de caída de ceniza con espesores de 10 cm, 1 cm, y 1mm en color amarillo. En este escenario las trazas tendrían un alcance y una distribución mayor (Ver Mapa 37). Por lo tanto, el municipio de Atlixco, Puebla sería afectado en su totalidad.



Mapa 37: Mapa de peligro de Caída de ceniza de probabilidad menor para el Municipio de Atlixco, Puebla.

(Fuente: Elaboración Propia)

- **Proyectiles Balísticos**

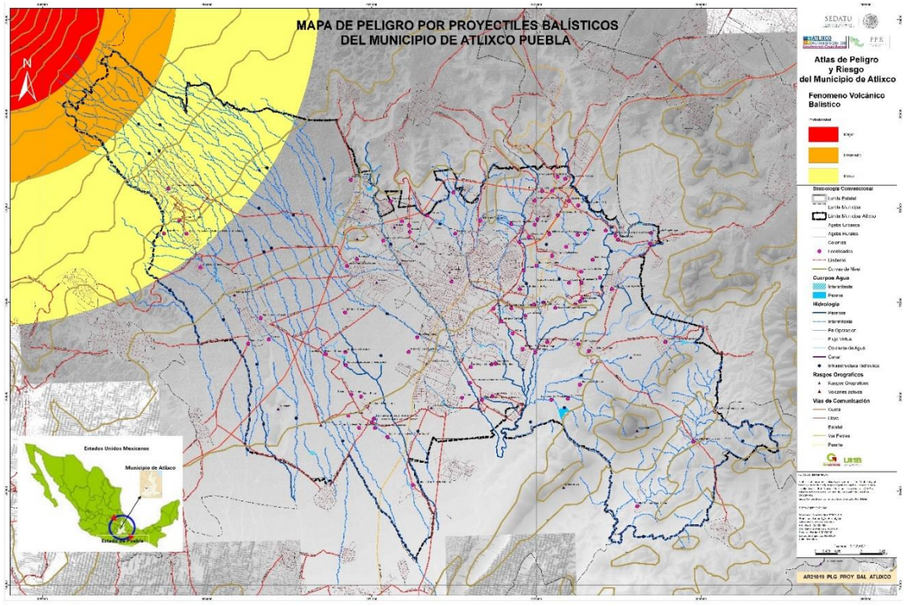
Los proyectiles balísticos son fragmento de roca de tamaños superiores a 62 mm, expulsados durante explosiones volcánicas a velocidades de decenas a centenares de metro por segundo. Aunque suele ser menores a 50 cm, pueden llegar a medir algunos metros de diámetro. Sus trayectorias se ven poco afectadas por la dinámica de la columna eruptiva.

Las velocidades de los impactos van desde 300 hasta 500 k/hora, lo que implica que las personas puedan sobrevivir a la caída de proyectiles pequeños (menores de 3 cm) en refugios especiales, pero no en

balísticos de 30 cm de diámetro que pueden alcanzar una velocidad de 500 km/hora, lo cual implica una energía de impacto igual a la de un choque de un camión de una tonelada moviéndose a 10 km/hora. Estos peligros fueron considerados cuando se estableció la zona de exclusión de 12 km desde el cráter.

Algunos proyectiles conservan altas temperatura al caer sobre el terreno y producen incendios. A continuación, se describen las tres probabilidades (Ver Mapa 38) y un análisis espacial de los sistemas expuestos (Ver Tabla 24), correspondientes al municipio de Atlixco que considera este peligro volcánico:

- **Probabilidad mayor (área roja).** Las pequeñas erupciones, que son las de mayor probabilidad de ocurrencia, como las observadas desde 1994, que han expulsado balísticos con alcances horizontales de hasta 5 km alrededor del cráter. Esta probabilidad no afectaría al municipio de Atlixco.
- **Probabilidad intermedia (área anaranjada).** En caso de erupciones de moderada magnitud y probabilidad intermedia, se estima que pueden alcanzar 10 km. El municipio de Atlixco se vería afectado territorialmente con un área de 7.24 km^2, sin afectar a la población o algún sistema.
- **Probabilidad menor (área amarilla).** En caso de erupciones grandes que son de menor probabilidad de ocurrencia, pueden llegar hasta 15 km de distancia. Esta probabilidad afectaría un área de 35.28 km^2, con una población de 5904 habitantes del municipio de Atlixco, en la siguiente tabla se incluyen los sistemas que estaría expuestos a este escenario.



Mapa 38: Mapa de peligro por proyectiles balísticos para el Municipio de Atlixco, Puebla.

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 24 Sistemas expuestos por proyectiles balísticos

Sistema expuesto	Total
Colonias*	3
Viviendas	1504
Hospitales	1
Escuelas	11
Supermercados	1

*Ver anexo de colonias afectadas.

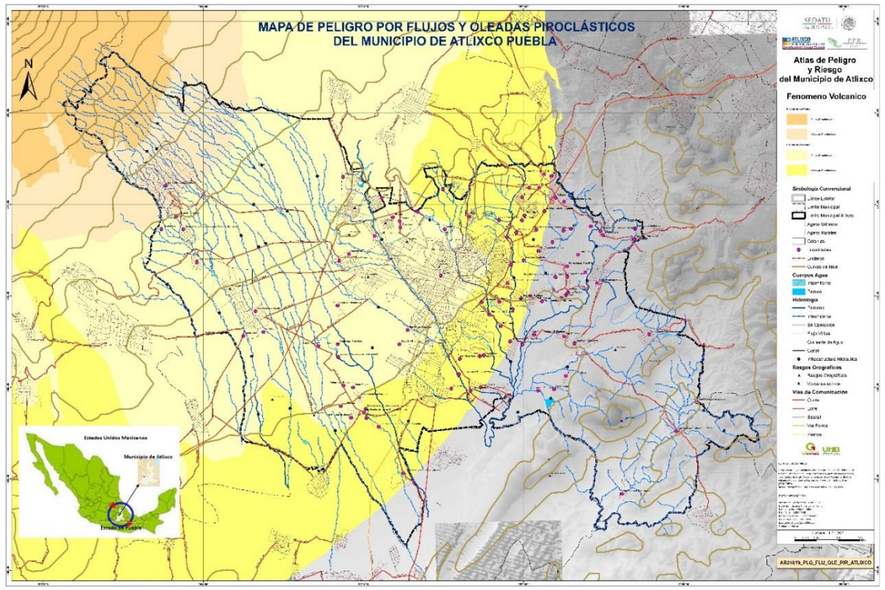
(Fuente: Elaboración Propia)

- **Flujos y Oleadas Piroclásticos**

Los flujos piroclásticos representan uno de los fenómenos más destructivos que se pueden presentar en un volcán en actividad. Los flujos piroclásticos son mezclas calientes de gases, cenizas y fragmentos de roca, que descienden por los flancos del volcán a velocidades de hasta más de 100 km por hora, con temperaturas por lo general arriba de 100 °C. La parte inferior y más densa del flujo se arrastra por el fondo de las barrancas y los valles, mientras que la parte superior, menos densa, puede sobrepasar los valles y alcanzar alturas importantes sobre el fondo de los valles e inclusive sobrepasar relieves topográficos.

Durante la generación de ambas es prácticamente imposible que cualquier cosa que se encuentre a su paso se salve, ya sean construcciones o seres vivos. El flujo es capaz de arrasar con construcciones bien edificadas y hasta con bosques enteros, sin dejar nada de pie, y pueden llegar a viajar distancias que van del orden de metros a centenas de metros. En erupciones de pequeña magnitud es poco probable que ocurra este fenómeno, porque las columnas eruptivas menores a 10 km no tienden a colapsarse.

Sin embargo, en erupciones, de mediana magnitud, que son de probabilidad intermedia (áreas anaranjadas), se podrán generar flujos y oleadas piroclásticas de hasta 12 km de longitud (área de exclusión). Mientras que en erupciones de gran magnitud que tienen menor probabilidad de ocurrencia, los flujos y oleadas pueden tener alcances de hasta aproximadamente 30 km, áreas en amarillo.



Mapa 39: Mapa de peligro por flujos y oleadas piroclásticas para el Municipio de Atlixco, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia)

De acuerdo al mapa de peligro por flujos y oleadas piroclásticas (Ver Mapa 39), el área afectada y la población por flujos y oleadas piroclásticas se muestra en la tabla (Ver Tabla 25).

.

Tabla 25 Área afectable por flujos y oleadas piroclásticas para el municipio de Atlixco

Peligro volcánico	Probabilidad	Población	Área km^2
Flujos piroclásticos	Intermedia	0	10.06
	Menor	85120	148.88
Oleadas piroclásticas	Intermedia	3153	27.48
	Menor	115317	206.75

(Fuente: Elaboración Propia)

De igual manera, en la siguiente tabla (Ver Tabla 26) se muestran los sistemas que estarían expuestos por este peligro volcánico.

Tabla 26 Sistemas expuestos por flujos y oleadas piroclásticas para el municipio de Atlixco

Sistema expuesto	Flujos piroclásticos	Oleadas piroclásticos	
		Probabilidad	
	menor	menor	intermedia
Colonias*	125	230	2
Viviendas	27722	33410	898
Hospitales	39	40	1
Escuelas	193	245	7
Supermercados	46	61	1
Hoteles	35	41	0
Bancos	28	29	0
Gasolineras	3	7	0
Presas	0	0	0
Unidades de Producción Pecuaria	25	28	0

*Ver anexo de colonias afectadas.

(Fuente: Elaboración Propia)

- **Lahares o flujos de lodo**

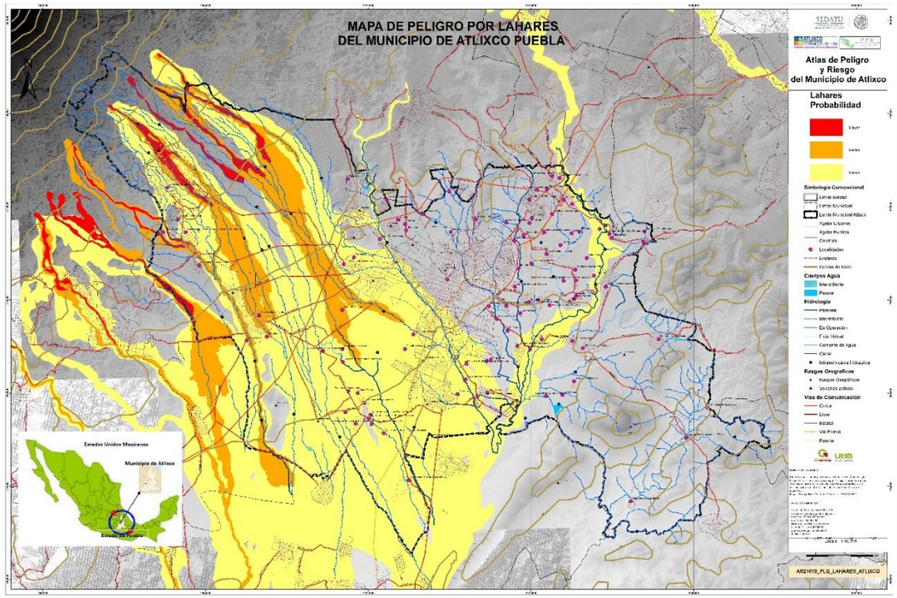
Los lahares comprenden una mezcla de materiales volcánicos (rocas, cenizas, pómez, escoria), mayoritariamente cenizas, movilizadas por el agua proveniente de la fusión del casquete glaciar, de un lago cratérico o por fuertes lluvias. El agua se mezcla con el material volcánico suelto que se encuentra en su camino y se transforma rápidamente en un flujo muy dinámico con características similares al concreto utilizado en la industria de la construcción.

Dada la densidad de esta mezcla, estos flujos pueden transportar grandes bloques de roca (de hasta varios metros de diámetro) y otros objetos como puentes, casas, árboles y vehículos. Son fenómenos muy destructivos, que pueden recorrer distancias muy grandes, pudiendo superar los 100 km, se han observado velocidades de 40 a 100 km/h.

El principal peligro para la vida humana es el enterramiento o el impacto de bloques y otros escombros. Las edificaciones y otros bienes que estén en el camino del flujo son destrozados, enterrados o arrasados. Se debe evacuar, aunque en ocasiones basta subir unos cuantos metros para estar a salvo.

En el volcán Popocatépetl los lahares de pequeña magnitud que son de mayor probabilidad de ocurrencia pueden alcanzar hasta 15 km (áreas en rojo), con varios metros de espesor en las barrancas más estrechas. Los lahares de volumen mediano y probabilidad de ocurrencia intermedia tendrían alcances de hasta 30 km (áreas anaranjadas), con espesores de 17 km en las barrancas más profundas.

Los lahares asociados a grandes erupciones que tiene menor probabilidad de ocurrencia (áreas en amarillo), podrían alcanzar más de 50 km en diversos sectores del volcán Popocatépetl, con espesores de 30 m en las barrancas más profundas y de 2 a 6 m en las planicies circundantes. Se debe tener en cuenta que se pueden formar lahares en las erupciones grandes del volcán Popocatépetl por la acumulación de ceniza en las laderas, así como en los arroyos tributarios y cauces hasta las partes bajas (Ver Mapa 40).



Mapa 40: Mapa de peligro por lahares para el Municipio de Atlixco, Puebla.

(Fuente: Elaboración Propia)

En la siguiente tabla (Ver Tabla 27) se muestra el área, la población y los sistemas que afectaría un escenario por lahares en el municipio de Atlixco, Puebla..

Tabla 27 Sistemas expuestos por para el municipio de Atlixco

Escenario para Lahares			
Sistema expuesto	**Probabilidad**		
	menor	**intermedia**	**mayor**
Área km2	141.15	31.02	4.96
Población	47568	6863	770
Colonias*	117	9	3
Viviendas	14501	1934	210
Hospitales	6	0	0
Escuelas	78	6	0
Supermercados	13	1	0
Hoteles	9	0	0
Bancos	0	0	0
Gasolineras	4	0	0
Presas	2	0	0
Unidades de Producción Pecuaria	6	0	0

*Ver anexo de colonias afectadas.

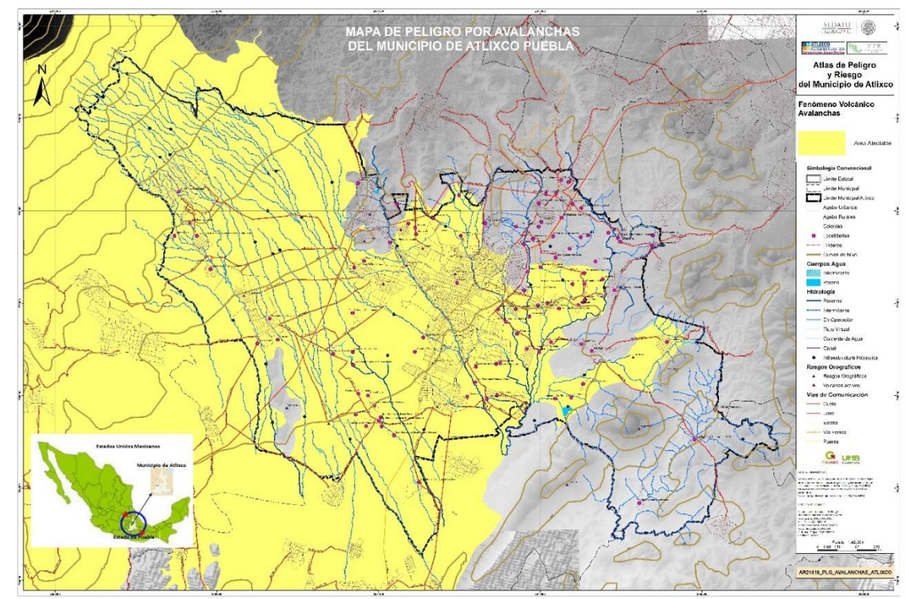
(Fuente: Elaboración Propia)

- **Derrumbes del edificio volcánico y avalanchas de escombros**

Las avalanchas de escombros son grandes deslizamientos que pueden ocurrir en un volcán, producidos por la inestabilidad de los flancos del mismo. Este tipo de fenómeno puede producirse por la intrusión de magma en el edificio volcánico (Santa Elena, 1982), por un sismo de magnitud mayor a 7 o por el debilitamiento de la estructura del volcán, produciéndose la destrucción parcial del mismo.

Las avalanchas de escombros pueden alcanzar grandes dimensiones que provocan la destrucción total de lo que encuentra a su paso. El alcance es de pocas decenas de kilómetros, aunque en ocasiones, debido a la acción de la gravedad, el material puede llegar a recorrer distancias de hasta 100 km y cubrir varios cientos de kilómetros, destruyen y sepultan todo lo que encuentra a su paso, alterando la topografía y provocando cambios considerables en la red hidrográfica.

Este fenómeno ocurre en el escenario de menor probabilidad. En erupciones de pequeña a mediana magnitud es poco probable que ocurran estos colapsos. Estos eventos son frecuentes y generalmente disparan erupciones de gran magnitud por perdida súbita de presión magmática. En el volcán Popocatépetl se han reconocido depósitos de tres avalanchas de escombros, en los sectores sur y suroeste, asociados con los volcanes antiguos Nexpayantla y Ventorrillo, antecesores del cono actual (Ver Mapa 41).



Mapa 41: Mapa de peligro por avalanchas para el Municipio de Atlixco, Puebla.

(Fuente: Elaboración Propia)

En la tabla (Ver Tabla 28) se describen los sistemas expuestos ante este peligro volcánico, que, de acuerdo al análisis espacial elaborado en este estudio, la afectación por este peligro es más del noventa por ciento del territorio del municipio de Atlixco, Puebla.

Tabla 28 Sistemas expuestos por avalanchas para el municipio de Atlixco.

Sistema expuesto	Total
Área km^2	207.61
Población	102135
Colonias	184
Viviendas	31603
Hospitales	41
Escuelas	229
Supermercados	49
Hoteles	39
Bancos	27
Gasolineras	7
Presas	3
Unidades de Producción Pecuaria	31

*Ver anexo de colonias afectadas.

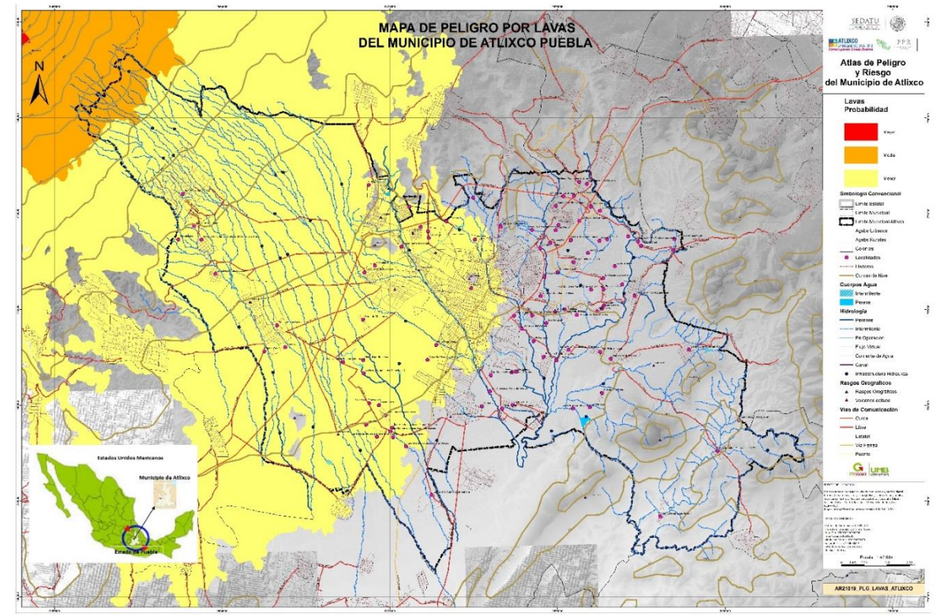
(Fuente: Elaboración Propia)

- **Flujos o coladas de lava y domos**

Es la manifestación volcánica más conocida, y presentan poco peligro para las personas. Los flujos de lava son derrames de roca fundida entre 800 y 1200 °C originados en un cráter o en fracturas de los flancos del volcán, que descienden por los flancos y las barrancas del mismo. La lava avanza a una velocidad cercana a un kilómetro por día, como se observó durante la erupción del volcán Paricutín (1943), que disminuye conforme va enfriando hasta solo unos pocos metros por día.

Estos flujos generan daño parcial o la destrucción total a las construcciones, por enterramiento, trituración o incendio. En el Popocatépetl la lava forma domos que actúan en ocasiones como “tapones” que dificultan la liberación de gases desde el interior del volcán, dando lugar a explosiones que pueden producir flujos piroclásticos. En este caso la lava podría sobrepasar su borde más bajo y formar derrames de lava que descenderían lentamente por las laderas del volcán Popocatépetl hacia las zonas más bajas avanzando alrededor de 2 km/hora con longitudes de hasta 2km. Su alcance estaría restringido a la parte alta del cono en los flancos norte, este y sureste que representar el escenario de mayor probabilidad (área roja).

Los frentes de los derrames de la lava pueden colapsar generando derrames piroclásticos cuando avanzan sobre pendientes pronunciadas. En caso de emitirse un mayor volumen de lava, en un escenario de probabilidad intermedia, se generarían derrames de lava con alcances de hasta 10 km desde el cráter. El área susceptible a inundarse por estas dimensiones desde bocas eruptivas laterales alineada en direcciones noreste-suroeste. El escenario de menor probabilidad de ocurrencia, pero de mayor magnitud seria la generación de un derrame de lava de gran grosor que se originaria en las laderas del volcán Popocatépetl en bocas eruptivas situadas alrededor de los 4,00 msnm y que podrían tener alcances de 23 km (área en amarillo), (Ver Mapa 42)



Mapa 42: Mapa de peligro por lavas para el municipio de Atlixco, Puebla.

(Fuente: Elaboración Propia)

De acuerdo con el mapa de peligros de lava la probabilidad de mayor no afectaría al municipio de Atlixco, sin embargo, para el escenario de probabilidad intermedio y menor el municipio se vería afectado, a continuación, se presenta la tabla (Ver Tabla 29) en donde se menciona el área de afectación, la población y los sistemas expuestos ante este peligro volcánico.

Tabla 29 Sistemas expuestos por lavas para el municipio de Atlixco.

Sistema expuesto	Probabilidad	
	menor	intermedia
Área km^2	161.295575	4.92
Población	82628	0
Colonias*	138	0
Viviendas	25482	0
Hospitales	39	0
Escuelas	187	0
Supermercados	46	0
Hoteles	32	0
Bancos	27	0
Gasolineras	3	0
Presas	0	0
Unidades de Producción Pecuaria	25	0

*Ver anexo de colonias afectadas.

(Fuente: Elaboración Propia)

- **ONDAS DE PRESIÓN O DE CHOQUE**

Se origina durante las erupciones explosivas debido al rápido movimiento del material, su energía disminuye con la distancia desde su centro de emisión, pero pueden tener la energía suficiente para causar daños a estructuras distantes. Erupciones moderadas pueden producir pequeños daños a distancias mayores a 10 km del volcán, especialmente rotura de cristales y heridas al proyectarse éstos.

- **SISMOS VOLCÁNICOS**

Los sismos volcánicos generalmente son de magnitudes menores o igual a 4 y en raras veces ocurren en sitios alejados del volcán. Cuando un sismo es de origen volcánico, el movimiento del suelo es rápido. Los daños producidos por ellos no son perceptibles, pero es importante destacar que muchas zonas volcánicas también son zonas sísmicas. Los efectos dañinos de los sismos volcánicos generalmente se detectan en las áreas aledañas, cerca de 10 km del cráter. Sin embargo, éstos pueden tener como consecuencia eventos tales como avalanchas de escombros, o contribuir en eventos como el colapso estructural del volcán mismo.

- **GASES VOLCÁNICOS**

Los volcanes emiten gases durante las erupciones, incluso si el volcán no está en erupción, las grietas del subsuelo facilitan el movimiento de los gases hacia la superficie a través de pequeñas aberturas por medio de las llamadas fumarolas. En ocasiones, la liberación de los gases se produce en grandes cantidades. Más del 90% de todo el gas emitido por los volcanes es vapor de agua, la cual en su gran mayoría es agua subterránea proveniente de lluvias y ríos.

Otros gases volcánicos comunes son el bióxido de carbono (CO_2), bióxido de azufre (SO_2), y varios otros compuestos de cloro (CL), flúor (F), monóxido de carbono (CO), y nitrógeno (N). El gas bióxido de azufre puede reaccionar con las gotas de agua de la atmósfera y producir lluvia ácida, la cual ocasiona corrosión y daños a la vegetación. El bióxido de carbono es más pesado que el aire, por lo que puede asentarse a mantenerse en áreas bajas en concentraciones letales para los seres vivos.

5.1.2 Sismos

Sismo (Terremoto, Temblor o Movimiento Telúrico): Los cuatro términos son sinónimos, aunque se le da especial énfasis a la expresión terremoto para ser asignada a los sismos destructores o que han causado víctimas. En esencia, un sismo es la propagación de ondas por la corteza terrestre producidas por la liberación súbita de energía acumulada por mucho tiempo debida a la interacción de las placas tectónicas. El origen de esas ondas o foco del sismo en profundidad es el hipocentro y el epicentro es la proyección en superficie del hipocentro, es decir el epicentro es el lugar en la superficie más cercano al hipocentro (Ver Fig. 26).

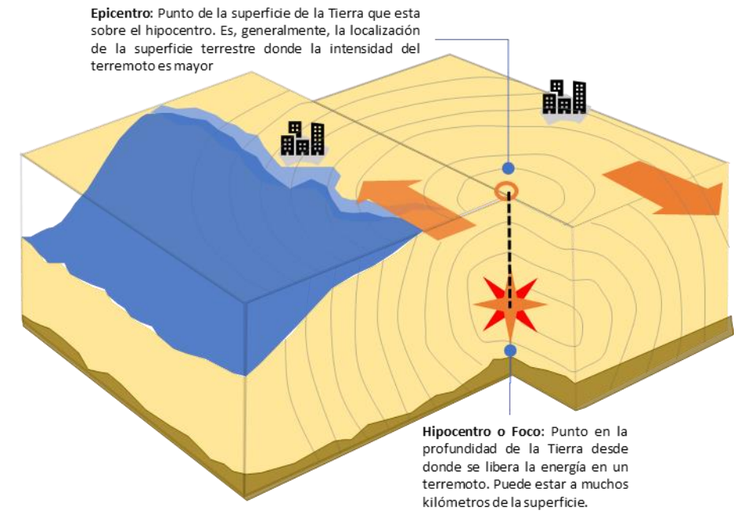


Fig. 26 Epicentro e Hipocentro de un sismo

.

Para explicar su origen existen dos teorías que se conocen como Deriva Continental y Tectónica de Placas. En 1910, el meteorólogo austriaco Alfred Wegener propuso la teoría de la "Deriva Continental" la cual establece que hace unos 200 millones de años los continentes actuales integraban un gran supercontinente llamado Pangea y que gradual y paulatinamente se resquebrajó y separó, hasta formar los continentes que conocemos.

No fue sino hasta los años sesenta que se propuso una teoría que explicaba razonablemente todas las observaciones. Esta dice que los 100 km más superficiales de la Tierra, que comprenden la corteza (continental y oceánica) y parte del manto superior, forman la litosfera (del griego lithos = piedra), dividida en placas que se mueven como los trozos rígidos de un cascarón esférico, unos respecto a otros, en diferentes direcciones y velocidades y pueden alcanzar desde algunos milímetros a centímetros por año (Ver Fig. 27). Este movimiento relativo es la causa principal de la formación de montañas, valles, cadenas volcánicas, etc., y es un proceso conocido como tectonismo.

El movimiento de estas placas y su interrelación (unas chocan entre sí, otras se desplazan en direcciones opuestas, etc.), hace que se generen en su interior grandes presiones, acumulación de esfuerzos, grandes rozamientos, lo cual por una parte hace que el material se funda originando los reservorios de magma que luego tratan de salir a la superficie originando los volcanes y, por otro lado, que el material se fracture y origine los sismos y las zonas de falla.

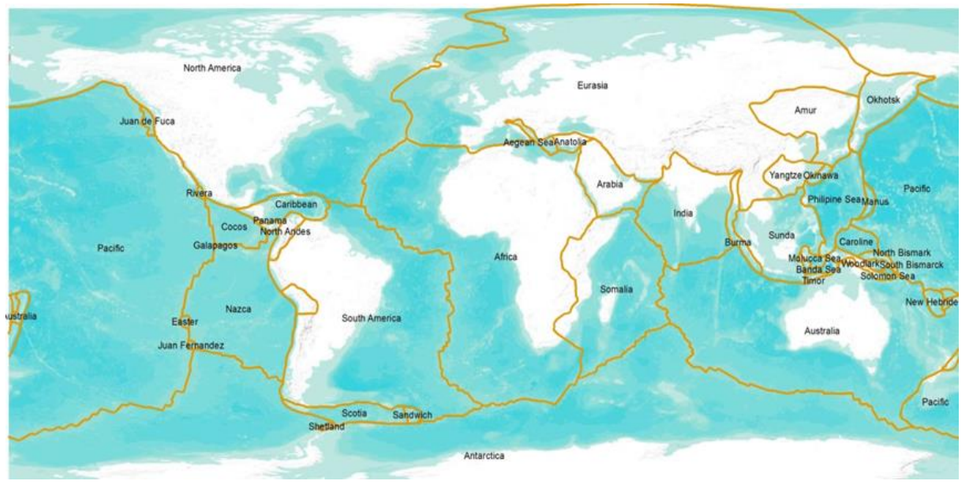


Fig. 27 Visualización de las Placas Tectónicas en los continentes

.

La actividad sísmica tampoco está distribuida uniformemente en la superficie; cómo podemos ver en la (Fig. 28), muestra la sismicidad global, los sismos se encuentran concentrados a lo largo de líneas o bandas, donde ocurren a profundidades que van desde la superficie en algunas zonas hasta cientos de kilómetros en otras.

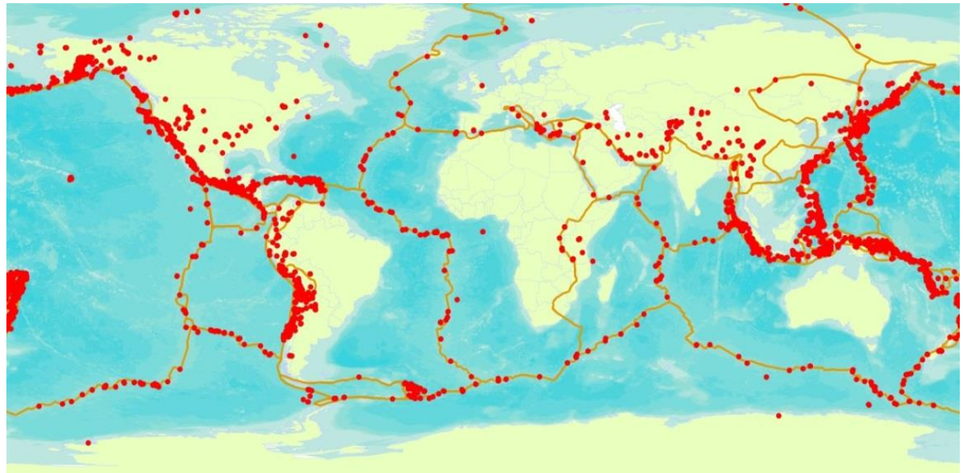


Fig. 28 Epicentros de la sismicidad global

.

No hay coincidencia entre los límites de las placas y los continentes; una sola placa puede contener completa o parcialmente continentes y áreas oceánicas. Los límites entre las placas de acuerdo a sus movimientos relativos pueden ser de tres tipos: divergentes, convergentes o transcurrentes (Ver Fig. 29). Las velocidades y las direcciones de interacción entre las placas cambian, en general, de punto a punto; cada placa se mueve siguiendo la dinámica interna de la tierra.

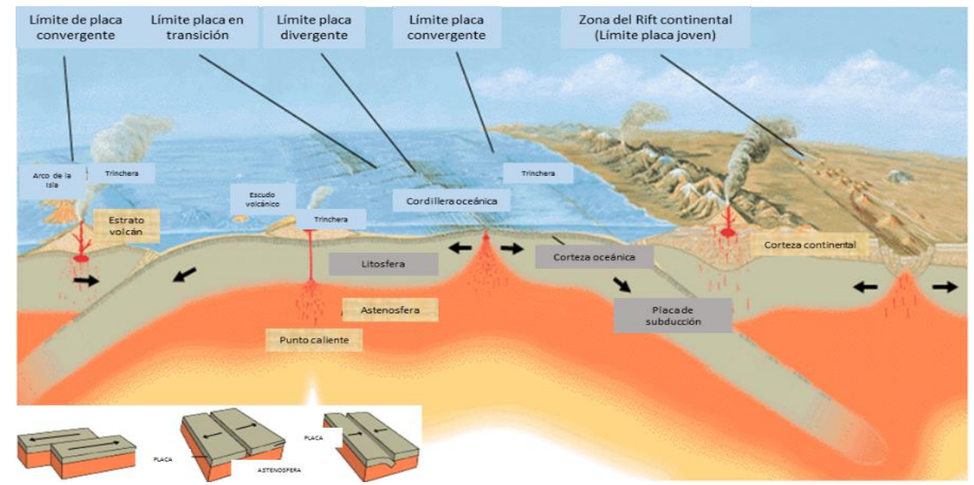


Fig. 29 Placas tectónicas: movimiento convergente, divergente y transcurrente

.

México, incluyendo su mar territorial, está repartido entre cinco placas tectónicas (Ver Fig. 30). Dos grandes, la de Norteamérica, que va desde México hasta el Ártico, y la del Pacífico, que, además de parte de México, incluye parte de Estados Unidos y casi todo el Pacífico del norte; una mediana, la placa de Cocos que ocupa parte del océano Pacífico, frente a las costas de México y Centroamérica, y se extiende al sureste hasta Costa Rica; y la pequeña placa de Rivera, que se encuentra en la boca del golfo de California.

Fig. 30 Interacción de las placas tectónicas en la República Mexicana

- **Escalas de intensidad y magnitud:**

Generalmente, al describir un gran sismo, además de su epicentro se mencionan valores de magnitud e intensidad; estos dos últimos términos aluden a fenómenos distintos y son frecuentemente confundidos.

La intensidad de un sismo se refiere a un lugar determinado; se asigna en función de los efectos causados en el hombre, en sus construcciones y, en general, en el terreno del sitio. Esta medición resulta un tanto subjetiva, debido a que la manera de cuantificación depende de la sensibilidad de cada persona y de la apreciación que se haga de los efectos.

En 1883, S. de Rossi y F. Forell propusieron la primera escala de intensidad, con grados de 1 al 10. En 1902, Giuseppe Mercalli propuso otra escala, de doce grados, modificada en 1931 por H. Hood y F. Newmann, para construcciones más modernas. A ésta se le conoce como Escala de Mercalli Modificada.

Escala de Intensidad Mercalli modificada abreviada.

I. No es sentido, excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.

II. Sentido sólo por muy pocas personas en posición de descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos delicadamente suspendidos pueden oscilar.

III. Sentido claramente en interiores, especialmente en pisos altos de los edificios, aunque mucha gente no lo reconoce como un terremoto. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como al paso de un camión. Duración apreciable.

IV. Durante el día sentido en interiores por muchos; al aire libre por algunos. Por la noche algunos despiertan. Platos, puertas y ventanas agitados; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.

V. Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas, y similares rotos; grietas en el revestimiento en algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.

VI. Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algún mueble pesado se mueve; algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.

VII. Todo el mundo corre al exterior. Daños insignificantes en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras comunes bien construidas; considerables en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas. Notado por algunas personas que conducen automóviles.

VIII. Daño leve en estructuras diseñadas especialmente para resistir sismos; considerable, en edificios comunes bien construidos, llegando hasta colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Los muros de relleno se separan de la estructura. Caída de chimeneas, objetos apilados, postes, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Cierta dificultad para conducir automóviles.

IX. Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras bien diseñadas pierden la vertical; daño mayor en edificios comunes bien construidos, colapso parcial. Edificios desplazados de los cimientos. Grietas visibles en el terreno. Tuberías subterráneas rotas.

X. Algunas estructuras bien construidas en madera, destruidas; la mayoría de estructuras de mampostería y marcos, destruidas incluyendo sus cimientos; suelo muy agrietado. Rieles torcidos. Deslizamientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.

XI. Pocas o ninguna obra de mampostería quedan en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Rieles muy retorcidos.

XII. Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.

Actualmente, se puede tener una medición indirecta de la intensidad de un sismo, de una manera instrumental, a través de valores de aceleración del terreno, medidos con sismómetros y acelerógrafos.

Para medir el tamaño de los terremotos en todo el mundo, se necesita una medida que no dependa de la intensidad, de la densidad de población ni del tipo de construcción. La manera de evaluar el tamaño real de un sismo está relacionada con la cantidad de energía liberada, que es independiente de la ubicación de los instrumentos que los registran.

En 1932, Charles Richter desarrolló una escala estrictamente cuantitativa, aplicable a sismos ocurridos en regiones tanto habitadas como no pobladas, utilizando las amplitudes de las ondas registradas por un sismógrafo. Precisó la escala de magnitud (M), basada en evaluación de numerosos sismos en la costa de California (Ver Tabla 30).

La conveniencia de designar los efectos de un terremoto mediante números (magnitud), ha requerido que el método se amplié a otros tipos de sismógrafos por todo el mundo. Consecuentemente existen varias escalas de magnitud. Éstas no tienen límite superior ni inferior; aunque en el extremo superior, el terremoto está limitado por la resistencia de las rocas de la litosfera.

Los terremotos con la mayor magnitud que se han presentado en el mundo son, en Chile, 1960, M=9.5; Alaska en 1964 con M=9.2; Indonesia en 2004 con M= 9.4; Japón en 2011 con M=9.0, entre otros.

Tabla 30 Escala Richter.

Magnitud de Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado.
3.5 – 5.4	A menudo se siente, pero solo causa daños menores.
5.5 – 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios.
6.1 – 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 – 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

(Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, http://www.smis.org.mx/htm/sm7.htm)

- **Sismicidad en México**

Nuestro país está inmerso en una gran zona generadora de sismos, y que seguramente éstos han ocurrido durante millones de años.

Los epicentros de sismos fuertes (mayores de 7), que ocasionan grandes daños, se ubican en la costa del Pacífico, a lo largo de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Sin embargo, también han ocurrido grandes sismos en el centro y sur de Veracruz y Puebla, Oaxaca y Chiapas, Estado de México y la península de Baja California, especialmente en la zona fronteriza con los Estados Unidos.

- **Regionalización Sísmica**

La República Mexicana se encuentra sujeta a la ocurrencia de grandes sismos originados en la costa del Pacífico y en el interior del continente y como se ha documentado a lo largo de la historia, varios de ellos han provocado enormes pérdidas humanas y materiales.

Empleando los registros históricos de grandes sismos en México, los catálogos de sismicidad y datos de aceleración del terreno como consecuencia de sismos de gran magnitud, se ha construido un mapa de Regionalización Sísmica de México realizado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE),(Ver Fig. 31).

Esta regionalización está conformada por cuatro zonas:

La zona A: es aquella donde no se tienen registros históricos, no se han reportado sismos grandes en los últimos 80 años y donde las aceleraciones del terreno se esperan menores al 10% del valor de la gravedad (g).

Las zonas B y C: son intermedias a las zonas A y D, presentan sismicidad con menor frecuencia o bien, están sujetas a aceleraciones del terreno que no rebasan el 70% de g.

Fig. 31 Mapa de las Regiones Sísmicas de la República Mexicana

(Fuente: Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2015)

En la zona D: han ocurrido con frecuencia grandes temblores y las aceleraciones del terreno que se esperan pueden ser superiores al 70% de la gravedad.

- **Sismicidad en el Estado de Puebla**

El primer estudio de sismicidad en el estado de Puebla y sus inmediaciones fue realizado por Figueroa (1974). El trabajo abarcó el periodo de 1523 a octubre de 1973 y consta de dos catálogos de eventos: el primero basado en una investigación histórica, reporta únicamente macrosismos para el lapso de 1523 a 1910; el segundo, basado en información instrumental, reporta sismos con magnitudes mayores a 5.0 grados para el periodo de 1911 a octubre de 1973. El total de sismos reportados es de ciento ocho para el primer periodo y ciento veintitrés para el segundo.

Por otra parte, Gómez y González Pomposo, analizaron la información de los boletines preliminares del Sistema de Información Sismotelemétrica de México (SISMEX) y de la Red Sísmica de Apertura Continental (RESMAC), reportan ciento cuatro eventos para el periodo de 1976 a febrero de 1983. En este estudio se tuvieron en consideración todas las magnitudes sísmicas.

Debido a la falta de instrumentación sismológica en la región, el 29 de noviembre de 1985 se puso en funcionamiento la Red Sísmica del Estado de Puebla (RESEP) de la Universidad Autónoma de Puebla, con la finalidad de monitorear la actividad sísmica generada en el estado y sus inmediaciones.

De diciembre de 1985 a junio de 1991 la RESEP registró cuatrocientos sesenta y dos eventos en la región.

Con respecto al análisis de la información recabada, los aspectos más relevantes que se encontraron son los siguientes:

- En cuanto a la magnitud de coda el 81% de los eventos calculados se encuentra en la banda entre 2 y 4, mientras que para el 2.16% de los eventos está entre 1 y 2. Finalmente, solo un evento tiene una magnitud mayor a 5 grados, y en los restantes diecisiete no fue posible hacer el cálculo.
- La mayor sismicidad se registró en los meses de mayo de 1986, 1988 y abril y mayo de 1989.
- De acuerdo con la distribución de los eventos dentro de la regionalización hecha en el estado de puebla por González Pomposo y De Gante, el 45% de los temblores se ubicó dentro de las áreas de Chiautla, Tehuacán, Acatlán, límites Puebla-Guerrero y límites Puebla-Oaxaca. Esto significa que la mayor actividad sísmica registrada se generó en el sur de la región, en los que se consideran los límites del contacto entre las Placas de Cocos y la Placa Norteamericana. La primera se mueve a una velocidad promedio de 4.1 cm/año al NE, mientras que la segunda lo hace a 2.8 cm/año al SW.

En la zona central de la región sólo se localizó el 14% de los eventos, dentro de las áreas de Zacatlán, Teziutlán, Atlixco, Puebla, Cd. Serdán y límites Puebla y Veracruz, lo que define una baja sismicidad en esta parte de la región.

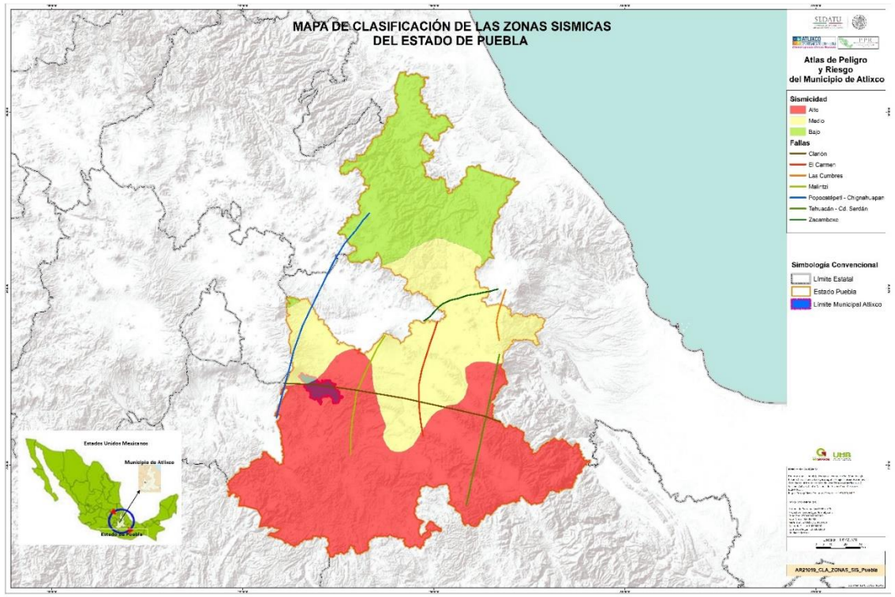
Por otro lado, fue significativo que en el área de los límites Puebla-México se localizaron treinta y cinco eventos registrados en mayo de 1986. Finalmente, en las áreas del Norte de la región únicamente se localizó un evento, lo cual demuestra la casi nula actividad sísmica de esta zona. Cabe hacer mención que el 32% del total de los eventos se localizó fuera del estado de Puebla y fuera de la región; cincuenta y seis y noventa y tres sismos respectivamente.

Para el Estado de Puebla y sus vecindades, se observa que esta entidad comprende tres zonas sísmicas de acuerdo al mapa actualizado de la regionalización sísmica propuesto por Figueroa A.J. (1973), éstas se clasifican de la siguiente manera (Ver Mapa 43).

Zona 1 color rojo: Tiene como latitud (17.13° a 18.69° N) y de longitud (96.13° a 99.45° W), y corresponde a la zona donde los sismos son frecuentes y abarca localidades como Tehuacán, Acatlán, Izúcar de Matamoros entre otras.

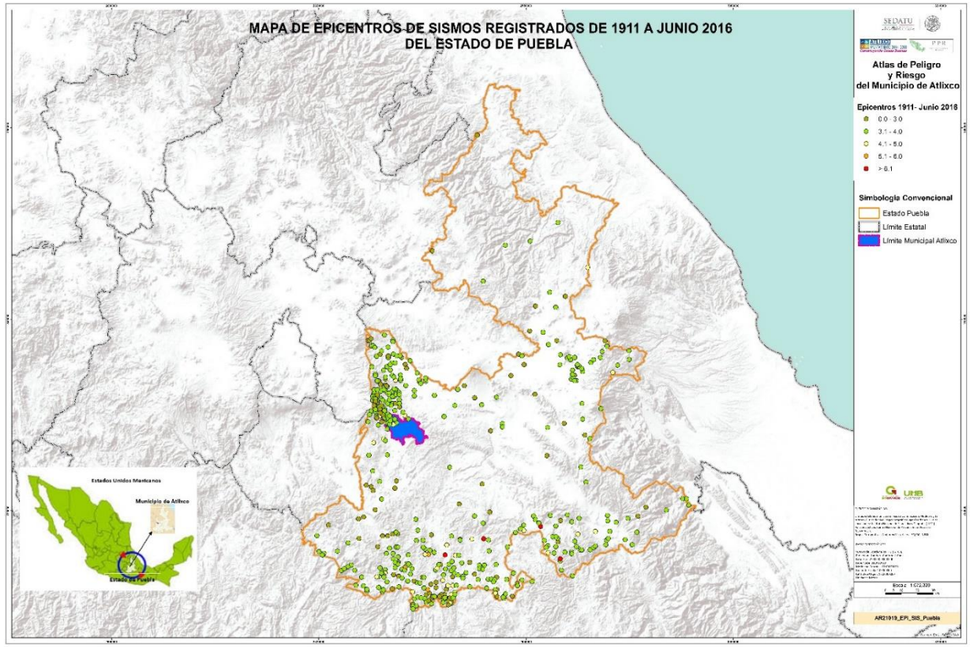
Zona 2 color amarillo: Tiene por coordenadas de latitud (18.69° a 19.5° N) y de longitud (96.8° a 99.45° W). En esta zona los epicentros son menos frecuentes y cubren localidades como San Martín Texmelucan, Cholula, Puebla, Oriental, Lara Grajales, Ciudad Serdán, Tecamachalco, Acatzingo, Atlixco, entre otras.

Zona 3 Color verde: En esta zona que se encuentra entre las latitudes (19.5° a 21.0° N) y de longitud (97.0° a 98.5° W), los sismos son muy raros.



Mapa 43 Clasificación de Zonas Sísmicas del estado de Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, con información del mapa actualizado de la regionalización sísmica propuesto por Figueroa A.J. (1973))



Mapa 44 Epicentros de los sismos registrados de 1911 a junio de 2016

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Servicio Sismológico de la UNAM)

La mayor actividad sísmica se localiza en el sur de la región; una mediana sismicidad se observa en la parte central, la que se encuentra asociada a la faja volcánica Trans-Mexicana y una casi nula sismicidad en el Norte (Ver Mapa 44).

Análisis a nivel local: municipio de Atlixco

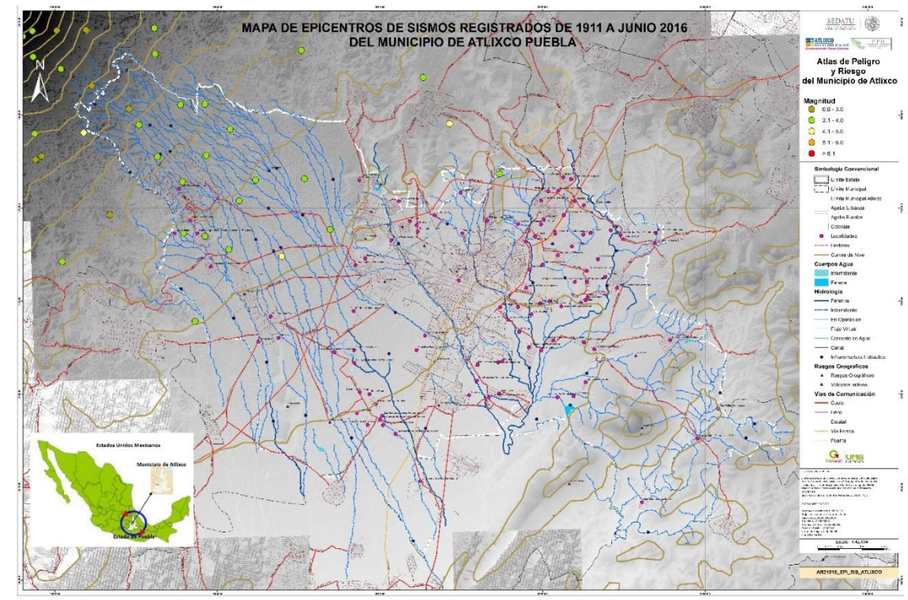
De acuerdo con el mapa de la Regionalización Sísmica de México de la CFE, el municipio de Atlixco se ubica en la zona C, esta presenta sismicidad de moderada intensidad, pero las aceleraciones no alcanzan a rebasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Con base en los registros sísmicos del Servicio Sismológico Nacional de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el municipio de Atlixco está afectado por la sismicidad que se genera principalmente en tres regiones:

Sismicidad volcánica

El peligro sísmico debido a la sismicidad generada por la actividad volcánica, es relativamente bajo, ya que para el periodo comprendido entre 1998 a mayo del 2017 dentro del municipio se han registrado un total de 25 sismos, los cuales oscilan entre las magnitudes 2 a 4. Por lo que se puede pronosticar que el peligro es relativamente bajo o nulo debido a este tipo de eventos. Aunque se han registrado epicentros de sismos en el municipio, no han generado daños a las estructuras ni a la población (Ver Mapa 45).

No existen antecedentes de daños importantes debido a la actividad sísmica volcánica en el municipio de Atlixco, sin embargo, habrá que analizar la densidad de población en cada zona.

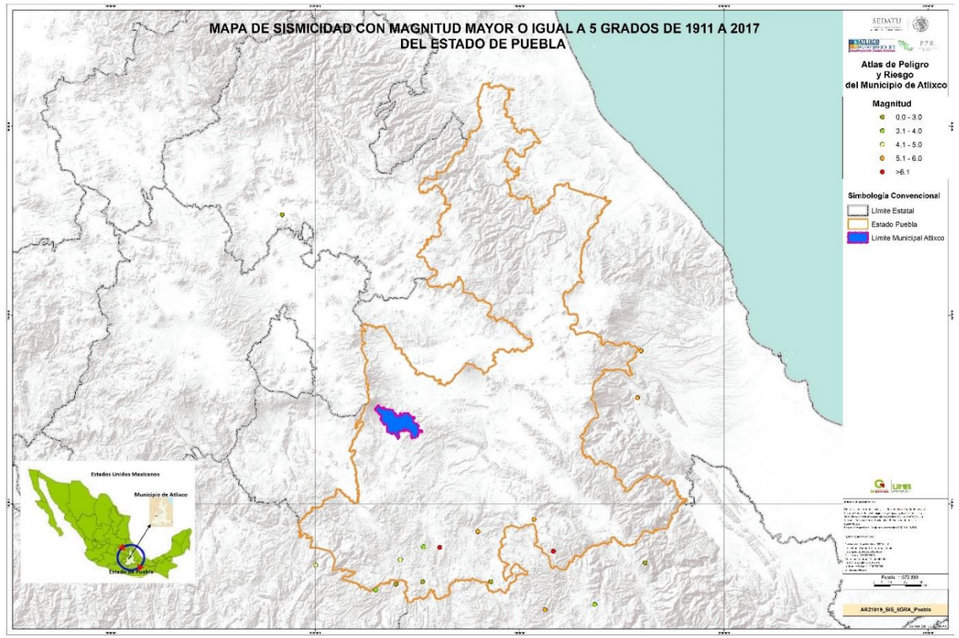


Mapa 45 Epicentros de sismos 1911-2016, Atlixco, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Servicio Sismológico de la UNAM)

Sismicidad local

De acuerdo con las magnitudes registradas por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) de la UNAM, dentro de la región del estado de Puebla en el periodo que abarca de diciembre de 1911 a febrero de 2017, la mayor parte de los sismos estuvo entre las magnitudes 2 a 4, y solamente se presentaron dieciséis sismos de magnitud mayor o igual a 5 grados y un sismo fuerte en 1999 de magnitud 7.0. Por lo que se espera que la mayoría de los sismos que se generen en la zona tengan magnitudes pequeñas; excepcionalmente, algunas podrían tener magnitudes mayores a cinco (Ver Mapa 46).



Mapa 46 Sismos de magnitud mayor o igual a 5, para el estado de Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Servicio Sismológico de la UNAM)

De acuerdo con Singh et al. (1999), desde 1864 hasta la fecha (marzo, 2017) se han presentado diez sismos con magnitud mayor a 6.5 en la región epicentral del Istmo de Tehuacán (Ver Tabla 31).

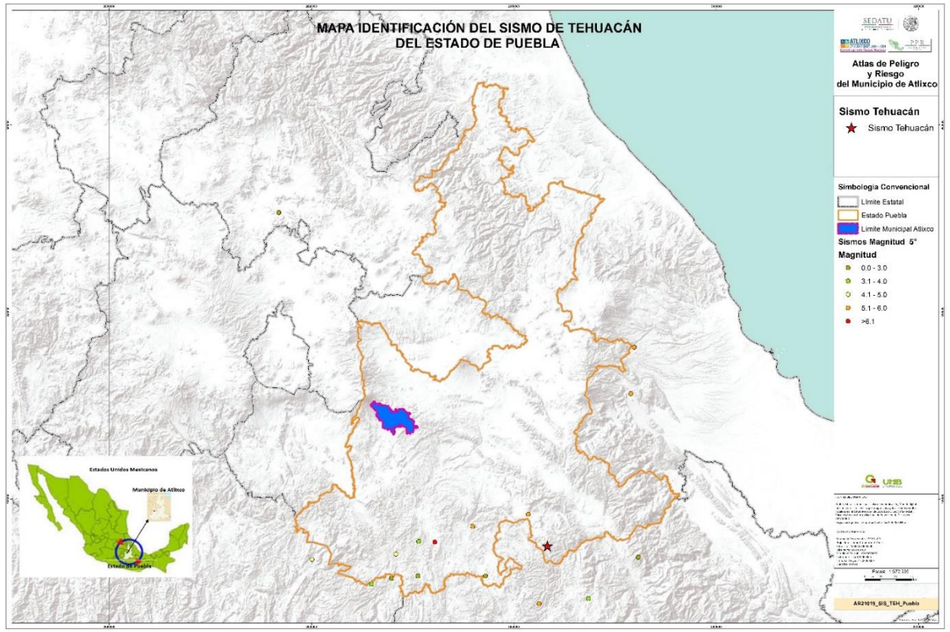
Tabla 31 Historia sísmica de la región (Singh et al. 1999)

Año	Mes	Día	Hora	Latitud	Longitud	Magnitud	Profundidad	Región
1864	10	3		18.70	97.40	7.30		
1879	5	17		18.60	98.00	7.00		
1928	2	10	04:39:37	18.26	97.99	6.50	84	
1931	1	15	01:50:40	16.34	96.87	7.80	40	Oaxaca
1937	7	26	03:47:13	18.48	96.08	7.30	85	Xalapa, veracruz
1945	10	11	16:53:02	18.32	97.65	6.50	95	Puebla
1959	5	24	19:17:43	17.72	97.72	6.80	80	Jáltipan, Veracruz
1973	8	28	04:50:51	18.30	96.53	7.00	82	Orizaba, Veracruz
1980	10	24	14:53:36	18.03	98.27	7.00	65	Huajuapan, Oaxaca
1999	6	15	20:42:04	18.13	97.53	7.00	63	Tehuacán, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Servicio Sismológico de la UNAM)

Entonces, se puede afirmar, que el periodo de retorno medio de temblores de magnitud mayor a 6.5 en la zona es de 20 a 30 años. (Capítulo 2, sismología: El temblor de Tehuacán del 15 de junio de 1999.)

Sin embargo, los efectos sísmicos generados por los temblores fuertes de la costa del Pacífico y dentro de la misma región (15 de enero de 1931 (7.8), 28 de agosto de 1973, (Mw 7.0), Orizaba; 24 de octubre de 1980 (Mw 7.0), Huajuapan; 15 de junio de 1999 (7.0), Tehuacán) representan un alto grado de peligrosidad en cualquier lugar del estado de Puebla, Oaxaca y Veracruz (Ver Mapa 47).



Mapa 47 Epicentros de los sismos con magnitud mayor a 6.5 de la región del sismo de Tehuacán. (Historia sismológica de la región, Singh et al. 1999)

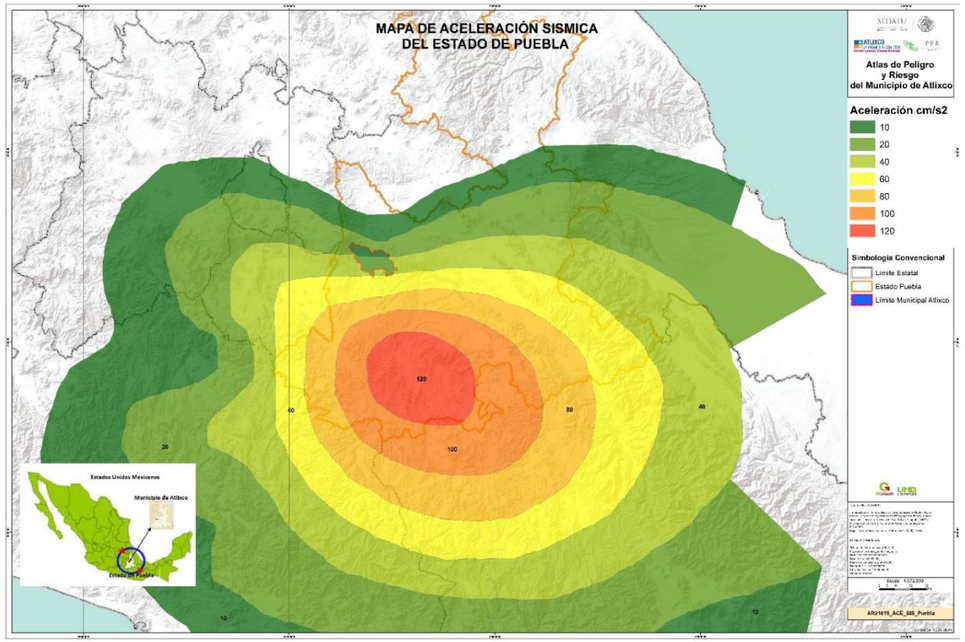
(Fuente: Elaboración Propia, con información del Servicio Sismológico de la UNAM)

El 15 de junio de 1999, un temblor de magnitud Richter Ms 6.5 (Mw 7.0) se sintió en la misma área en que se registró el temblor de Huajuapan de León el 24 de octubre de 1980. El epicentro se ubicó en 18°20'N y 97.47'O. Con una profundidad de 60 a 80 km. La ciudad más próxima al epicentro fue Tehuacán. El sismo fue registrado por la red del Servicio Sismológico Nacional del Instituto de Geofísica de la UNAM (Ver Mapa 47).

El estudio de los sismogramas registrados en Ciudad Serdán a 85 km del epicentro, permite afirmar que las réplicas fueron pequeñas, tanto en magnitud como en número.

Singh et al. (1999) ha considerado que hubo directividad del movimiento a partir de la fuente hacia el noroeste. Esto significa que la propagación del movimiento siguió ese rumbo. La ocurrencia de la directividad del movimiento no se asocia, por lo general, con la ocurrencia de mayores daños (mayor intensidad) en ese mismo rumbo.

En el mapa (Ver Mapa 48), se presenta un mapa modificado con curvas de igual aceleración máxima del terreno (curvas de isoaceleración), obtenido por Singh et al. (1999).



Mapa 48 Modificado de curvas de isoaceleración, cm/s2 (Singh et al., 1999)

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Servicio Sismológico de la UNAM)

Considerando los registros históricos de más de 154 años sobre la sismicidad que se ha presentado en la región epicentral del sismo de Tehuacán, consideramos que el mayor peligro sísmico al que está expuesto el municipio de Atlixco, Puebla, se debe a la sismicidad proveniente de esta zona.

Sismicidad regional

El movimiento relativo entre la placa de Cocos y la placa de Norteamérica, sobre la cual yace México, es variable, lo que provoca deslizamientos repentinos en la zona de contacto. Cada vez que se acumula energía suficiente en un cierto segmento de la falla ocurre un desplazamiento que puede llegar a ser del orden de uno a tres metros, originando así un terremoto. En algunas partes de la costa mexicana, como ciertas zonas de Oaxaca y Guerrero, por ejemplo, los grandes sismos parecen repetirse aproximadamente cada 35 o 40 años; éste parece ser el lapso necesario para acumular suficiente energía capaz de generar un gran sismo.

Al introducirse por debajo de la costa sur de México, la placa de Cocos se rompe y deforma produciendo sismos profundos (80 a 100 Km. de profundidad) que reflejan los esfuerzos a que está sometida la placa al penetrar al interior de la tierra. Si bien los sismos en el interior de la placa son menos frecuentes y de magnitudes generalmente menores que los temblores de subducción, aquéllos ocurren hacia el interior del país, donde se encuentran los mayores centros de población. Su ocurrencia cercana a concentraciones urbanas produce daños relativamente altos para las magnitudes de los sismos en cuestión. Los sismos de Orizaba, Ver. En 1973 y de Huajuapan de León, Oaxaca. En 1980, Tehuacán en 1999, ocasionaron graves daños en estas localidades.

Las características geológicas y sismotectónicas del país, sumadas a la existencia de grandes núcleos de población, hacen que los estudios de efecto de sitio (p.ej. evaluar factores de amplificación del suelo, comparar metodologías, o examinar fenómenos de no-linealidad), adquieran una especial trascendencia. Es por ello que los estudios de microzonificación sísmica, se deben de realizar en todas las ciudades importantes, con el fin de mitigar el riesgo sísmico.

La mitigación del Riesgo Sísmico se ha convertido en una necesidad imperiosa, en los últimos años, dado el impacto negativo de los sismos en la economía y las significativas pérdidas de vidas humanas que producen, a pesar de ser menos frecuentes que otros desastres naturales.

En México se le ha concedido una gran importancia a las investigaciones para la reducción del riesgo sísmico, debido a su alta sismicidad.

Los mapas de microzonificación sísmica pueden ayudar a los ingenieros y arquitectos, expertos en planeamiento territorial y autoridades locales, en las tareas de prevención y mitigación del riesgo sísmico, mediante la reducción de la vulnerabilidad de los elementos sometidos a riesgo: las personas, viviendas, instalaciones críticas y el medio natural.

Estas acciones resultan de vital importancia para el desarrollo sostenible y sustentable de las grandes ciudades que constituyen complejos sistemas, donde todas las actividades vitales están interrelacionadas.

La microzonificación sísmica consiste en establecer zonas de suelos con comportamiento similar durante un sismo, de manera que pueden definirse allí recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes. Para cada una de las zonas, además de especificarse la fuerza sísmica posible, deben identificarse los tipos de fenómenos asociados que pueden desencadenarse a raíz del sismo.

El conocimiento de la actividad sismológica y de su distribución geográfica contribuye a la determinación de las fuentes sísmicas de la región y a la elaboración de mapas con fines de ingeniería y prevención de desastres sísmicos y volcánicos.

Como se sabe, los sismos de profundidad media y de fallamiento normal en la zona de subducción de la Placa de Cocos bajo la de Norteamérica han causado daños a diversas ciudades y poblados del altiplano mexicano. Particularmente los sismos del 19 de septiembre de 1985 (8.1) y 20 de septiembre (7.6), los que tuvieron graves daños principalmente en la Ciudad de México, Ciudad Guzmán, en Jalisco entre otros.

5.1.3 Licuefacción

Es la pérdida de la capacidad de carga de los suelos arenosos saturados de agua, debido a la vibración producida por un sismo; los edificios sobre estos suelos pueden presentar grandes hundimientos, y en casos extremos, colapso por volteo.

El Municipio de Atlixco forma parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y colinda con la provincia llamada Sierra Madre del Sur. Actualmente esta provincia se describe como una faja volcánica en la que se localizan diversos aparatos y rocas volcánicas, asociadas a grandes fallas y fracturas, más que un "eje" continuo de dichos materiales. La faja volcánica tiene un ancho variable que va de los 10 km a los 300 km y una longitud de 900 km.

Dicho municipio se encuentra ubicado en la zona Geológica más reciente, pues es el resultado del vulcanismo, está representado por enormes volúmenes de lavas y piroclastos de composición basáltico-andesítica que constituye la provincia de la faja volcánica mexicana, la erosión de las rocas expuestas ha dado origen a la formación de toda una serie de depósitos continentales; tanto clásticos como carbonatados y evaporíticos.

En la zona se pueden encontrar rocas ígneas extrusivas intermedias, pertenecientes al terciario superior, las cuales se originan a partir de materiales existentes en el interior de la corteza terrestre, cuando estos materiales logran llegar a la superficie a través de erupciones y derrames volcánicos; al enfriarse y solidificarse la lava, da origen a las llamadas Rocas Ígneas Extrusivas. Por su composición mineralógica predominante, las intermedias son de textura de grano grueso, compuestas predominantemente por plagioclasas sódicas y feldespatos potásicos. No hay presencia de cuarzo, aunque en algunas variedades se encuentra en bajas cantidades.

De acuerdo a la información geológica analizada anteriormente, por la ubicación geográfica, de las características geomorfológicas y geotécnicas propias de la zona se concluye que en el municipio de Atlixco no existen las condiciones para que este fenómeno se presente.

Aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 10, 100 y 500 años

El conocer solamente las magnitudes de los temblores, no da una idea clara del impacto que éstos producirían en una determinada región, ya que pueden presentarse a diferentes profundidades y distancias de los asentamientos humanos. Por su parte, los mapas de intensidades de Mercalli, describen de manera sencilla la distribución espacial de los efectos en el terreno y las construcciones, asociada a la ocurrencia de un evento en particular que, si bien permiten plantear un escenario a futuro, no indican cuál es la probabilidad de que ello ocurra nuevamente. En el caso de los mapas de peligros (ver anexo), se da a conocer la distribución de las intensidades en términos de aceleración del terreno asociada a periodos de retorno. Esta información, aunque no directamente aplicable en la población con fines de protección civil, es un elemento fundamental para especialistas en el diseño de nuevas construcciones y modificación o refuerzo de obras civiles existentes.

Para facilitar la definición de niveles de peligro para un sitio dado se eligieron los mapas más representativos, en función de la vida útil de la gran mayoría de las construcciones, correspondientes a periodos de 10,100 y 500 años. En ellos se muestran aceleraciones máximas para terreno firme para un periodo de retorno dado (tiempo medio, medido en años, que tarda en repetirse un sismo con el que se excede una aceleración dada. Para el municipio de Atlixco, las aceleraciones del terreno (cm/s^2) para periodos de retorno de 10,100 y 500 años son (Ver Tabla 32):

Tabla 32 Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. CENAPRED. 2006

Estado	Municipio	Tr=10	Tr=100	Tr=500
Puebla	Atlixco	34	81	135

(Fuente: Centro Nacional de Prevención y Desastres, 2006)

Mapas resultantes

Peligro Sísmico para el municipio de Atlixco, de acuerdo al Programa de Diseño Sísmico PRODISIS v.4.1 de la Comisión Federal de Electricidad, (CFE).

Se calcula el Espectro de Respuesta para periodos de retorno de 10,100 y 500 años (Ver Fig. 32 a la Fig. 34).

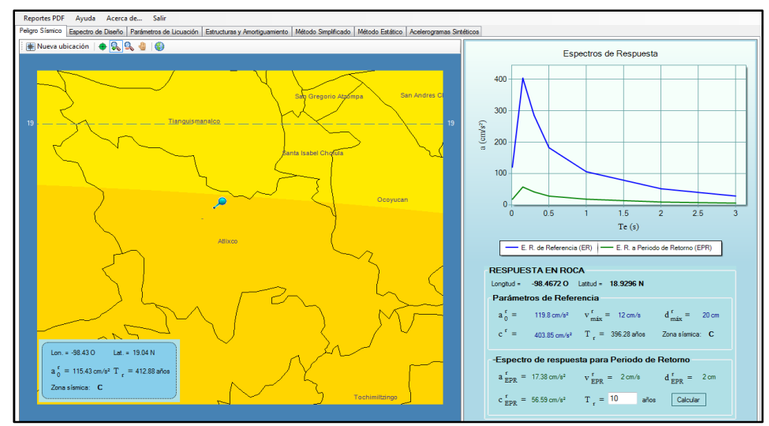


Fig. 32 Parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento para un periodo de retorno de 10 años para el municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia, Programa de Diseño Sísmico PRODISIS V4.1)

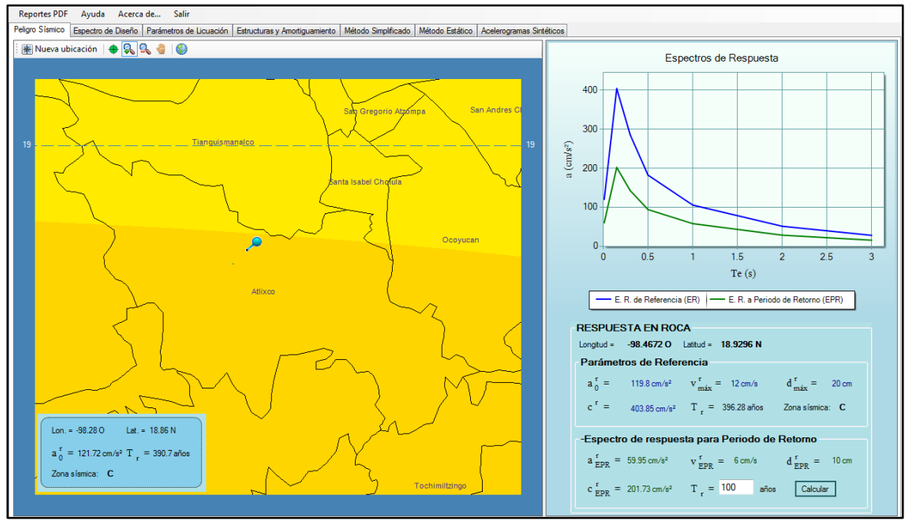


Fig. 33 Parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento para un periodo de retorno de 100 años para el municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia, Programa de Diseño Sísmico PRODISIS V4.1)

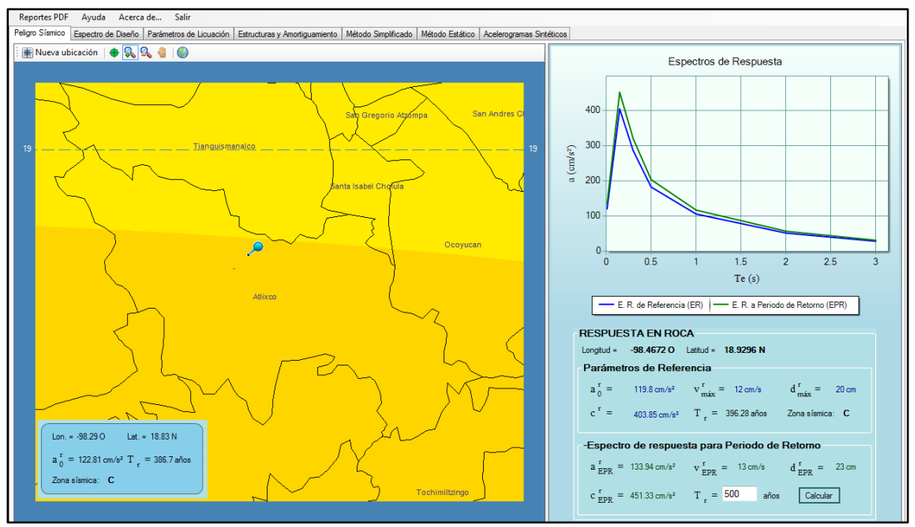


Fig. 34 Parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento para un periodo de retorno de 500 años para el municipio de Atlixco.

(Fuente: Elaboración Propia, Programa de Diseño Sísmico PRODISIS V4.1)

Conclusiones

Con base en al análisis realizado anteriormente sobre la sismicidad para el estado de Puebla y particularmente para el municipio de Atlixco, se determinaron tres zonas debido al peligro sísmico:

Una referente a la sismicidad que se origina debido a la actividad volcánica y cuyas magnitudes son relativamente bajas generalmente en un rango de 2 a 4, por lo que se considera que el peligro sísmico debido al vulcanismo es bajo.

La región donde se generó el sismo de Tehuacán, donde se han sucedido varios sismos que han generado daños importantes a los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz, se considera que es la zona de peligro sísmico alto para el municipio de Atlixco.

La actividad sísmica que se genera en el pacífico mexicano, debido a la zona de subducción entre la placa de Cocos y la norteamericana, también es una zona de peligro alto, ya que se han generado sismos de magnitud importante, pero debido a que los epicentros se encuentran aproximadamente a 300 km de distancia, sus efectos podrían ser menores, pero dependiendo del tipo de suelo podría haber amplificación de ondas sísmicas.

5.1.4 Tsunamis

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

De acuerdo con el CENAPRED, un Tsunami es “una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto; a las costas pueden arribar con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales. La gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino”[24].

Los tsunamis se clasifican en tres tipos, dependiendo de la distancia o tiempo de desplazamiento desde su lugar de origen hasta la zona afectada:

- Tsunamis locales. El lugar de arribo a la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del maremoto; por tiempo de desplazamiento: a menos de una hora. Ejemplo: el generado por un sismo en la Fosa

[24] (CENAPRED, 2005)

Mesoamericana frente a Michoacán el 19 de septiembre de 1985, que tardó sólo 30 segundos para llegar a Lázaro Cárdenas, y 23 minutos a Acapulco.

- Tsunamis regionales. El litoral invadido está a no más de 1,000 km o a pocas horas de viaje de la zona de generación. Ejemplo: el provocado por un sismo en las costas de Colombia el 12 de diciembre de 1979, que tardó 4 horas para llegar a Acapulco.
- Tsunamis lejanos (remotos, transpacíficos o teletsunamis). El sitio de arribo está muy alejado, en el Océano Pacífico, a más de 1,000 km de distancia de la zona de generación, a aproximadamente medio día o más de viaje. Ejemplos: el ocurrido tras un sismo en Chile el 22 de mayo de 1960; tardó unas 13 horas en llegar a Ensenada (México), y el maremoto generado en Japón el 16 de mayo de 1968; demoró 14 horas en arribar a Manzanillo (México).

Este tipo de fenómenos no se presentan en el municipio de Atlixco.

5.1.5 Inestabilidad de laderas

El análisis de susceptibilidad se refiere al proceso de cuantificación relativa de la importancia que puede tener cada uno de los factores intrínsecos o condicionantes en la posibilidad de que se produzcan fenómenos de inestabilidad de laderas. Con la suma de los pesos de cada uno de los factores considerados (contribución) se obtienen diferentes valores de susceptibilidad en una determinada área de estudio. Estos valores de susceptibilidad se clasifican generalmente en categorías genéricas: muy alta, alta, moderada, baja y muy baja. Lo que indica la combinación de ciertos factores y/o atributos naturales y antropogénicos para que un terreno sea considerado como de muy alta, o muy baja, según sea el caso, propensión al fenómeno de inestabilidad.

De acuerdo con la *Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos* (CENAPRED, 2016) y su anexo 2 con la metodología del CENAPRED para la Elaboración del Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas (Huesca y coautores, 2015), la susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que pueda ocurrir inestabilidad, y se refiere solamente a factores intrínsecos de los materiales naturales que componen una ladera o talud, sin considerar factores desencadenantes, como la precipitación o la sismicidad (Almaguer, 2005; González de Vallejo, 2002; IUGS, 1997; Leroi, 1997; Suárez, 1998), y es el primer paso para evaluar el peligro por inestabilidad de laderas.

- **Análisis de variables a considerar según casos documentados: inventario**

En el desarrollo del presente Atlas y conforme a lo indicado en la metodología del CENAPRED para la Elaboración del Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas, los principales factores considerados para determinar la susceptibilidad del terreno al fenómeno de inestabilidad fueron: la pendiente, la litología y el uso de suelo y vegetación. Para el caso especial de caídos y derrumbes también se consideró el grado y la densidad de fracturamiento de las formaciones rocosas, la inclinación del terreno y la presencia de vegetación en las formaciones rocosas, no como factor favorable a la estabilidad, sino como desfavorable a ésta. Para el caso de flujos de lodo y lahares se consideró además la cercanía a barrancas, ríos y arroyos, que son los accidentes topográficos a través de los cuales los materiales removidos se canalizarán, transportarán y/o depositarán ladera abajo. En los siguientes apartados se incluyen tablas con los valores de las adoptados

Los pesos específicos de cada variable se determinaron con base en el análisis de los pocos casos documentados disponibles para el municipio Atlixco y de las visitas de campo realizadas en diversos sitios donde se aplicó el formato de evaluación de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas, publicado por el CENAPRED en la “Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos”, Capítulo V del libro de Fenómenos Geológicos, de la Serie Atlas Nacional de Riesgos (Mendoza y Domínguez, 2006).

El mayor número de eventos que han afectado viviendas e infraestructura del municipio, han sido documentados en la cabecera municipal de Atlixco. Especialmente los sucedidos en agosto y septiembre de 2010 (http://www.lajornadadeoriente.com.mx/2010/07/09/puebla/atl211.php) y en agosto de 2016, en el cerro de San Miguel (Ver Fig. 35), donde se hace mención sobre la ocurrencia de algunos desprendimientos de roca que afectaron algunas viviendas.

Fig. 35 Vista general del cerro de San Miguel, localizado en la zona centro de la ciudad de Atlixco, Puebla

(Fuente: Elaboración Propia, fotografías tomadas por recorrido en campo)

Para el caso más reciente, se tuvo oportunidad de documentar la caída de un bloque de roca que destruyó parcialmente una vivienda. No se tienen mayor información al respecto, pero de acuerdo con el testimonio del personal de la Dirección Municipal de Protección Civil, el fenómeno sucedió durante las fuertes lluvias de agosto de 2016. En este caso, el caído destruyó parcialmente una vivienda, en la cual el bloque derribó uno de los muros de dicha vivienda (Ver Fig. 36). Según información proporcionada por los propietarios de la vivienda, no es la primera vez que suceden caídos en ese lugar, ya que en la década de los setenta sucedieron caídos con similares consecuencias.

Como resultado del caído en ese año, la autoridad municipal implementó algunas medidas de mitigación consistentes en la construcción de muros de mampostería en la base de los bloques de roca (Ver Fig. 36), los cuales funcionan como soporte para detener las masas de roca potencialmente inestables. Un aspecto que contribuye a la formación de bloques y a la ocurrencia de caídos es presencia de arbustos, cuyas raíces aumentan el grado de fracturamiento y funcionan como cuñas acelerando el proceso de inestabilidad.

Fig. 36 Bloque de roca que cayó sobre la vivienda ubicada en el tercio medio de la ladera del cerro de San Miguel. El bloque destruyó la barda de un cuarto ubicado en la parte trasera de la vivienda. Nótese el hueco dejado por el caído

(Fuente: Elaboración Propia, fotografías tomadas por recorrido en campo)

Otros aspectos que contribuyen al desprendimiento de los bloques de roca son:

a) La existencia de fracturas de enfriamiento de la roca volcánica (Ver Fig. 37)
b) La disposición de planos de fracturamiento (orientación y echado aparente)
c) La densidad de fracturamiento y
d) Las características físicas de los minerales que constituyen los depósitos de roca

Todos estos aspectos fueron considerados en el análisis y la selección de los pesos relativos que se asignaron al mapa temático de geología (litología), con el cual se elaboraron los mapas de susceptibilidad a caídos o derrumbes que se describen más adelante.

Fig. 37 Presencia de arbustos y árboles cuyas raíces ejercen un efecto de cuña que favorece la formación de bloques y el desprendimiento de los mismos

(Fuente: Elaboración Propia, fotografías tomadas por recorrido en campo)

Un caso similar al del cerro de San Miguel se observó en los cantiles de roca aledaños al poblado de Santa María Cosamaloapan, al sureste de la ciudad de Atlixco. En este sitio, que está comenzando a urbanizarse, se pudieron observar bloques de roca de más de 18 m de alto, con tendencia a presentar inestabilidad, ya que existen casos en los que los bloques tienen fracturas de más de un metro de espesor y en algunos casos han perdido el sustento en su base.

Algunas imágenes de estos bloques se muestran en las imágenes de la Fig. 38, donde se aprecian fracturas y huecos generados por el intemperismo y el enfriamiento durante su formación.

Fig. 38 Bloque susceptibles de presentar vuelcos y desplomes en el cerro aledaño a la comunidad de Santa María Cosamaloapan

(Fuente: Elaboración Propia, fotografías tomadas por recorrido en campo)

- **Nivel de Análisis**

Este fenómeno se analizará con base en el Nivel 3 descrito en los Términos de referencia de la SEDATU.

- **Metodología**

5.1.6 5.3.1 Selección de factores condicionantes para el análisis de susceptibilidad

La forma más frecuente de presentar la propensión del terreno al fenómeno de inestabilidad de laderas es a través de mapas de susceptibilidad. Para obtener estos mapas no existe un procedimiento estandarizado, ya que en cada caso, región o país depende de la calidad y disponibilidad de información de las principales variables que intervienen en el fenómeno.

En este sentido, lo más común es que se realice una combinación, mediante el álgebra de mapas, de las variables que influyen en la inestabilidad del terreno, las cuales son representadas mediante mapas temáticos de factores condicionantes (topografía, litología, pendientes, estructuras geológicas, hidrología, etc.), asignando un peso relativo a cada factor según su contribución a la inestabilidad.

La suma de todas estas variables representadas con mapas (capas temáticas), con su grado de influencia, da como resultado el mapa de susceptibilidad, que representa la mayor o menor propensión del terreno al fenómeno de inestabilidad.

Tomando como referencia los trabajos de Suárez (1998) y Ambalagan (1992), relacionados con la elaboración de mapas de susceptibilidad, se sugiere tomar en consideración un mínimo de tres factores condicionantes:

- Pendiente de la ladera
- Características geológicas (litología y, de ser posible, geología estructural)
- Cobertura vegetal y uso de suelo

Cada uno de estos factores se clasifica en diversas categorías, que tendrán diferente influencia (peso relativo) en la estabilidad o inestabilidad del terreno y, por tanto, en el grado de susceptibilidad a la inestabilidad. Otro aspecto relevante a considerar en el análisis de susceptibilidad, según Suárez (1998), es la ocurrencia previa de estos fenómenos en el área de estudio. Por lo tanto, la compilación de un inventario de procesos de inestabilidad, lo más detallado posible, es importante para considerar la componente histórica o de antecedentes de inestabilidad en un territorio determinado, además de que permite determinar la influencia de las principales variables que influyeron en los deslizamientos.

El inventario permite por otro lado fundamentar el proceso de ponderación (elección de los pesos específicos o relativos para cada uno de los factores condicionantes) y ajustar y validar la categorización de los valores de susceptibilidad en los mapas resultantes.

Con base en el registro histórico de casos documentados y considerando la metodología del CENAPRED, en particular el Formato de Estimación de la Amenaza por Deslizamiento de Laderas, del Capítulo V de la Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (Mendoza y Domínguez, 2006), se especifican las categorías consideradas para cada uno de los factores condicionantes de la inestabilidad: factores topográficos e históricos (pendientes, altura, antecedentes); factores geotécnicos (litología y discontinuidades) y factores geomorfológicos y ambientales (cobertura vegetal, uso de suelo, así como aspectos relacionados con el historial de ocurrencia de inestabilidades en la misma área), para los cuales cada uno de los factores involucrados cuenta con diferentes intervalos, diferenciados con un elevado nivel de detalle, para las cuales ya se propone la asignación de pesos específicos.

Para el presente Atlas, y como se específica en la metodología del CENAPRED para la elaboración de Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas (Huesca y coautores 2015), las variables a considerar en este Atlas son:

1. La pendiente del terreno, como parte del conjunto de factores topográficos;
2. La litología, como parte de los factores geotécnicos y
3. La cobertura vegetal-uso de suelo, como parte del conjunto de factores ambientales.

Las cartografías de estos atributos (topografía, litología, cobertura vegetal y uso de suelo), a escala regional, pueden ser obtenidas de las diversas instancias nacionales que tienen a disposición, como información pública y gratuita, en sus páginas de internet o mediante solicitudes formales. Posteriormente, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, se sobreponen con sus respectivos pesos específicos a fin de obtener el mapa de susceptibilidad (Ver Fig. 39).

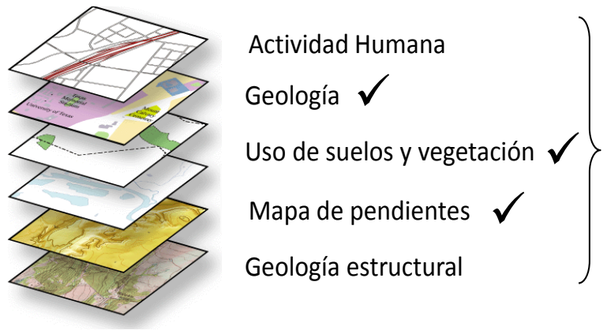


Fig. 39 Esquema de variables a considerar en el análisis de susceptibilidad

(Fuente: Metodología del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED))

Para el caso que nos ocupa de deslizamientos, y dado que no existe información suficiente de casos documentados que permitan hacer un mejor análisis de las variables que intervienen en la inestabilidad de laderas para el municipio de Atlixco, se tomarán los mismos pesos específicos de las variables consideradas por el CENAPRED, los cuales se indican en la Tabla 33.

Tabla 33 Grado de influencia de las variables a considerar en los análisis de susceptibilidad para el municipio de Atlixco, con base los valores propuestos por el CENAPRED

Variable	Peso específico global
Inclinación del terreno	29
Geología (litología)	45
Cobertura vegetal-uso de suelo	26
Total	100 %

(Fuente: Metodología del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED))

- **Memoria de Cálculo (síntesis)**

Elaboración del mapa de pendientes

Como se ha discutido en párrafos anteriores, la pendiente del terreno es uno de los insumos que se requieren para los análisis de susceptibilidad. En topografía ésta se define como la relación entre el desnivel y la distancia horizontal entre un punto y otro, se expresa en porcentaje o en grados (Valencia, 1987). Existen varios procedimientos para obtener el mapa de pendientes; ello se puede lograr a partir del procesamiento digital, con sistemas de información geográfica, de cartas topográficas, modelos digitales de elevación del terreno, fotografías aéreas y levantamientos *lidar*. Para el caso que nos ocupa se utilizó el modelo digital de elevación del terreno obtenido con un vuelo lidar, el cual proporciona una resolución de hasta 0.5 m, lo cual, para fines del presente Atlas, constituye un insumo de gran utilidad para generar el mapa de pendientes.

Un Modelo Digital de Elevación del Terreno (MDET) es una representación gráfica de las variaciones altimétricas (elevaciones) que presenta el terreno y se representa mediante valores numéricos (Bosque, 1992) de altura en puntos coordenados. Generalmente esta representación es una forma simplificada de representar la geometría de la superficie del terreno basada en la interpolación de los datos de curvas de nivel. Consiste en una serie de puntos con coordenadas conocidas referenciadas a un sistema bidimensional a las que se les asocia un valor de elevación (Ver Fig. 40).

En otras palabras, un MDET es un grupo de valores que representa puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas “X” y “Y” a las que se les agrega un valor de “Z” que corresponde a la elevación (Ver Fig. 40). Se ha convenido que los puntos deben estar espaciados y distribuidos de modo regular, de acuerdo a un patrón que corresponde a una cuadrícula o malla.

Para el caso de que las “celdas” de una cuadrícula “raster” se les asignen los valores correspondientes a los intervalos de alturas diferenciados por gamas, ya sea de tonos de gris o de colores, la presentación gráfica puede ser en dos o tres dimensiones. El MDET es la capa de información de base a partir de la cual se elabora el mapa de pendientes y sobre el cual se sobrepondrán las otras capas de información disponibles para el análisis de susceptibilidad.

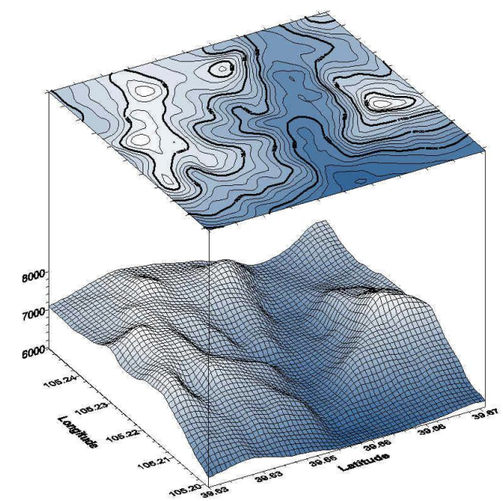


Fig. 40 Esquema de un modelo digital de elevación del terreno

(Fuente: Metodología del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED))

El mapa de pendientes se representa por medio de una gama de colores, diferentes rangos de pendiente en una zona determinada. Se basa en la búsqueda de valores medios de pendiente, a base de contar las intersecciones de las curvas de nivel con líneas rectas de longitud conocida, por ejemplo, los lados de un cuadrado. Los valores más elevados de pendiente tendrán una mayor aportación a la susceptibilidad de una ladera a presentar inestabilidad (valores relativos de susceptibilidad).

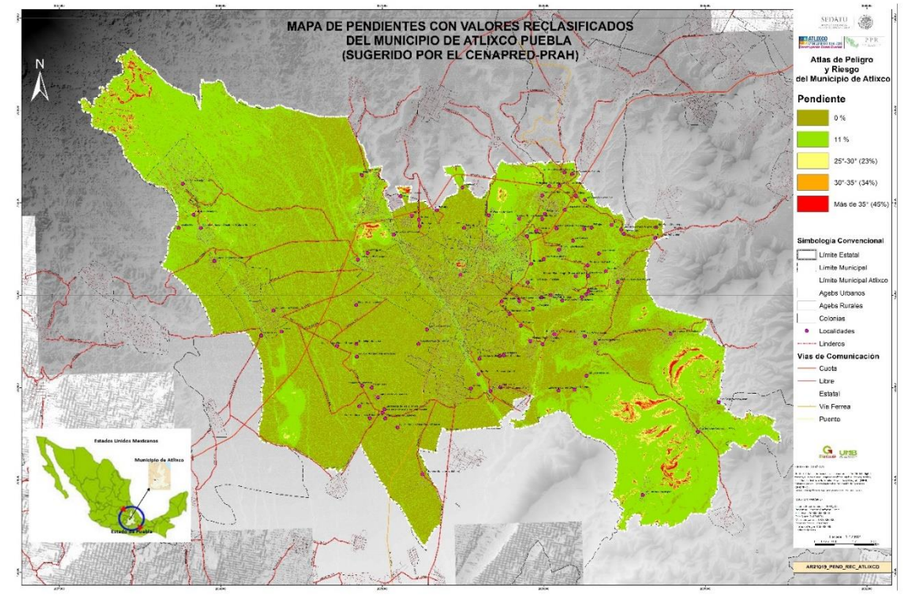
El mapa de pendientes para el presente estudio fue obtenido a partir de un MDET generado con un levantamiento *lidar*, con resolución de 0.5 m, obtenido de la página del INEGI. A partir de este insumo se generó el mapa de susceptibilidad relativa que se muestra en el Mapa 49, para el cual se determinaron los intervalos de inclinación que se indican en la Tabla 34. Dichos intervalos son, como se indica en la metodología del CENAPRED, consistentes con las bases para la estandarización de Atlas para la Prevención de Riesgos en Asentamientos Humanos (PRAH, 2011).

Para el caso de Atlixco, se pudo comprobar que la distribución de intervalos en los rangos de pendientes sugeridas por el CENAPRED y por la de la PRAH, se ajusta muy bien para al ámbito municipal, por lo que su aplicación directa al MDET obtenido con el *lidar* permitió generar el Mapa 49.

Tabla 34 Intervalos o categorías de pendiente y sus correspondientes valores relativos de susceptibilidad propuestas en la Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos.

INTERVALOS	VALOR DE SUSCEPTIBILIDAD RELATIVO
Más de 45°	2.0
30° a 45°	2.0
15° a 30°	1.33
6° a 15°	0.66
3° a 6°	0.26
0° a 3°	0.13

(Fuente: Metodología del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED))



Mapa 49 Pendientes a nivel municipal con los valores de reclasificación en porcentaje de las diferentes categorías de inclinación.

(Fuente: Elaboración Propia con información del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la Prevención de Riesgos en Asentamientos Humanos)

- **Obtención del mapa geológico**

Como ya se ha mencionado, la geología juega un papel preponderante en los análisis de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. La litología y la geología estructural de los depósitos de suelos y rocas influyen en la inestabilidad de laderas, dependiendo de su composición física, su estratigrafía y de su grado de fracturamiento. Para el caso de deslizamientos y flujos de suelos y rocas, se considerará únicamente la influencia de la distribución espacial de los depósitos de suelos y rocas (litología) con base en sus características físicas y de resistencia, tal y como se indica en la metodología del CENAPRED para la elaboración del Mapa Nacional de Susceptibilidad por Inestabilidad de Laderas (Huesca y coautores, 2015).

Como ya se discutió en el apartado de factores condicionantes, la contribución de la geología en los fenómenos de inestabilidad es del 45% (Ver Tabla 35). La definición de este valor se determinó con base en la propuesta del CENAPRED, ratificada con las visitas de campo y la documentación de casos de inestabilidad discutidos en párrafos anteriores; los cuales fueron contrastados con los datos levantados en campo durante los recorridos realizados para la elaboración del presente Atlas. Cabe señalar que para la República Mexicana existe una cobertura completa a escala 1:250 000 y de manera parcial a escala 1:50 000. Para poder profundizar en el caso de Atlixco se consultaron también artículos científicos

especializados en geología; además de una revisión y verificación de campo, la cual permitió modificar y afinar el mapa de geología base tomado del INEGI y contrastado con el del SGM (Ver Fig. 41), teniendo como resultado el Mapa 50.

Una vez identificadas las principales características geológicas, se asignaron los pesos específicos a las capas litológicas presentes en el municipio de Atlixco, en formato "shape"; lo que representa un valor de susceptibilidad relativa correspondiente a la geología. En este caso se cuenta con el mapa geológico de vectores a escala 1:50 000 del INEGI del año 2005.

Según los criterios anteriormente descritos, los valores de los pesos específicos asignados a las capas geológicas presentes en Atlixco fueron las que se indican en la Tabla 35, mismas que también se indican en el Mapa 50.

Tabla 35 Intervalos o categorías de pendiente y sus correspondientes valores relativos de susceptibilidad

Geología	Grado de alteración	Peso específico relativo
Lutita (Lh)	Alto	45
Caliza (Cz)	Alto	34
Conglomerado (Cg)	Alto	34
Arenisca-basalto (A-Ba)	Muy alto	32
Riolita (R)	Muy alto	30
Artenisca-basalto (A-Ba)	Extremo	14

(Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (CENAPRED, 2006))

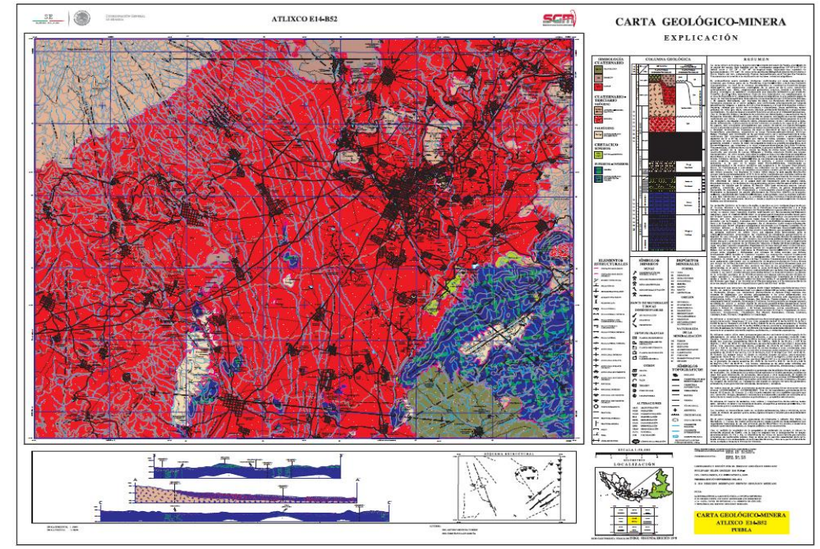
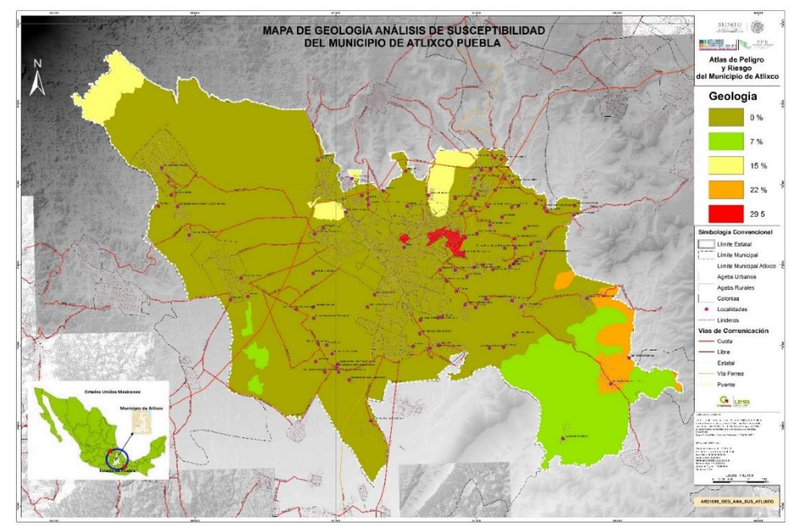


Fig. 41 Carta Geológico- Minera (E14-16) del SGM, escala 1:250 000

(Fuente: Elaboración Propia, con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y del Servicio Geológico Mexicano (SGM))



Mapa 50 Geológico actualizado para el análisis de susceptibilidad (modificado del SGM, 2005)

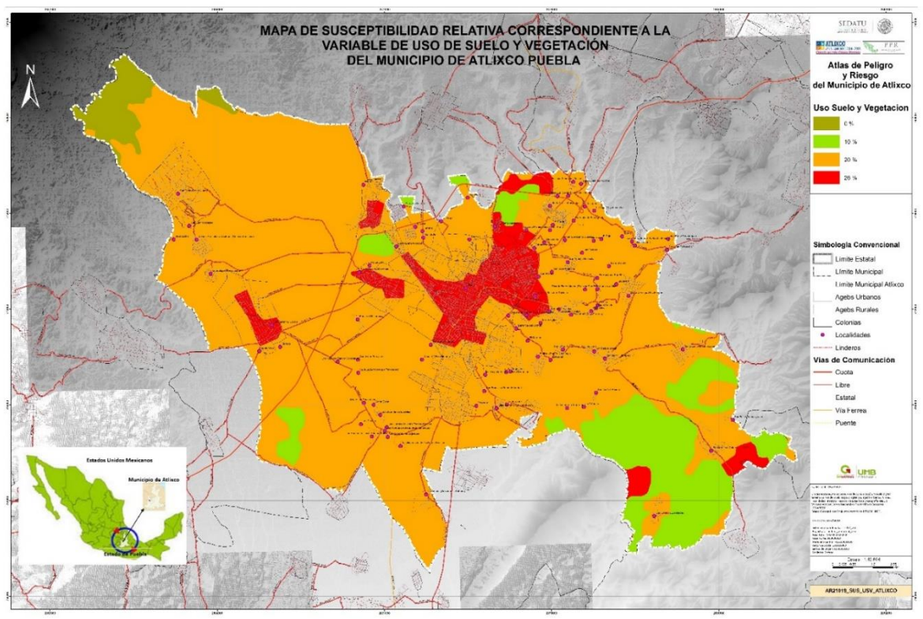
(Fuente: Elaboración Propia, con información del Servicio Geológico Mexicano (SGM))

- **Obtención del mapa de vegetación y uso de suelo**

Generalmente la cobertura vegetal en una ladera es considerada como un elemento que contribuye a la estabilidad de laderas y taludes (excepto en formaciones rocosas), ya que la presencia de arbustos y árboles disminuye el impacto de los procesos erosivos del terreno, como lluvias intensas, y las raíces contribuyen a reforzar la capa superficial del subsuelo, además de que absorben parte del agua que se infiltra al terreno.

En los últimos años, el desarrollo de los asentamientos humanos y la acción antropogénicia han generado una profunda transformación del paisaje y del medio, tanto en México como en el mundo. La construcción de infraestructura y la transformación de zonas forestales en zonas agrícolas son algunos de los factores antropogénicos que más contribuyen a la inestabilidad de laderas en amplias regiones del país.

Para considerar la componente ambiental en el análisis de susceptibilidad, se obtuvo el mapa regional de uso de suelo y vegetación de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), a través de su página de internet, obteniendo así el mapa de densidad forestal, que muestra rangos definidos por el número de árboles en pie por hectárea (Ver Mapa 51). El mapa se transformó en formato "shape" para su utilización, generando así el mapa de susceptibilidad relativa correspondiente a la variable de uso de suelo y vegetación.



Mapa 51 De susceptibilidad relativa correspondiente a la variable de uso de suelo y vegetación (Modificado del Mapa Nacional de Densidad Forestal)

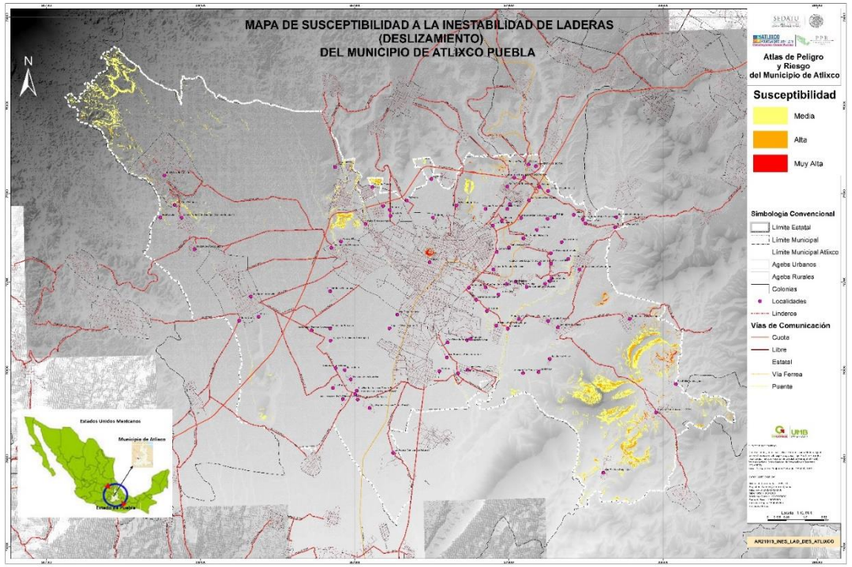
(Fuente: Elaboración Propia, con información de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI))

De la página de la CONAFOR se obtuvo también el mapa de uso de suelo, usando como base el mapa de densidad forestal al que se le combinan las zonas de cultivo, los cuerpos de agua y las áreas urbanas del INEGI. Ello es congruente con la carta de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 del INEGI. Según los criterios anteriormente descritos, los valores de los pesos específicos asignados a las diferentes zonas de cobertura vegetal y uso de suelo presentes en Atlixco, fueron las que se indican en el Mapa 51.

- **Resultado del Análisis**

Los deslizamientos son movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera. Algunos inician en la parte baja o media de una ladera y las grietas se propagan hacia las partes altas formando escarpes (escalones) primarios y secundarios que forman parte de una o varias superficies de falla. En cuanto a su velocidad de desplazamiento, éstos pueden ser lentos o intempestivos, según las características del subsuelo y del factor que los detona. Dependiendo del grado de saturación y de la intensidad del factor detonante, pueden convertirse en flujos.

El último paso para la obtención del mapa de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas consiste en sumar los mapas de Geología, Uso de Suelo y Vegetación y de Pendientes. El mapa resultante con sus respectivos grados de susceptibilidad se obtiene reclasificando los valores resultantes del mapa de susceptibilidad relativa (Ver Mapa 52). Las categorías de susceptibilidad más comúnmente usadas en estudios de este tipo son: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta, las cuales se representan en una gama de colores del verde al rojo. Los rangos de clasificación se han considerado en una escala del 1 % al 100 % a cada 20 %. Los valores y el mapa resultante se muestran en el Mapa 52.



Mapa 52 De susceptibilidad a la inestabilidad de laderas (deslizamientos) del municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia)

- **Mapas resultantes con ponderación (Amenaza, Susceptibilidad o Peligro)**

- **Análisis de peligro por inestabilidad de laderas: deslizamientos**

Históricamente el municipio de Atlixco ha sido afectado por el embate de lluvias intensas en la mayor parte de su territorio. Esta condición y su topografía accidentada, hacen que sea susceptible al fenómeno de inestabilidad de laderas, siendo las lluvias el principal factor detonante. Como ya se ha visto en los mapas anteriores, las zonas o regiones indicadas en los mapas de susceptibilidad son clasificadas o jerarquizadas con base en colores que indican el grado o potencial de inestabilidad en una zona determinada, lo que depende del grado de intensidad o grado de susceptibilidad relativa de los distintos factores que influyen en la inestabilidad de las laderas como la geología, la topografía, el uso de suelo y vegetación, entre otros. Para pasar al nivel de peligro se requiere que a los mapas de susceptibilidad se les sobrepongan las variables que detonan o disparan los fenómenos de inestabilidad.

Para el caso de Atlixco, el principal factor que detona deslizamientos es la lluvia. Por lo tanto, el reto es determinar el valor límite máximo (umbral) que se requiere para que se detonen dichos fenómenos. Un umbral es el nivel mínimo o máximo de alguna cantidad necesaria para que un proceso tenga lugar o un cambio de estado (White et al., 1996). Un umbral mínimo define el nivel mínimo por debajo del cual un proceso no se produce. Un umbral máximo representa el nivel por encima del cual un proceso siempre se produce.

Para deslizamientos detonados por lluvias, los umbrales pueden asociarse a la lluvia, a la humedad del suelo, o a las condiciones hidrológicas que, cuando se alcance o se supere un cierto valor límite, es altamente factible que se desencadene un deslizamiento de tierra. Los umbrales de lluvia se pueden definir en físicos (basado en el proceso, conceptual) o empíricos (basados en registros históricos o estadísticos).

Así pues, los valores límite o umbrales relacionados con la cantidad de lluvia, más comúnmente investigados, son: Precipitación total acumulada, Lluvia antecedente, intensidad de las precipitaciones y duración de las lluvias (Ramírez 2010), índice de humedad del suelo o la combinación de ellos.

El efecto de la lluvia depende fundamentalmente de la intensidad, duración y distribución de la tormenta. La Tabla 36 tomada de González de Vallejo (2002), indica los umbrales de precipitación que han desencadenado movimientos de ladera en varias partes del mundo.

Tabla 36 Relación de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos de tierra en diferentes regiones del mundo

Tipo de movimiento y país (movimientos de nueva generación)		Intensidad horaria (Ih)	Intensidad diaria (Id)	Precipitación acumulada
Flujos de barro y tierra	Hong Kong	> 40 mm	>50 mm	> 50 mm(15 días)
			> 100 mm	
	Japón		> 125 mm	> 182 mm (2 dias)
	Italia (toscana)		88 mm	260 mm (15 días)
				325 mm (30 días)
	Brasil	60 mm	> 125 mm	0.4 Precipitación anual
				> 675 mm (3 días)
Flujos de derrubios	Estados Unidos (California)			> 250 mm (3 días)
				> 180 mm en el evento
	España	213 mm		52 mm durante el evento
			205 mm	> 500 mm (3 días)
				476 mm (2 días)
		> 60 mm clima atlántico	>150 mm atlántico	> 300 mm (clima mediterráneo)
			>180 mm mediterráneo	
	Japón	20 mm		10-150 mm en el evento
	Italia (Toscana)		143-153 mm	290-400 mm (15 días)
				360-450 mm (30 días)
	Francia			> 300 mm (60 días)

(Fuente: González de Vallejo, 2002)

Para el caso de Atlixco, y con base en la regionalización de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos de tierra (Domínguez, 2016), se determinó que para que ocurran deslizamientos de tierra en Atlixco se requieren de aproximadamente 310 mm de lámina de lluvia acumulada en 24 h, lo que indica que dicho valor es el umbral que, cuando sea rebasado, podrán ocurrir deslizamientos en zonas donde el suelo se encuentra saturado por lluvias previas. A Partir de este valor, los intervalos de peligro alto, medio, bajo y muy bajo se determinaron dividiendo el

valor máximo en intervalos iguales de 25%. Es decir, el intervalo para peligro alto se obtuvo multiplicando el umbral de 310 mm por 0.75, que resulta igual a 232.5 mm. Para fines prácticos este valor se redondeó a

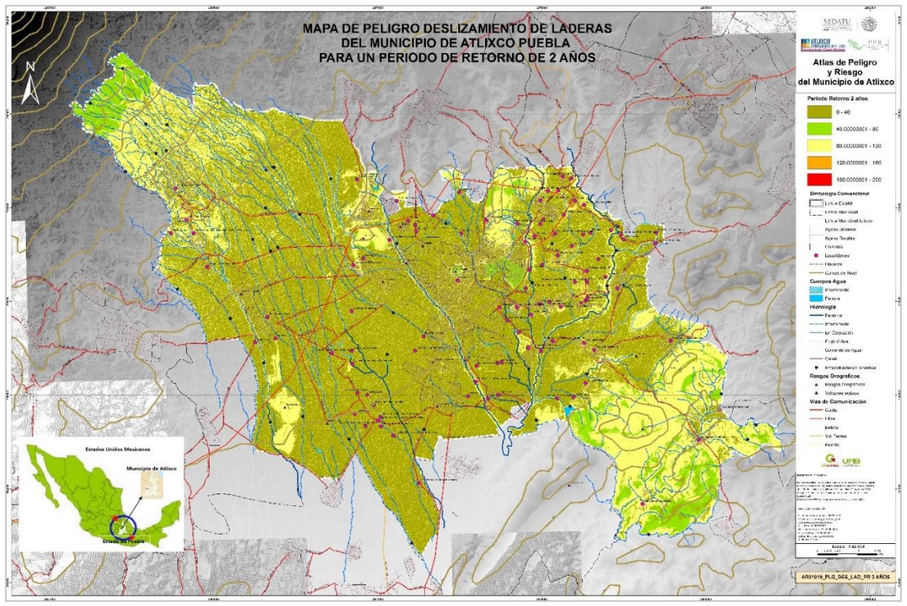
230 mm. Con esta lógica los intervalos que definen los grados de peligro quedaron de la siguiente manera (Ver Tabla 37):

Tabla 37 Intervalos de lluvia para definir los rangos de peligro de deslizamientos detonados por lluvia en el municipio de Atlixco

Umbral máximo que detona deslizamientos según casos documentados	Intervalo relativo	Grado de peligro
310	Más de 310	Muy Alto
	De 230 a 310	Alto
	De 150 a 230	Medio
	De 80 a 150	Bajo
	De 0 a 80	Muy Bajo

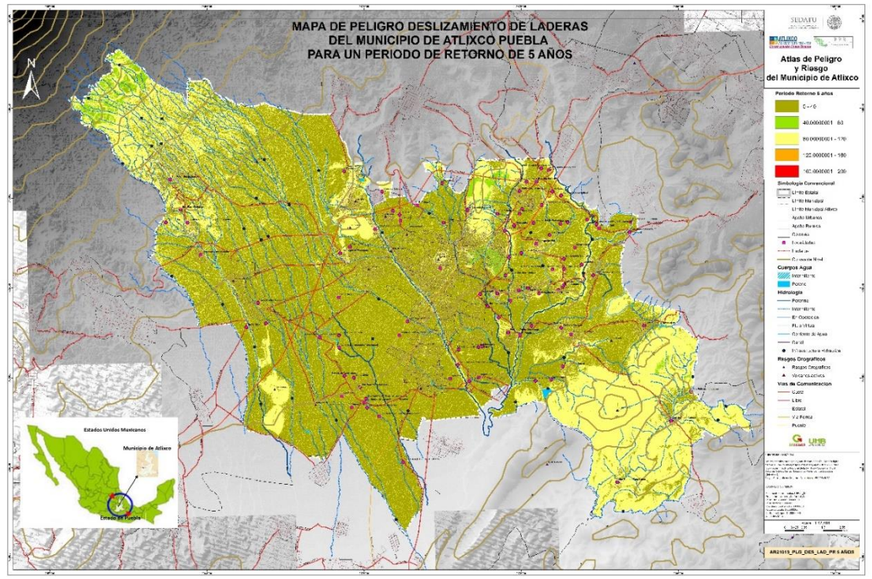
(Fuente: Elaboración Propia)

La determinación de los umbrales se basó en el análisis de las gráficas de lluvia acumulada y su relación con la ocurrencia de deslizamientos, según casos documentados en el estado de puebla. Con este valor y los mapas de isoyetas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años se elaboraron los mapas de peligro correspondientes a dichos periodos (Ver Mapa 53 al Mapa 58).



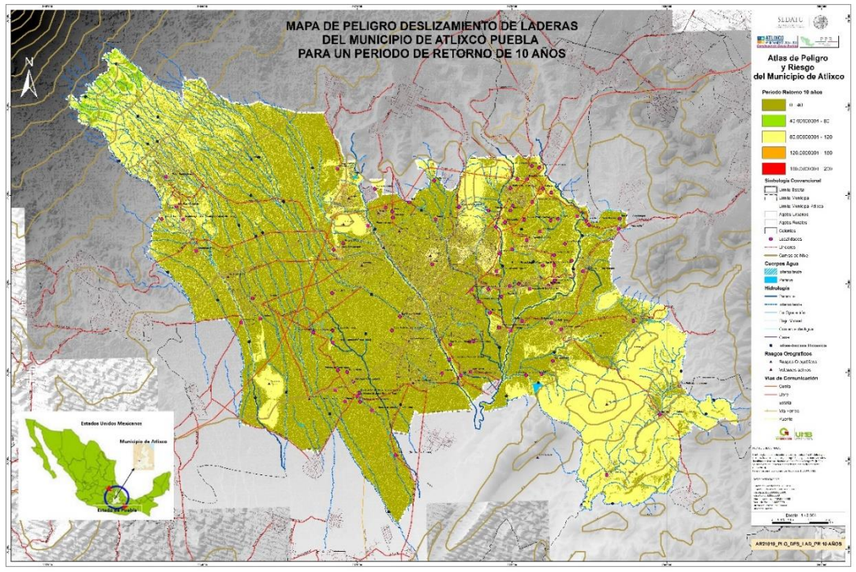
Mapa 53 Peligro por Deslizamiento de Laderas para un Período de Retorno de 2 años

(Fuente: Elaboración Propia)



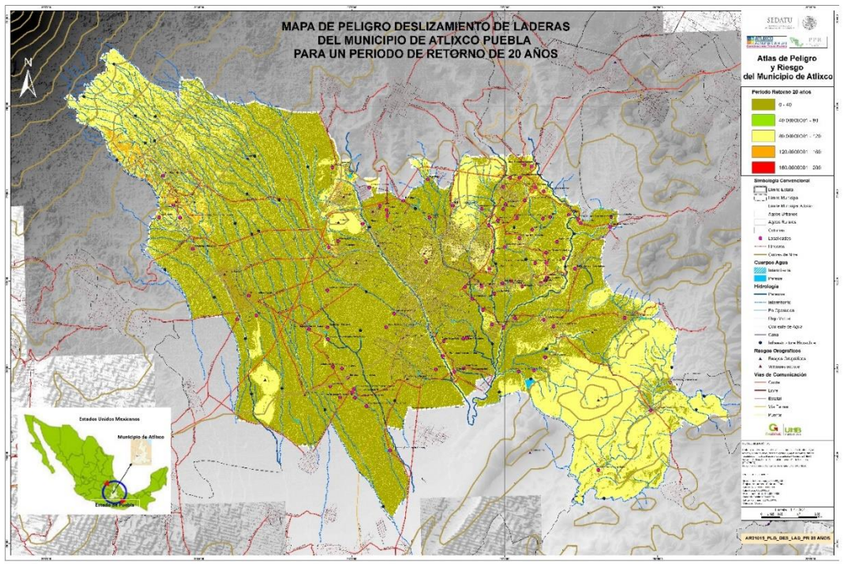
Mapa 54 Peligro por Deslizamiento de Laderas para un Período de Retorno de 5 años

(Fuente: Elaboración Propia)



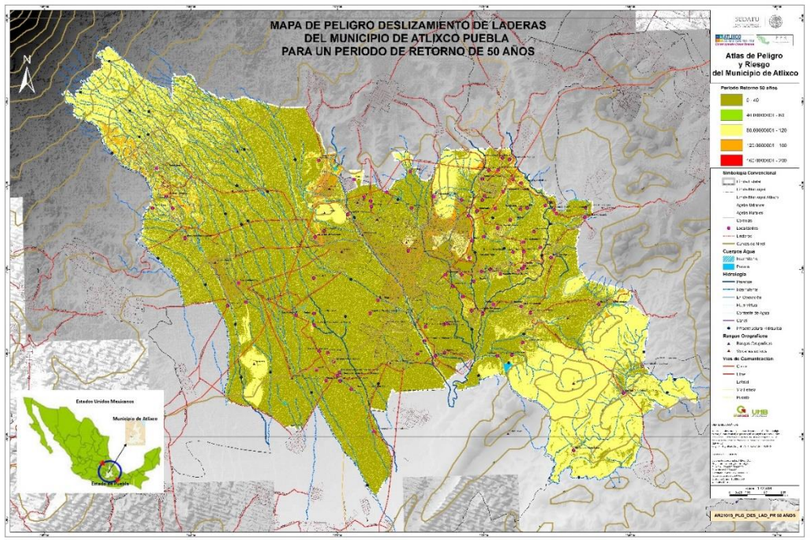
Mapa 55 Peligro por Deslizamiento de Laderas para un Período de Retorno de 10 años

(Fuente: Elaboración Propia)



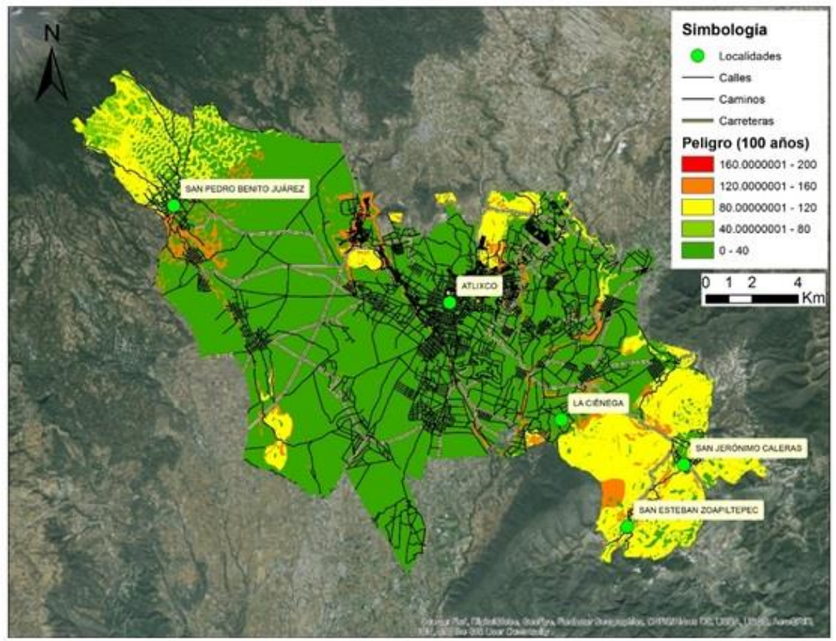
Mapa 56 Peligro por Deslizamiento de Laderas para un Período de Retorno de 20 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 57 Peligro por Deslizamiento de Laderas para un Período de Retorno de 50 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 58 Peligro por Deslizamiento de Laderas para un Período de Retorno de 100 años

(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.7 Flujos de lodo y lahares

- **Nivel de Análisis**

Este fenómeno se analizará con base en el Nivel 3 descrito en los Términos de referencia de la SEDATU.

- **Resultado del Análisis**

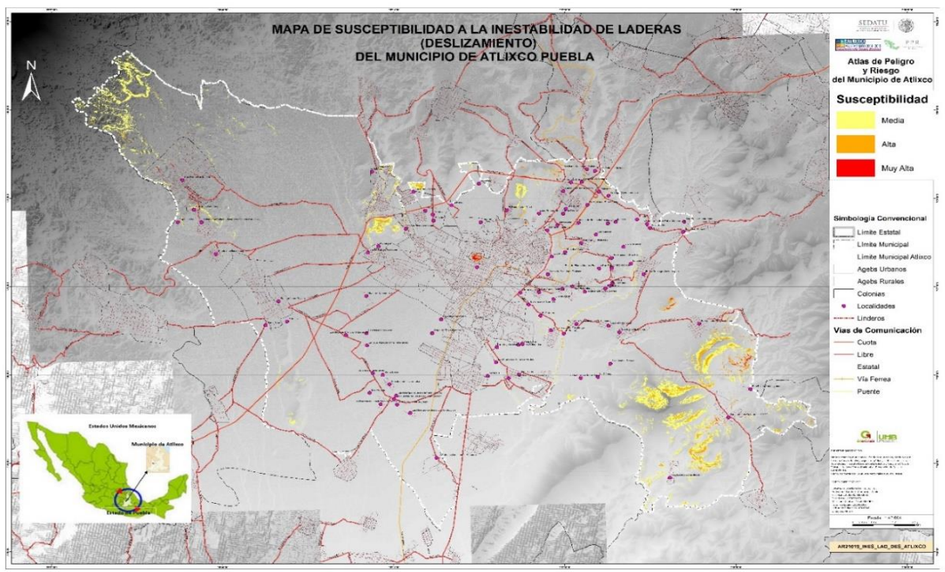
De acuerdo con las definiciones de la Ley General de Protección Civil y en concordancia con los "Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016", emitidos por la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU), los flujos son un caso especial de los deslizamientos. Se trata de movimientos de suelos, fragmentos de rocas, árboles y escombros pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve y se desliza. Se producen y movilizan por el incremento (lento o repentino) de la saturación del terreno, debido a la presencia de lluvias intensas y prolongadas.

En la mayoría de casos este tipo de movimientos cobran gran velocidad y alcanzan grandes distancias por lo que son extremadamente letales. Dependiendo de la cantidad de agua y el tipo de materiales que los

constituyen pueden alcanzar centenas de metros y canalizarse por depresiones, calles y cauces de ríos y barrancas, ingresando por puertas y ventanas y destruyendo viviendas y propiedades.

El municipio de Atlixco, especialmente en la porción oeste que colinda con las faldas del volcán Popocatépetl, se tienen características geomorfológicas que favorecen la formación de este tipo de fenómenos por lo que, en caso de ocurrir, se canalizarían por los causes de las barrancas que desembocan al municipio de Atlixco.

Tomando en consideración esta disposición topográfica del terreno y las características geológicas de los materiales volcano-clásticos depositados en los flancos del Popocatépetl, así como los pesos relativos de las variables consideradas para el mapa de susceptibilidad a deslizamientos (Ver Mapa 59), se generó el mapa de flujos que se muestra en la Mapa 60. Dicho mapa muestra las zonas más susceptibles a la ocurrencia de flujos de suelos y rocas que se canalizarían por los causes de barrancas y ríos provenientes de los flancos del Popocatépetl.



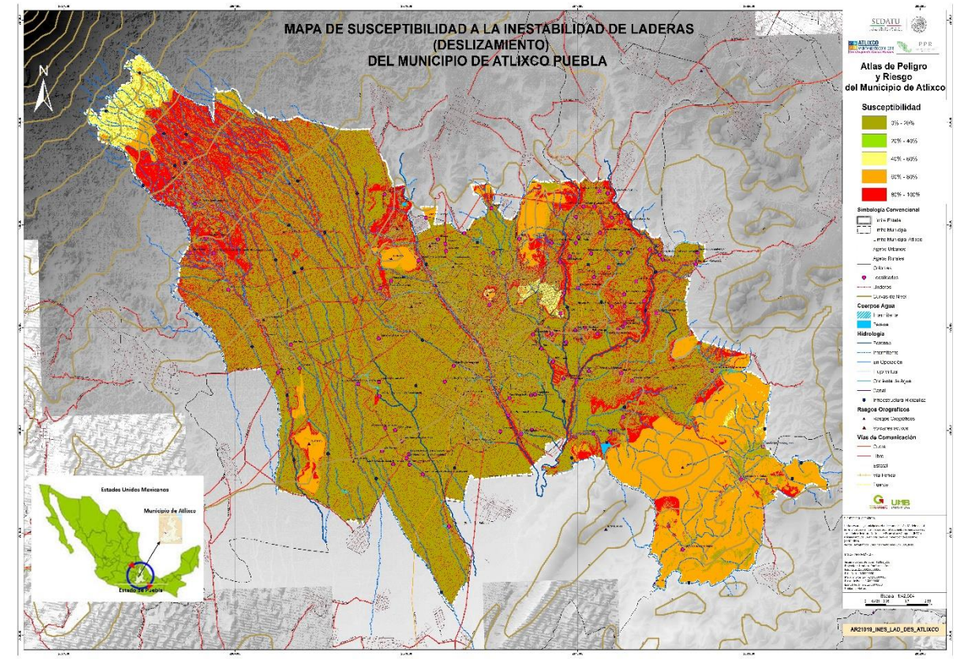
Mapa 59 Inestabilidad Laderas (Deslizamiento)

(Fuente: Elaboración Propia)

Para el desarrollo de este mapa se partió del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra (Ver Mapa 59), amplificando los pesos específicos de la pendiente del terreno en zonas aledañas a los causes de los ríos y barrancas. Es por ello que grado de susceptibilidad a la ocurrencia de flujos se incrementa en el área de influencia de estas depresiones topográficas.

De manera similar al mapa de susceptibilidad a deslizamientos, los grados de susceptibilidad a la ocurrencia de flujos se dividieron en rangos de: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta, las cuales se representan en una gama de colores del verde al rojo (Ver Mapa 60).

- **Mapas resultantes con ponderación (Amenaza, Susceptibilidad o Peligro)**



Mapa 60 Susceptibilidad a flujos de lodo en el municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.8 Caídos o derrumbes

Los caídos o derrumbes son movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando. Cuando el volumen que se moviliza está compuesto por rocas mayores a 1.0 m^3, la inclinación del terreno sobre el que caen es superior a 15º y la longitud de dicho terreno es mayor a 20 m, son letales debido a que cobran gran velocidad. Es por ello que destruyen viviendas y ocasionan pérdida de vidas.

Al igual que en el caso del mapa de flujos, para el mapa de caídos y derrumbes se elaboró a partir del mapa general de susceptibilidad a deslizamientos. Sin embargo, los sitios identificados como de susceptibilidad media, alta y muy alta se obtuvieron considerando aquellas laderas con inclinaciones mayores a 25 grados.

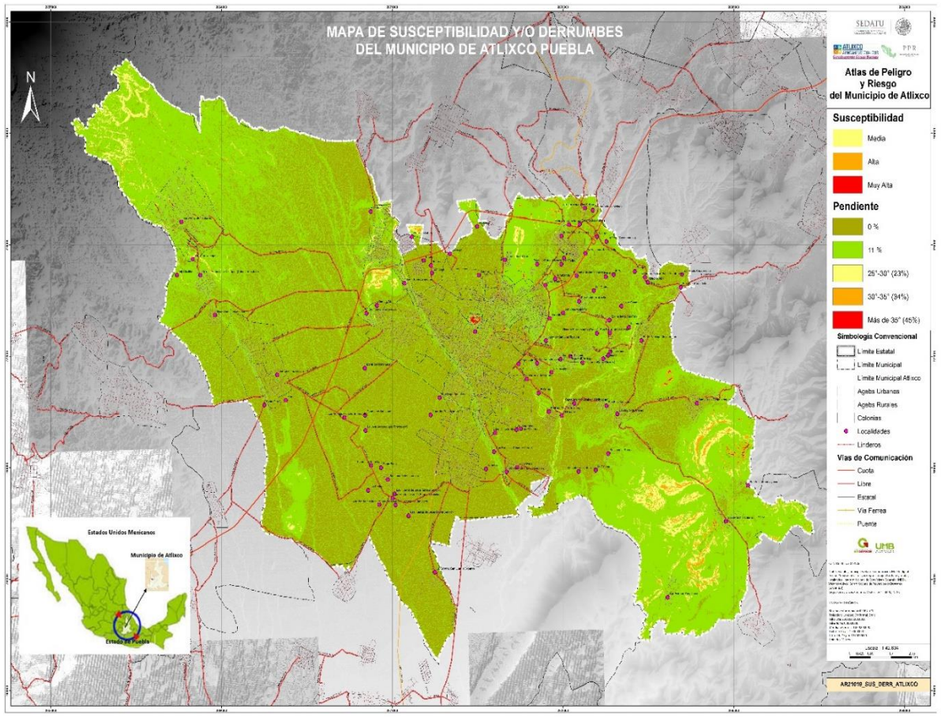
Así mismo, para este caso en particular, se consideró que la vegetación es desfavorable y contribuye a la inestabilidad del terreno. El mapa resultante se muestra en el mapa (Ver Mapa 61).

Al igual que en los casos anteriores, las categorías de susceptibilidad fueron: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta, las cuales se representan en una gama de colores del verde al rojo. Los rangos de clasificación se han considerado en una escala del 1 % al 100 % a cada 20 %.

- **Nivel de Análisis**

Este fenómeno se analizará con base en el nivel 3 propuesto en los Términos de referencia de SEDATU.

Mapas resultantes con ponderación (Amenaza, Susceptibilidad o Peligro)



Mapa 61 Susceptibilidad a caídos y/o derrumbes del municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.9 Subsidencia (Hundimientos)

La subsidencia y el agrietamiento afectan grandes extensiones de terreno y generalmente ocurren en forma diferida, siendo el hundimiento el primero en suceder y posteriormente, cuando existen las condiciones geológicas y geotécnicas propicias, se originan escalones (depresiones) que son los que determinan y delimitan las zonas o franjas de agrietamiento.

A diferencia de los asentamientos producidos por el peso que las edificaciones o cualquier estructura, los fenómenos de hundimiento o subsidencia se refieren al proceso (natural o antropogénico) que ocasiona un descenso (generalmente vertical) de la superficie del terreno. Cuando existen construcciones, obras de infraestructura o de ingeniería en sitios donde ocurre este fenómeno, genera deformaciones o "asentamientos" que las dañan, deterioran o afecta su desempeño. De acuerdo con el portal de internet "The subsidence forum" (http://www.subsidenceforum.org.uk/ subsidence_what_is_it.php), la subsidencia es el movimiento descendente de un sitio o lugar donde el movimiento no está conectado o no tiene relación con el peso de los edificios o construcciones.

De acuerdo con lo mencionado en el párrafo anterior, las causas que pueden ocasionar hundimientos en el subsuelo, y por consiguiente afectar obras, construcciones o edificaciones, las cuales se construyen sobre éste, son los siguientes:

1. Extracción de agua del subsuelo
2. Extracción de petróleo y gas
3. Explotación de recursos del subsuelo (minería, bancos de materiales)
4. Erosión interna (flujo de agua en suelos por causas naturales o fugas de agua)
5. Solifluxión
6. Excavaciones para la construcción de obras
7. Karsticidad

De los casos antes citados, hasta la fecha de la elaboración de este apartado, no se tiene conocimiento de casos que se hayan reportado en el municipio de Atlixco. Si bien, se tiene conocimiento de que en el municipio se han realizado excavaciones, bancos de materiales y se extrae agua del subsuelo para uso humano, agrícola e industrial, a la fecha no se han reportado casos de hundimientos debido a estas actividades.

Para el caso de bancos de materiales, la mayoría son realizados en las faldas de cerros y terrenos baldíos, todos fuera de la zona urbana. Por lo que se deberá cuidar que esta condición así se mantenga y no permitir el crecimiento urbano en los alrededores de estos sitios.

- **Nivel de Análisis**

Hundimiento regional y diferencial del terreno

El hundimiento regional y diferencial es producido principalmente por la extracción de agua del subsuelo. Como se comentó en el apartado anterior, las zonas donde se presenta este fenómeno son en las que predominan depósitos de suelos lacustres y aluviales. Cabe comentar que las deformaciones asociadas a estos fenómenos, no ocurren de manera súbita, sino que se desarrollan en el transcurso del tiempo y pueden ser necesarios varios años o décadas para que el fenómeno sea visible y ocasione daños -en ocasiones irreparables- en obras de ingeniería, monumentos históricos e infraestructura.

Debido a que la magnitud de los hundimientos puede ser de sólo unos cuantos centímetros por año y a que afecta superficies muy extensas (de varios kilómetros cuadrados) éstos son casi imperceptibles; sin embargo, al cabo de algunos años tienden a generar problemas.

Cuando el hundimiento se produce de una forma diferencial, es decir con diferente magnitud de un punto a otro, ya sea por las diferencias en las propiedades de los suelos o por la geometría irregular del basamento, se puede presentar un fenómeno más notorio y destructivo que genera esfuerzos de tensión, escalonamientos y, eventualmente, agrietamientos (Ver Fig. 42).

Cuando ocurren este tipo de fenómenos, es común observar daños en las construcciones y en los sistemas de agua potable y alcantarillado, lo que ocasiona fugas de agua y erosión interna en la masa de suelo. Cuando dichas fugas y roturas en los sistemas de drenaje no se atienden con prontitud, pueden ocasionar hundimientos súbitos de unos cuantos metros cuadrados, hasta decenas.

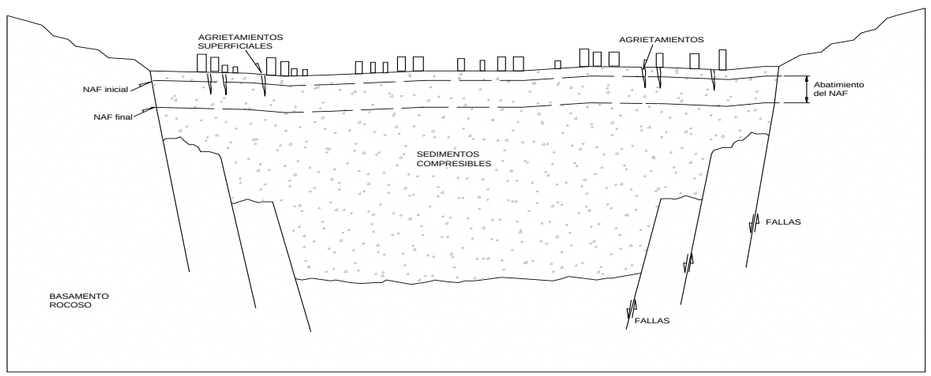


Fig. 42 Influencia de las forma del basamento en la distribución de hundimientos diferenciales

- **Resultado del Análisis**

Hundimiento por extracción de agua

Respecto a la extracción de agua del subsuelo, si bien esta aún se mantiene en condiciones aceptables, ya que a la fecha no se han reportado hundimientos por esta causa, es decir, que aún no se ha desbalanceado la recarga natural de acuíferos y la extracción de este líquido, por lo que el comportamiento del subsuelo es aceptable.

Sin embargo, como ocurre en todas las regiones y ciudades donde se ha documentado el fenómeno de hundimiento del terreno, asociado a la extracción intensiva del agua subterránea, la presión natural debida al crecimiento de la población jugará un papel fundamental para la aparición de los primeros casos, lo cual incrementará en los próximos años.

Las principales zonas donde se espera que suceda el fenómeno, son aquellas donde existen depósitos de suelos volcanosedimentarios, que corresponden las zonas planas del municipio, especialmente en las zonas aledañas a la cabecera municipal, donde abundan este tipo de materiales (Ver Mapa 62). Para que ello ocurra, como ya se mencionó, se deberá romper el equilibrio entre la recarga y la extracción, lo cual, seguramente tomara algunos años o decenas de años, dependiendo de la tasa de crecimiento de la población.

Los primeros sitios donde se presentará el fenómeno corresponderán a las zonas cercanas a los pozos de bombeo, extendiéndose gradualmente a zonas limítrofes y eventualmente a zonas amplias del municipio, lo cual dependerá de la distribución de los depósitos aluviales, la forma del basamento y la distribución de los pozos de agua.

Hundimiento por karsticidad

Por lo que se refiere la posibilidad de hundimientos del terreno asociados al fenómeno de karsticidad, durante la visita de campo se pudo verificar la existencia de rocas calizas en los cerros ubicados al sureste de la cabecera municipal de Atlixco (Ver Mapa 63). Si bien esta zona está despoblada, pero se realizan actividades agrícolas, se deberá tomar en consideración que el fenómeno puede presentarse tanto en los cerros donde afloran dichas rocas calizas, como en las zonas planas, cercanas a las faldas de dichos cerros.

La palabra Karst en alemán o su traducción al italiano Carso, proviene del topónimo esloveno Kras, que es una región fronteriza entre Eslovenia e Italia donde predomina una meseta de calizas. El Karst es una formación geológica creada por procesos de disolución en rocas carbonatadas como calizas (limestone) o dolomitas, rocas evaporitas (evaporites) como yeso, anhidritas, epsomita, nalita y las rocas metamórficas carbonatadas como el mármol. Este tipo de roca es la que permite tener redes hidrológicas regionales subterráneas, así como una variedad en el nivel freático, por lo que es estudiado por hidrólogos e hidrogeólogos.

El peligro del relieve kárstico radica en el hundimiento de la superficie del terreno en ciudades. El proceso de disolución comienza cuando el agua (H2O) se mezcla con ácidos orgánicos (humus) que se encuentra en el aire por descomposición, formando el ácido carbónico (CO3 H2) y al mezclarse agua y carbonato de calcio (CO3 Ca) crea un bicarbonato cálcico (CO3 H2) Ca que es muy soluble e inestable. La disolución del agente cementante produce el colapso (hundimiento) del terreno suprayacente por tubificación (erosión a través de grietas), proceso que sucede al infiltrarse el agua de lluvia. Los hundimientos pueden producirse como consecuencia de la formación de cavidades en el subsuelo, variaciones importantes del nivel freático en terrenos kársticos a causa de reajustes tensionales.

Una de las morfologías asociadas al Karst que conllevan a hundimientos son las dolinas (sinkholes), depresiones con geometría cónica. Son causantes de ciertas catástrofes en Guatemala, España, Estado Unidos y China. Existen dos tipos de dolinas, las originadas por disolución y las de subsidencia o colapso. Las primeras son consecuencia de una perdida lenta y paulatina de material disuelto, lo que da como resultado morfológico dolinas con paredes más tendidas y suaves; mientras que las segundas se forman al desplomarse el techo de alguna cavidad kárstica, donde la morfología puede ser de cuatro tipos (Ver Fig. 43):

1. Pozo: de forma circular, con bordes abruptos con 100 metros de profundidad. `
2. Embudo: no tiene más de 1 metro de diámetro.
3. Cubeta: tiene vertientes cortas con un fondo llano tapizado de terra rossa.
4. Uvalas: depresiones de trazado complicado, producidas por la coalescencia de dolinas vecinas.

Las dolinas se ahondan rápidamente; el arranque del suelo y la ruptura de la cobertura vegetal indican la presencia de asentamientos rápidos en profundidad (Pedraza, 1996).

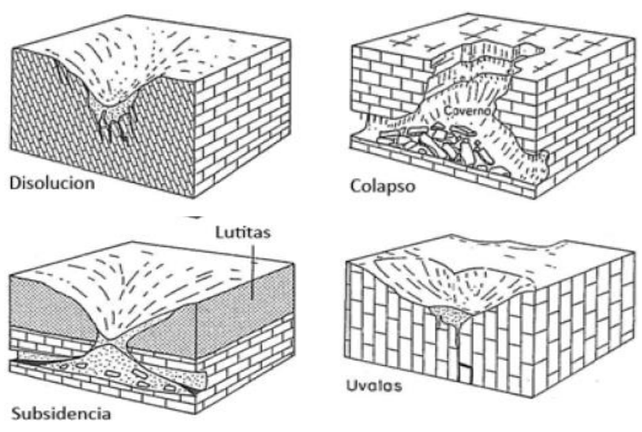
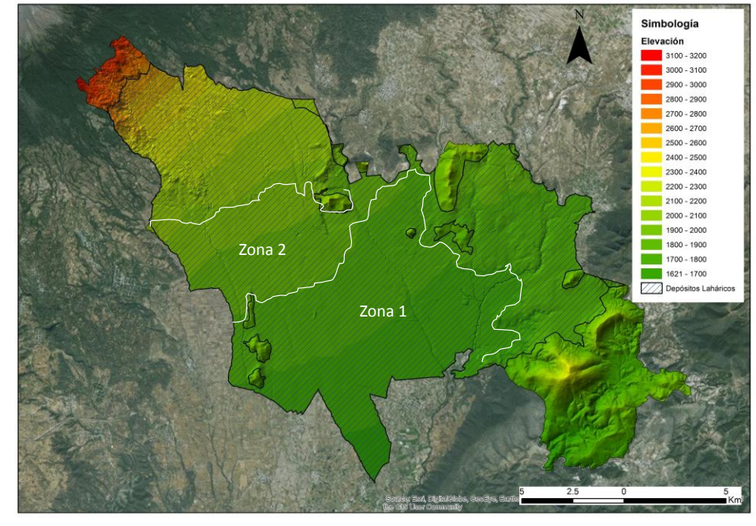


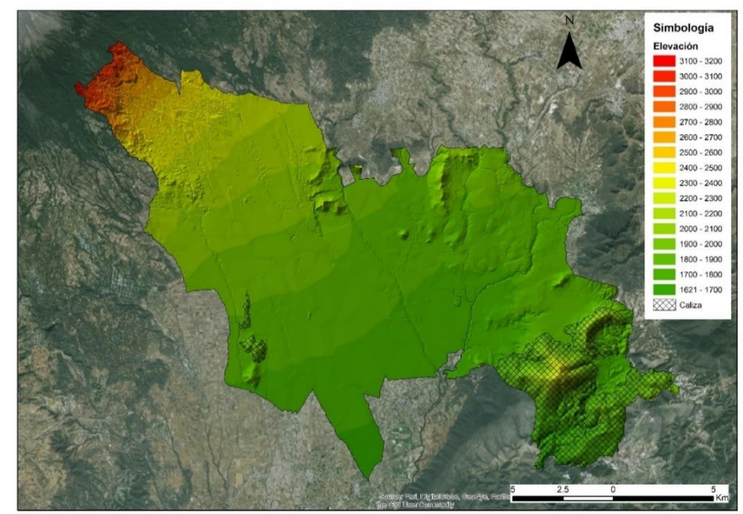
Fig. 43 Tipos de dolinas, las originadas por disolución y las de subsidencia o colapso

- **Mapas resultantes con ponderación (Amenaza, Susceptibilidad o Peligro)**



Mapa 62 Zonificación de suelos volcanosedimentarios, donde podrían originarse los primeros casos de hundimientos regionales o diferenciales debido a la extracción de agua del subsuelo

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 63 Zona susceptible al fenómeno de hundimiento por karsticidad

(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.10 Agrietamientos (Fallas y Fracturas)

El tema de fallas y fracturas fue abordado en la primera versión del Atlas de Riesgos de Atlixco, realizado en 2014. Al respecto, el tema no cambia con el tiempo, por lo que son válidas las consideraciones del atlas de 2014. A continuación, se cita el contenido entonces elaborado:

Para la identificación de los lineamientos estructurales de la región del Valle de Atlixco, se utilizó el mapa topográfico 1:50,000 (INEGI) e imágenes de satélite LANSAT – 7 (para este caso sólo se contó con las bandas 1,2 y 3), la cual tiene una resolución de 25 m, este primer análisis se ajustó al municipio bajo una ortofoto de la región con una resolución de 10 m. Como resultado de este análisis se identificaron 6 sistemas de fracturamiento y 2 zonas de colapso. Estos sistemas se describen a continuación:

- Sistema E – W; Estos corresponden a un fracturamiento típico del Cinturón Volcánico Mexicano. Este se asocia a manifestaciones volcánicas que se observan principalmente en la parte centro y sur del municipio.
- Sistema NE – SW; Este sistema corresponde a lineamientos regionales que se asocian al sistema de fracturamiento observado en las rocas cretácicas que afloran en la parte sur del municipio y de algunos remanentes observados en la parte centro- oriente del municipio.
- Sistema NNE; Es un sistema menor que se genera por los diferentes esfuerzos tectónicos que afectaron a las rocas cretácicas, por tal motivo, este es considerado como un subsistema del sistema NE-SW. Realmente se observan pocos lineamientos de este sistema en el municipio, los cuales fueron identificados en la parte central del municipio.
- Sistema NW – SE; De los seis sistemas se considera el más importante, pues es considerado activo. Estos lineamientos se distribuyen a lo largo de todo el municipio. Este sistema corresponde a un sistema de fallas regionales denominado “Falla la Pera”, que se extiende desde el estado de México hasta el sur del estado de Puebla, pasando por el volcán Popocatépetl y municipio de Atlixco. Con la red sísmica del volcán Popocatépetl se identificó un segmento activo de este sistema, el cual se encuentra al sureste del volcán Popocatépetl y a ~5 km de la comunidad de San Pedro Benito Juárez. Por otro lado, la falta de estaciones sismológicas en el Valle de Atlixco, no permite identificar otros segmentos activos en la parte sur del municipio.
- Sistema NNW; Realmente es un subsistema del anterior, que corresponde a fracturas menores y a manifestaciones volcánicas que se extienden en el municipio. Este se observa en la parte NW del municipio.
- Sistema N – S; Este sistema corresponde a un nivel de fracturamiento local, que incluso se extiende hasta el Valle de Puebla-Tlaxcala. Por lo general, están asociados a los dos grandes sistemas anteriores y a la manifestación de actividad volcánica en la región. No existen evidencias sísmicas de que este sistema sea activo. Sin embargo, es necesario hacer un análisis más detallado del mismo, para asociarlo o descartarlo de los problemas de hundimientos y asentamientos diferenciales que se presentan en algunas partes del Valle de Puebla-Tlaxcala y posiblemente de algunos ocurridos en el Valle de Atlixco.

Fenómenos Hidrometeorológicos

5.1.11 Ondas cálidas

Se llama onda cálida a la parte frontal de una masa de aire tibio que avanza para remplazar a una masa de aire frío que retrocede. Generalmente, con el paso del frente cálido la temperatura y la humedad aumentan, la presión sube y aunque el viento cambia no es tan pronunciado como cuando pasa un frente frío. La precipitación en forma de lluvia, nieve o llovizna se encuentra generalmente al inicio de un frente superficial, así como las lluvias convectivas y las tormentas. La neblina es común en el aire frío que antecede a este tipo de frente. A pesar que casi siempre aclara una vez pasado el frente, algunas veces puede originarse neblina en el aire cálido.

La temperatura máxima extrema “Es la mayor temperatura del aire alcanzada en un lugar en un día (máxima diaria), en un mes (máxima mensual) o en un año (máxima anual)”. También puede referirse a la temperatura máxima registrada en un lugar durante mucho tiempo (máxima absoluta). En condiciones normales, y sin tener en cuenta otros elementos del clima, las temperaturas máximas diarias se alcanzan en las primeras horas de la tarde; las máximas anuales suelen alcanzarse durante julio o agosto en la zona templada del hemisferio norte y en enero o febrero en el hemisferio sur.

Las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, pueden causar disturbios fisiológicos y daños a diferentes órganos provocando enfermedad o la muerte en los seres humanos. Una de las consecuencias más seguras y directas del cambio climático es un aumento en la morbilidad y la mortalidad humanas en períodos de clima extremosos como son las olas de calor.

La letalidad de una ola de este tipo aumenta si ocurre al principio del verano (cuando la población todavía no ha podido aclimatarse al calor), si es de larga duración y si hay temperaturas nocturnas elevadas. Estos efectos son peores en las ciudades debido al “efecto de isla de calor urbano” que involucra la liberación nocturna del calor almacenado durante el día en el cemento y los materiales metálicos urbanos.

Las personas mayores con problemas cardiacos o respiratorios son particularmente vulnerables porque el calor extremo puede exacerbar estas condiciones preexistentes. La falta de acceso a sistemas de aire acondicionado aumenta también el riesgo de muerte por calor lo que introduce un factor socio-económico.

- **Nivel de Análisis**

El análisis de Ondas Cálidas se realizará hasta el Nivel 2 de acuerdo con los Términos de referencia de la SEDATU.

- **Metodología**

Se integró una base de datos de temperaturas máximas diarias de la red de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) Ver Tabla 38 y Fig. 44), que inciden o que se encuentran cercanas al Municipio. En la tabla siguiente se muestran las estaciones climatológicas.

Nivel de peligro por temperaturas máximas de acuerdo a su periodo de retorno: Muy bajo (verde), Bajo (verde claro), Medio (amarillo), Alto (anaranjado), Muy Alto (rojo)

Tabla 38 Estaciones climatológicas para temperaturas máximas que tienen influencia en el municipio de Atlixco (ºC)

STATION_ID	STN_NAME
15007	AMECAMECA DE JUAREZ,
17028	JONACATEPEC, JONACATEPEC
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)
21235	SAN ISIDRO HUILOTEPEC

(Fuente: Elaboración Propia, con información de registros de CLICOM Y CONAGUA)

En la siguiente figura se muestra la localización geográfica de las estaciones climatológicas

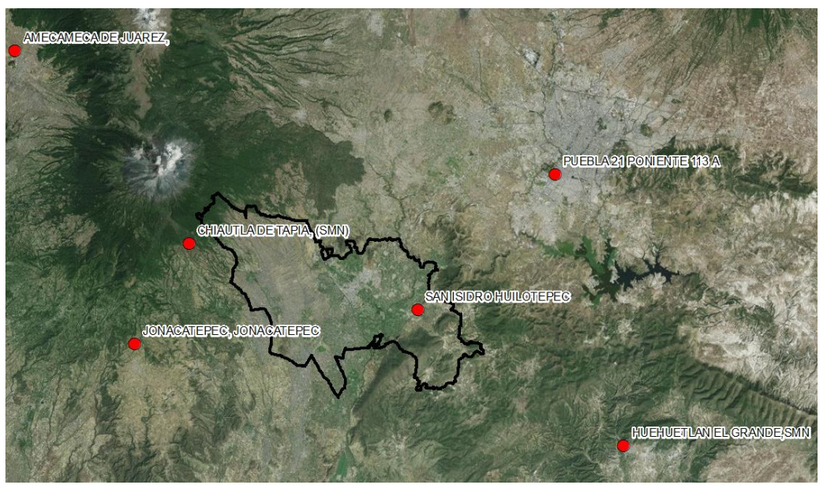


Fig. 44 Localización de las estaciones climatológicas para el municipio de Atlixco

(Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres)

Integrada la base de datos, se inician las siguientes actividades:

- Se determinan las temperaturas máximas anuales de cada una de las estaciones climatológicas.
- Rellenado de datos faltantes, en caso de existir.
- Filtrado de datos que pudieran afectar la muestra.
- Ajuste de función de probabilidad.
- Periodos de retorno.
- Interpolación para determinar las isotermas para el Municipio.

- ## Memoria de Cálculo (síntesis)

Para poder determinar las temperaturas máximas asociadas a los periodos de retorno, (2,5, 10, 20, 50 y 100 años), se recurrió a un ajuste de funciones de probabilidad a la serie obtenida. Estas funciones fueron, Normal, Log Normal, Gamma, Exponencial, Gumbel y DobleGumbel.

La función que presentó el menor error cuadrado es la que se utilizó para el cálculo de los periodos de retorno antes mencionados.

En la siguiente Tabla 39, se muestran las temperaturas máximas por estación para cada uno delos periodos de retorno antes mencionados.

Tabla 39 Temperaturas máximas asociadas a diferentes periodos de retorno [°C]

ID de Estación	Localidad	Tr_2	Tr_5	Tr_10	Tr_20	Tr_50	Tr_100
15007	AMECAMECA DE JUAREZ,	28.16	29.71	30.73	31.72	32.99	33.95
17028	JONACATEPEC, JONACATEPEC	38.23	40.14	41.16	42.01	42.99	43.65
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A	32.20	33.42	34.23	35.01	36.01	36.77
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN	36.76	39.96	41.64	43.02	44.57	45.61
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)	40.94	42.90	44.19	45.44	47.05	48.25
21235	SAN ISIDRO HUILOTEPEC	33.33	37.05	39.51	41.87	44.93	47.22

(Fuente: Elaboración Propia, con información de registros de CLICOM)

- ## Resultado del Análisis

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que para el periodo de retorno de dos años el nivel de riesgo por ondas cálidas es bajo y muy bajo en la mayor parte del municipio, sin embargo, en el Poniente del municipio se observan niveles de riesgo medios.

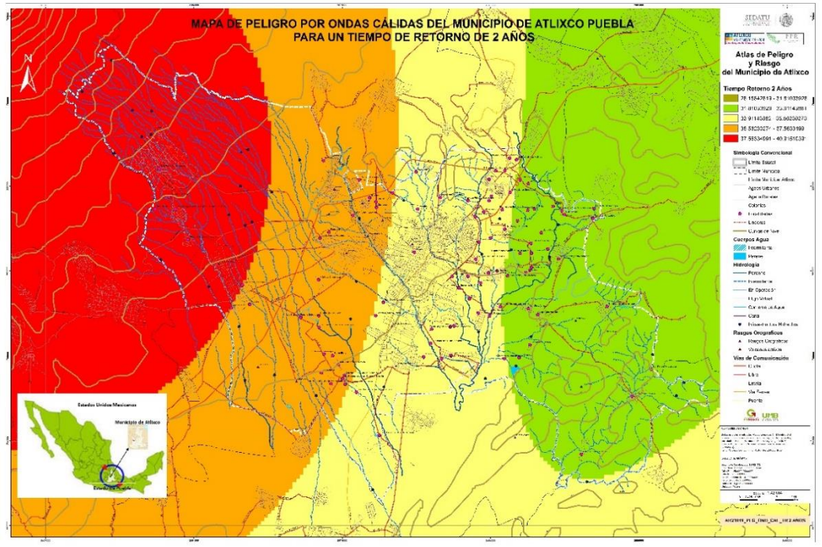
A partir del periodo de retorno de 10 años, la mayor proporción del territorio municipal registra niveles de riesgo Altos, pero es a partir del periodo de retorno de 50 años en los que todo el municipio registra niveles de riesgo Muy Altos.

Las localidades con mayores índices de riesgo por ondas cálidas son San Pedro Benito Juárez, Tepatlactitla y San Juan Ocotepec.

En los siguientes mapas (Ver Mapa 64 al Mapa 69), se presenta la distribución del índice de riesgos para ondas cálidas para diferentes periodos de retorno, para representar la situación más desfavorable para este municipio.

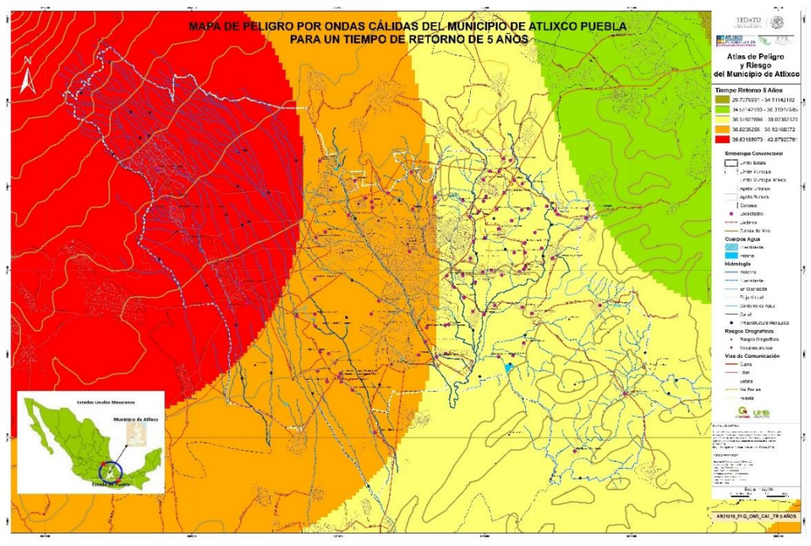
Nivel de peligro por temperaturas máximas de acuerdo a su periodo de retorno: Muy bajo (verde), Bajo (verde claro), Medio (amarillo), Alto (anaranjado), Muy Alto (rojo).

- **Mapas resultantes con ponderación (Amenaza, Susceptibilidad o Peligro)**



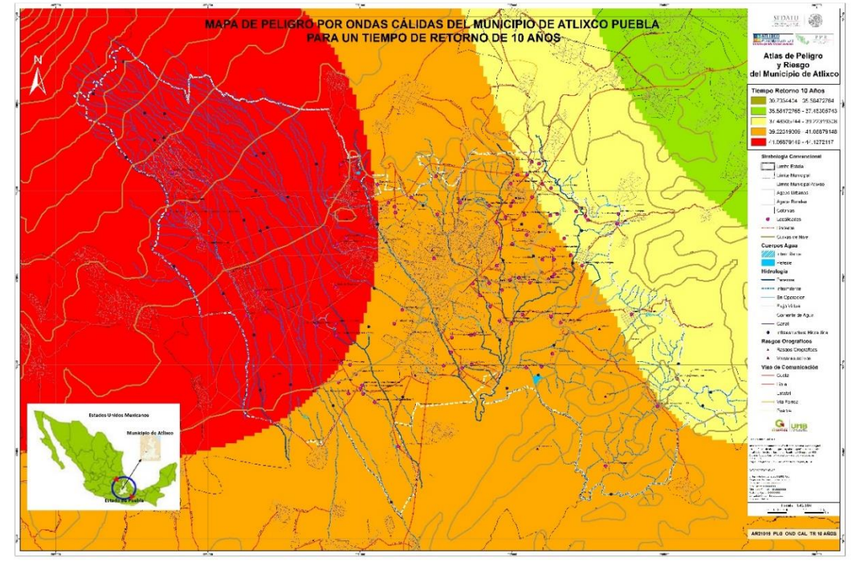
Mapa 64 Peligro por ondas Cálidas para un período de retorno de 2 años

(Fuente: Elaboración Propia)



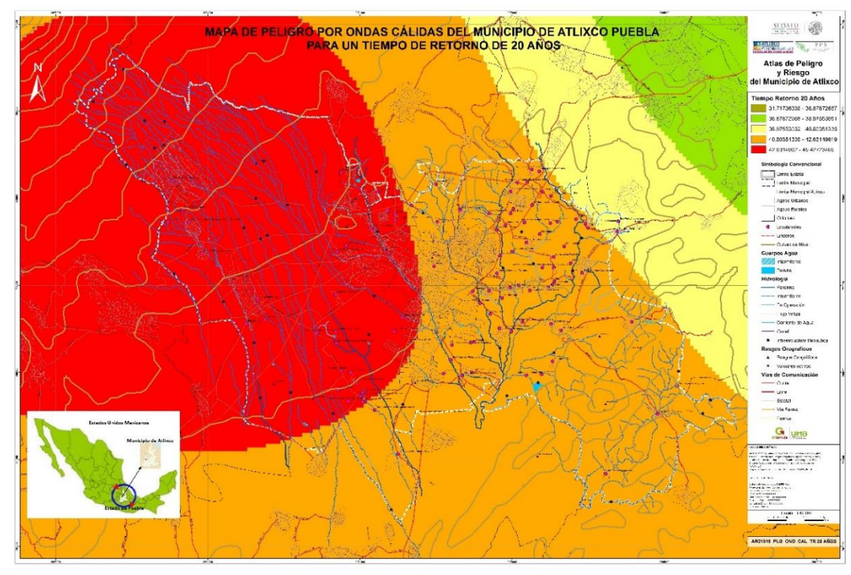
Mapa 65 Peligro por ondas Cálidas para un período de retorno de 5 años

(Fuente: Elaboración Propia)



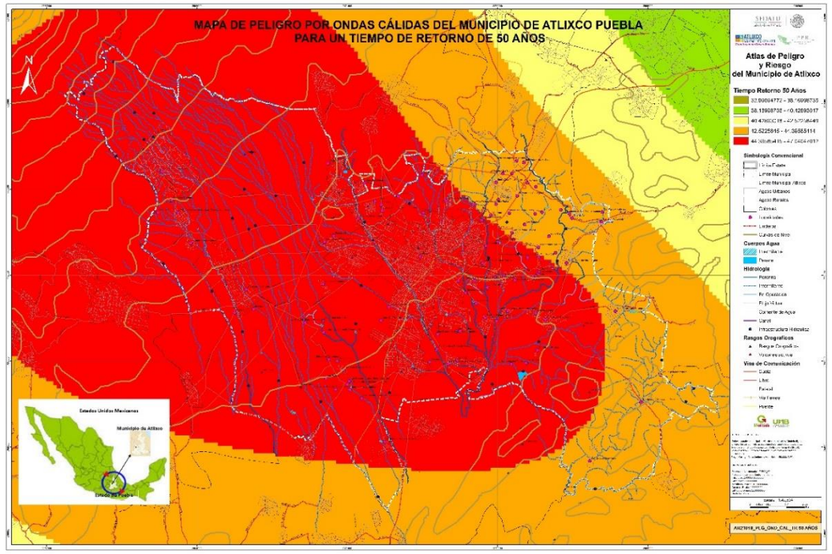
Mapa 66 Peligro por ondas Cálidas para un período de retorno de 10 años

(Fuente: Elaboración Propia)



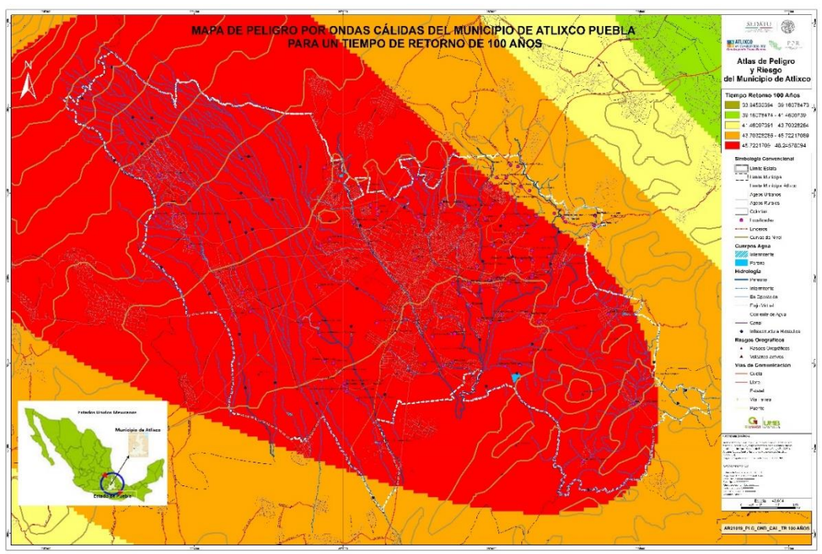
Mapa 67 Peligro por ondas Cálidas para un período de retorno de 20 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 68 Peligro por ondas Cálidas para un período de retorno de 50 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 69 Peligro por ondas Cálidas para un período de retorno de 100 años

(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.12 Ondas Gélidas (Heladas)

Las ondas gélidas, como su nombre lo indica, son ondas de frio intenso que provocan daños en la población y en sectores productivos como la agricultura. En el municipio razón del presente análisis, se registran de manera recurrente ondas gélidas derivadas de frentes fríos que afectan a la región en general. Los frentes fríos corresponden a la porción delantera de una masa polar, transportan aire frío, que en su avance hacia el sur interacciona con aire caliente, se caracterizan por fuertes vientos, nublados y precipitaciones si la humedad es suficiente.

La frecuencia de los frentes es muy variable y depende de su origen, la mayoría viene del océano Pacífico (origen marítimo polar), algunos vienen del norte (polar continental) y otros tienen origen ártico continental.

Situación local ondas gélidas

En el municipio de Atlixco, todos los años se han registrado temperaturas bajo cero, que van de noviembre a febrero y muy comúnmente en octubre y marzo, lo que indica que la mitad del año presenta en algún momento temperaturas bajas.

- **Metodología**

Se integró una base de datos de temperaturas mínimas diarias de las estaciones de la red de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Ver Fig. 44), que inciden o que se encuentran cercanas al Municipio. En la Tabla siguiente se muestran las estaciones climatológicas (Ver Tabla 40).

Tabla 40 Estaciones climatológicas para temperaturas mínimas que tienen influencia en el municipio de Atlixco

ID de Estación	Nombre de la localidad
15007	AMECAMECA DE JUAREZ,
17028	JONACATEPEC, JONACATEPEC
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)
21235	SAN ISIDRO HUILOTEPEC

(Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN))

Integrada la base de datos, se inician las siguientes actividades:

- Se determinan las temperaturas mínimas anuales de cada una de las estaciones climatológicas.
- Rellenado de datos faltantes, en caso de existir.
- Filtrado de datos que pudieran afectar la muestra.
- Ajuste de función de probabilidad.

- Estimación de temperaturas mínimas asociados a diferentes periodos de retorno.
- Interpolación para determinar las isotermas para el Municipio.

- **Memoria de cálculo**

Para poder determinar las temperaturas mínimas asociadas a los periodos de retorno, (2, 5, 10, 20, 50 y 100 años), se recurrió a un ajuste de funciones de probabilidad a la serie obtenida. Estas funciones fueron: Normal, LogNormal, Gamma, Exponencial, Gumbel y DobleGumbel.

La función que presentara el menor error cuadrado es la que se utilizó para el cálculo de los periodos de retorno antes mencionados

Nivel de peligro por temperaturas mínimas de acuerdo a su periodo de retorno: Muy bajo (Azul Claro), Bajo (Azul Cielo), Medio (Azul Rey), Alto (Azul Marino), Muy Alto (Azul Marino Oscuro).

En la siguiente Tabla 41 se muestran las temperaturas mínimas por estación para cada uno de los periodos de retorno antes mencionados

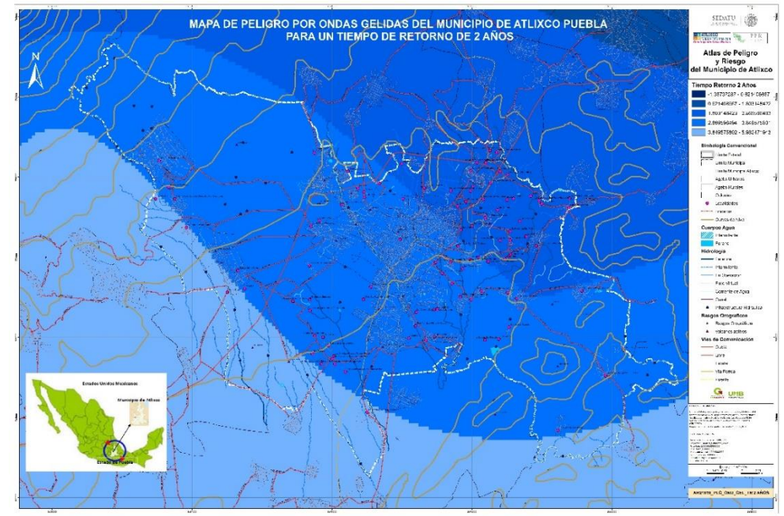
Tabla 41 Temperaturas mínimas por estación para cada uno de los periodos de retorno

ID de Estación	Nombre de la localidad	Tr_2	Tr_5	Tr_10	Tr_20	Tr_50	Tr_100
15007	AMECAMECA DE JUAREZ,	-3.84	-6.04	-7.18	-8.13	-9.19	-9.90
17028	JONACATEPEC, JONACATEPEC	4.54	1.47	-0.14	-1.46	-2.96	-3.95
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A	-0.14	-1.44	-2.16	-2.94	-4.02	-4.88
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN	8.25	5.93	4.72	3.72	2.59	1.84
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)	6.35	3.26	1.64	0.31	-1.19	-2.19
21235	SAN ISIDRO HUILOTEPEC	1.71	-1.18	-3.70	-5.63	-7.89	-9.55

(Fuente: Elaboración Propia)

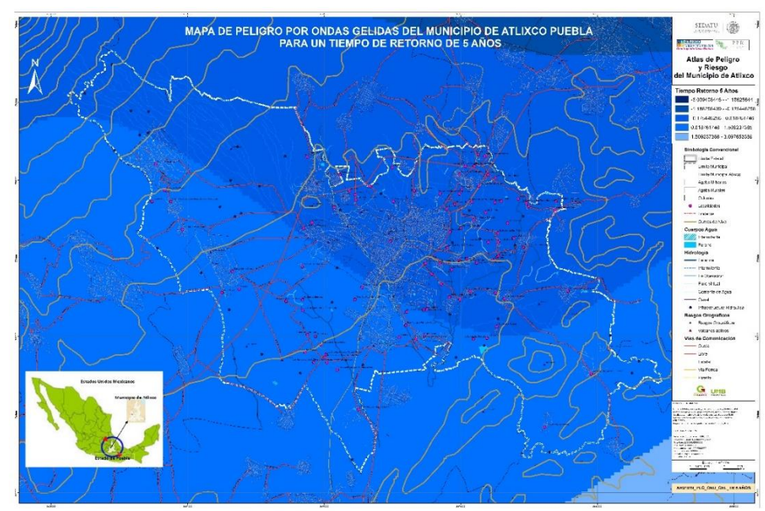
- **Resultados**

En los siguientes mapas (Ver Mapa 70 al Mapa 75), se presenta la distribución del índice de riesgos por ondas gélidas para un periodo diferentes periodos de retorno, esto para representar la situación más desfavorable para este municipio.



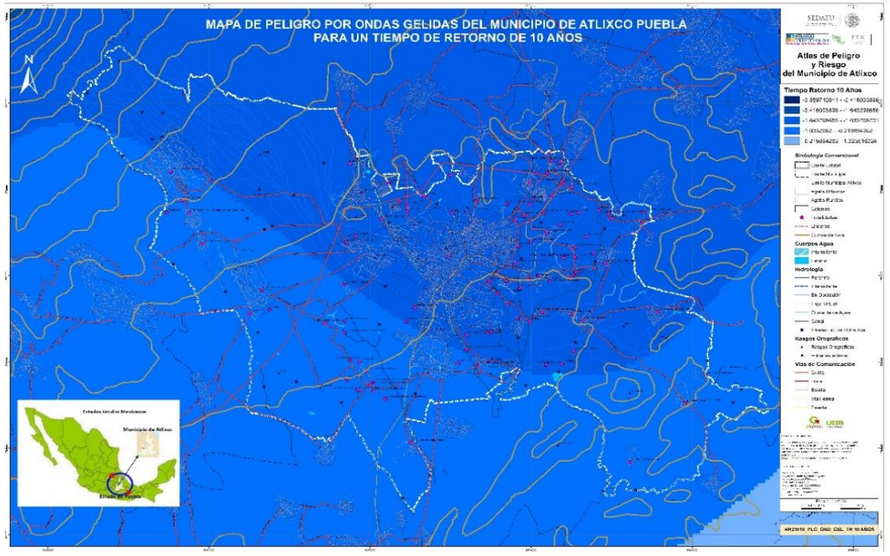
Mapa 70 Peligro por ondas gélidas para un período de retorno de 2 años

(Fuente: Elaboración Propia)



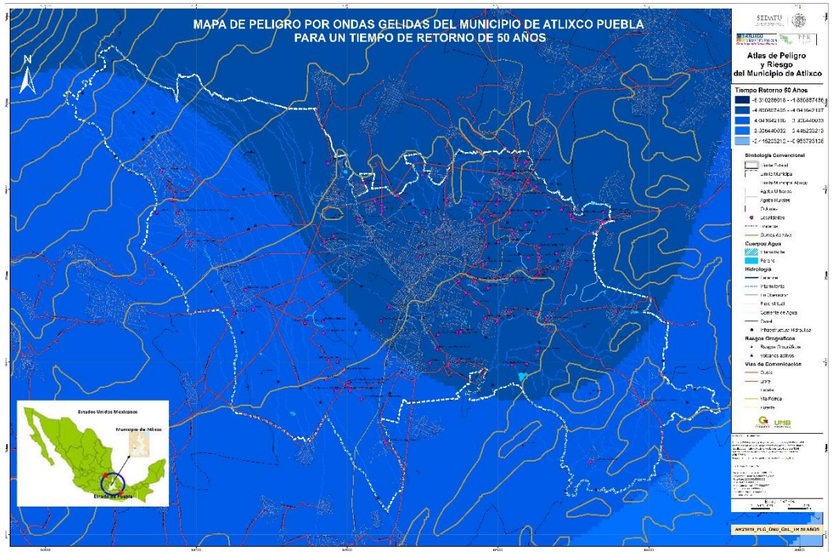
Mapa 71 Peligro por ondas gélidas para un período de retorno de 5 años

(Fuente: Elaboración Propia)



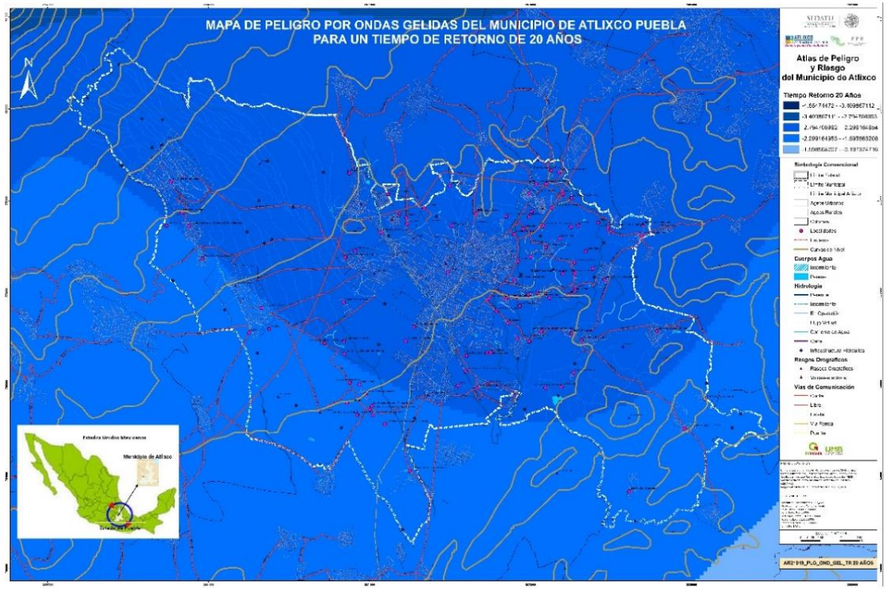
Mapa 72 Peligro por ondas gélidas para un período de retorno de 10 años

(Fuente: Elaboración Propia)



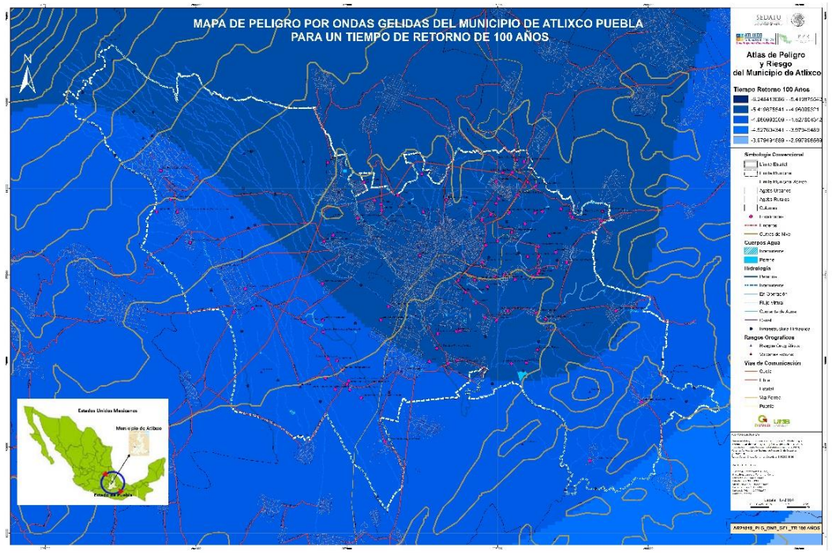
Mapa 74 Peligro por ondas gélidas para un período de retorno de 50 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 73 Peligro por ondas gélidas para un período de retorno de 20 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 75 Peligro por ondas gélidas para un período de retorno de 100 años

(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.13 Sequías

La sequía, como fenómeno natural asociado al ciclo hidrológico, ha sido poco estudiada y no precisamente por carecer de importancia, sino por lo complicado que resulta analizarla debido a los múltiples factores que son causa y efecto de la misma. De hecho, el reconocimiento de la sequía como fenómeno hidrológico extremo, dista mucho de tener las características de otros como son las grandes avenidas. Por ello, se ha llegado a mencionar que la sequía es un «no evento», debido a que su ocurrencia, sobre todo en su inicio, no es fácilmente detectable como tal, sino que se le reconoce por los efectos que causa después de un cierto tiempo.

Para la caracterización de la sequía es muy importante determinar su duración, su intensidad o valor promedio del déficit de humedad y la severidad en términos del valor acumulado del déficit, de tal manera que estos parámetros ayudan en la difícil tarea de su catalogación. La distribución temporal y espacial de la precipitación (en cualquiera de sus formas: lluvia, nieve, granizo, etc.) determina si se presenta o no la sequía en una región. La severidad de la sequía radica en que es variable en el espacio ya que puede abarcar grandes extensiones de territorio, además de durar meses o años, por lo que sus efectos pueden ser catastróficos en comunidades que no se encuentran suficientemente preparados para afrontarlas.

- **Nivel de Análisis**

✓ Causas de las sequias

Las principales causas de las sequías están relacionadas con cambios en las presiones atmosféricas y alteraciones en la circulación general de la atmósfera (variaciones de los vientos a escala planetaria), así como modificaciones en la cantidad de luz solar reflejada en la superficie de la Tierra, cambios en la temperatura de la superficie de los océanos e incrementos en las concentraciones de bióxido de carbono en la atmósfera, que a su vez ocasionan variaciones espacio - temporales de las precipitaciones.

✓ Fenómeno de “El Niño”

Una de las causas de las sequías se atribuye a los cambios en la circulación general atmosférica que son provocados por el fenómeno de “El Niño”. Básicamente, este fenómeno consiste en un incremento de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial que provoca una disminución en el ascenso de aguas frías frente a las costas de Perú (sustento de una gran diversidad biológica) y que origina grandes cambios en los vientos y el transporte de humedad (figura 6). La aparición de estas aguas cálidas fue identificada por los pescadores del Perú, quienes observaron una disminución en la cantidad de peces capturados y le dieron el nombre de “El Niño”, porque se presentaba a finales de diciembre, coincidiendo con la temporada de Navidad.

✓ Condiciones normales del Pacífico tropical y Condiciones del Pacífico tropical durante “El Niño (Ver Fig. 45)

“El Niño” está relacionado con la Oscilación del Sur, esta última es una disminución de la presión atmosférica entre el Pacífico tropical oriental y occidental y que trae aparejadas variaciones climáticas a escala global. El acoplamiento entre ambos se conoce con el nombre de “El Niño-Oscilación del Sur” (ENSO). El ciclo del ENSO es irregular y genera perturbaciones atmosféricas que resultan en impactos climáticos a escala regional y global tales como sequías, lluvias intensas, períodos de calor y frío. Se pueden mencionar las grandes sequías que han afectado a países como Australia, Indonesia, noreste de Brasil y sur de África a causa de El Niño. Existen lapsos durante los cuales las aguas marinas superficiales del Pacífico ecuatorial, en lugar de calentarse se enfrían por abajo de cierta temperatura que también tiene consecuencias en el clima, a este fenómeno se le conoce como “La Niña”, por contraponerse a las condiciones del fenómeno de “El Niño”.

En los últimos años, la sequía ha adquirido una gran relevancia por los daños que ocasiona, que con frecuencia superan en magnitud a los que producen otros fenómenos hidrometeorológicos, y se torna más amenazador por el calentamiento atmosférico asociado al cambio global, entre cuyas secuelas el aumento en la frecuencia de sequías en determinadas zonas del planeta, es uno de los más serios problemas que enfrentará la humanidad, en especial los países ubicados en las zonas subtropicales, donde los altos niveles de radiación solar y evaporación se combinan con escasas precipitaciones y favorecen la recurrencia de periodos prolongados de sequía en áreas extensas (Salati y Nobre, 1991).

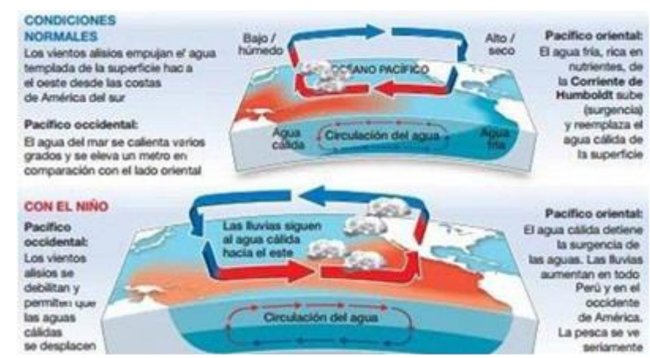


Fig. 45 Condiciones normales del Pacífico tropical y Condiciones del Pacífico tropical durante “El Niño”

(Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM))

- **Metodología**

Tomando como base los registros de precipitación históricos en las estaciones climatológicas: 15007, 17028, 21035, 21045, 21116 y 21235, se calculó el índice de severidad para cada año de lluvia, respecto de la media histórica en cada estación de medición climatológica

El índice de índices de aridez de acuerdo al método utilizado por María Engracia Hernández, se describe a continuación, donde:

$$IS = \frac{\sum Y - \sum X}{\sum X}$$

Y= Precipitación mensual registrada

X= Precipitación mensual histórica

Calculados los índices de severidad para cada año de la muestra (1981-2008), se tipifican de acuerdo a la clasificación propuesta a continuación:

El índice de severidad de la sequía meteorológica se clasificó en siete grados (Sancho y Cervera, et al., 1980):

- ✓ 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) Ausente (<0.2)

- **Memoria de Cálculo (síntesis)**

De cada una de las estaciones climatológicas se obtuvieron la precipitación mensual normal de acuerdo al periodo particular de cada una de las estaciones y por medio de la ecuación antes mencionada se fue calculando el índice de severidad en cada uno de los años de registro. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos en cada una de las estaciones (Ver Tabla 42).

Tabla 42 calculando el índice de severidad en cada uno de los años de registro

Estacion	Estado	Ajuste	X	Y	2	5	10	20	50	100	Sequia
15007	AMECAMECA DE JUAREZ,		523976.7407	2116444.5522	1.45	-0.3	-2.28	-5.07	-10.61	-16.86	-0.06
17028	JONACATEPEC, JONACATEPEC		536026.0568	2085150.3387	11.1	10.0	8.4	5.72	-0.55	-8.63	-0.07
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A		580934.2583	2102110.8542	1.5	1.49	1.43	1.08	-2.65	-22	-0.03
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN		587595.4176	2073259.4176	13.0	11.6	10.1	7.95	3.6	-1.3	-0.11
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)		542006.7531	2095674.5249	11.7	7.87	4.95	2.04	-1.82	-4.74	-0.09
21235	SAN ISIDRO HUILOTEPEC		565269.56	2088096.53	6.38	3.21	1.61	0.47	-0.53	-1.04	0

(Fuente: Elaboración Propia con registros de CLICOM)

- **Resultado del Análisis**

En la siguiente Tabla 43, se muestra la clasificación del índice de severidad de la sequía meteorológica obtenido en cada una de las estaciones climatológicas.

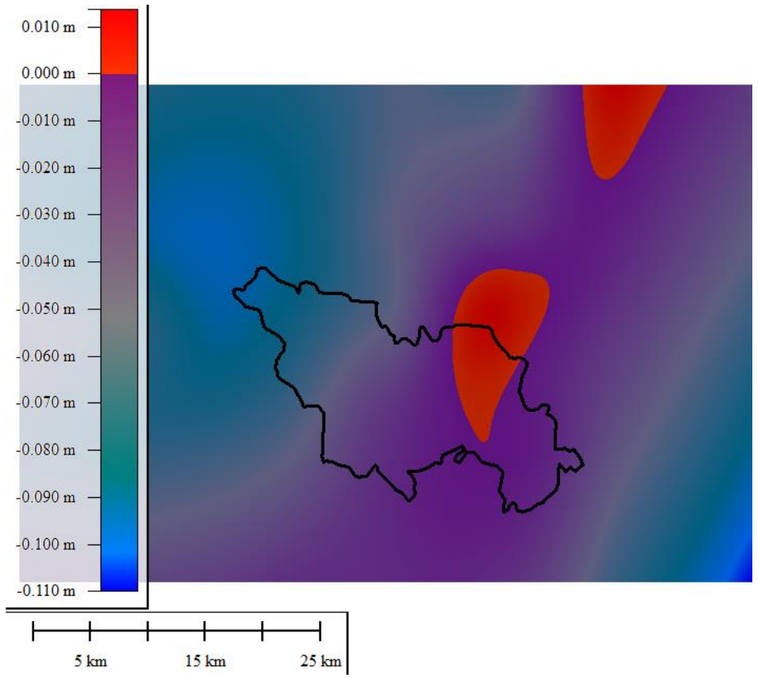
Tabla 43 Clasificación del Índice de Severidad

Intensidad	Detalles	R_P_V_E_A	Fuente	Metodolog	Tipo	Fen_Clasif	Ame_Ampl	Magni_uni	Magni_num	Perio_ret	Intens_uni	Intens_num
Muy Bajo	SIC	Vulnerabilidad	SIC	Parametros de Intensidad de Peligro	Interpolacion	Sequias	Estiaje	Indice	0.2	SIC	dias	0.2

(Fuente: Elaboración Propia con registros de CLICOM)

El índice de severidad histórico de todos los meses para el municipio de Atlixco en promedio ponderado de las estaciones climatológicas fue de 0.2 derivado del cálculo.

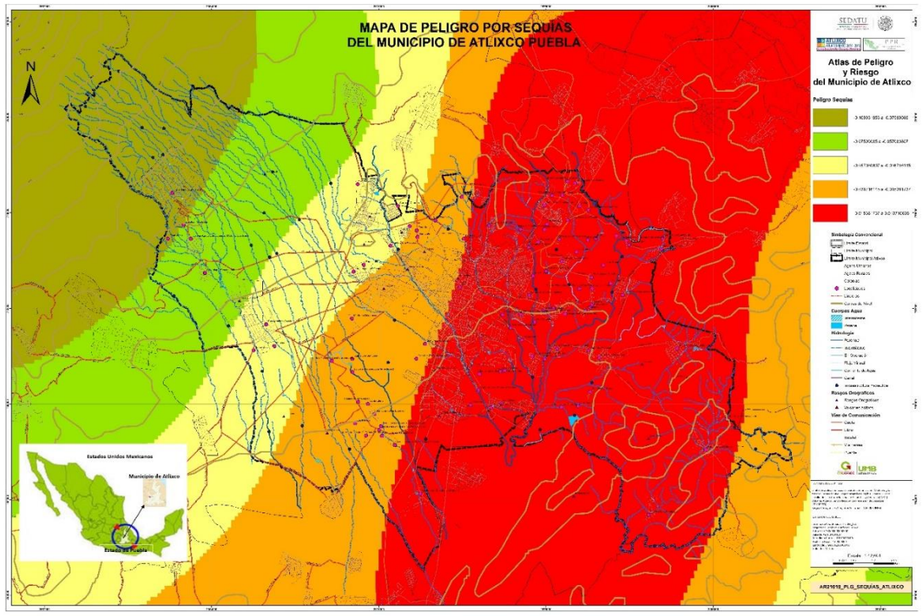
En el Mapa 76 se presenta la distribución del índice de peligros por sequía en el municipio de Atlixco, y el Mapa 77 re presenta el peligro por sequías del municipio de Atlixco.



Mapa 76 Distribución del índice de peligros por sequía en el municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia con registros de CLICOM)

- **Mapas resultantes con ponderación (Amenaza, Susceptibilidad o Peligro)**



Mapa 77 Peligro por Sequía del Municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.14 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 cumulunimbus (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) son arrastrados por corrientes ascendentes de aire.

Las piedras de granizo se forman dentro de una nube cumulunimbus a alturas superiores al nivel de congelación y crecen por las colisiones sucesivas de las partículas de hielo con gotas de agua sobreenfriada, esto es, el agua que está a una temperatura menor que la de su punto de solidificación, pero que permanece en estado líquido y 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. El tamaño de las piedras de granizo está entre los 5 milímetros de diámetro hasta pedriscos del tamaño de una pelota de golf y las mayores pueden ser muy destructivas, como para romper ventanas y abollar la lámina de los automóviles, pero el mayor daño se produce en los cultivos o a veces, varias piedras pueden solidificarse formando grandes masas de hielo y nieve sin forma. El depósito del granizo sobre la superficie terrestre exhibe un patrón angosto y largo a manera de un corredor. La mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20 y 50, tanto en el hemisferio norte como en el sur.

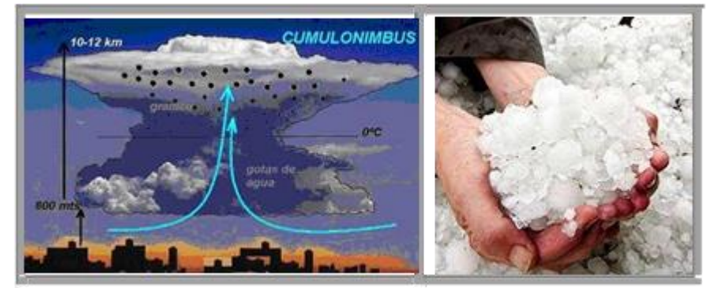


Fig. 46 Granizo

(Fuente: Alberto Nava Consultoria)

Daños que causan las tormentas de granizo

En México los daños más importantes por granizadas se presentan principalmente en las zonas rurales, ya que se destruyen las siembras y plantíos, causando, en ocasiones, la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones, alcantarillas y vías de transporte y áreas verdes. Cuando se acumula en cantidad suficiente puede obstruir el paso del agua en coladeras o desagües, generando inundaciones o encharcamientos importantes durante algunas horas. La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño.

- **Metodología**

Con base en las normales climatológicas históricas en las estaciones base climatológicas, se toman el número de granizadas promedio anuales históricos y se interpolan los datos de las estaciones con ayuda de un sistema de información geográfica (Ver Tabla 44).

Finalmente, se tipifican como zonas de alto peligro por granizadas, aquellas que registran más de 4 eventos al año. De mediano peligro aquel que registran entre 2.5 y 4 granizadas anuales, por debajo de este último umbral, las zonas tienen bajo peligro por granizadas.

Tabla 44 Estaciones climatológicas para tormentas de granizo que tienen influencia en el municipio de Atlixco

STATION_ID	STN_NAME
15007	AMECAMECA DE JUAREZ,
17028	JONACATEPEC, JONACATEPEC
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)

(Fuente: Elaboración Propia)

Para los periodos de retorno, (2, 5, 10, 20, 50 y 100 años), se recurrió a un ajuste de funciones de probabilidad a la serie obtenida, estas funciones fueron: Normal, LogNormal, Gamma, Exponencial, Gumbel y DobleGumbel.

Integrada la base de datos, se inician las siguientes actividades:

- Se determinan los días con granizo anuales de cada una de las estaciones climatológicas.
- Rellenado de datos faltantes, en caso de existir.
- Filtrado de datos que pudieran afectar la muestra.
- Ajuste de función de probabilidad.
- Estimación de días con tormenta de granizo asociados a diferentes periodos de retorno.
- Interpolación para determinar las isolíneas por tormenta de granizo para el Municipio

Nivel de peligro por Granizadas de acuerdo a su periodo de retorno: Muy bajo (verde), Bajo (Verde claro), Medio (amarillo), Alto (anaranjado), Muy Alto (rojo) (Ver Mapa 78 al Mapa 83).

La función que presentara el menor error cuadrado era la que se utilizaba para el cálculo de los periodos de retorno antes mencionados. En la siguiente tabla se muestran los días con granizo por estación para cada uno de los periodos de retorno antes mencionados (Ver Tabla 45).

Tabla 45 Días con granizo asociados a diferentes periodos de retorno

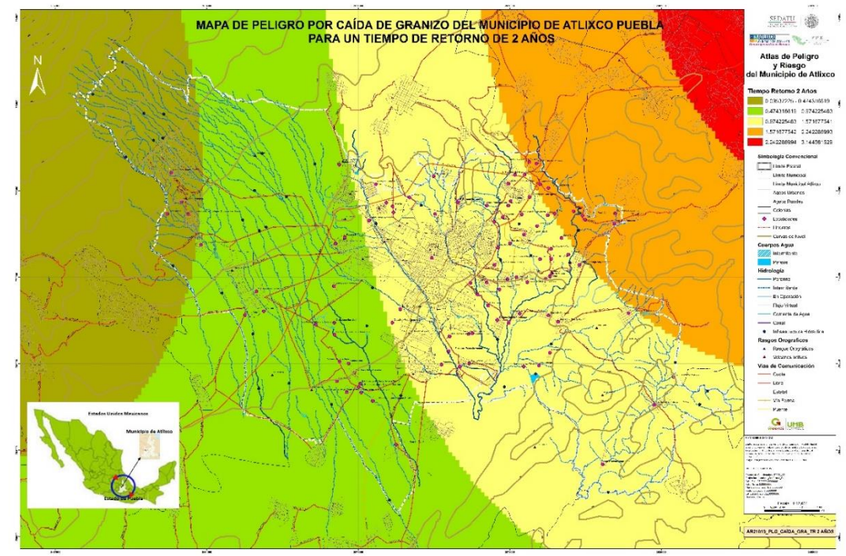
STATION_ID	STN_NAME	Tr_2	Tr_5	Tr_10	Tr_20	Tr_50	Tr_100
15007	AMECAMECA DE JUAREZ,	0.18	1.12	1.83	2.54	3.48	4.19
17028	JONACATEPEC, JONACATEPEC	0.40	1.45	2.24	3.04	4.09	4.89
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A	3.15	6.12	8.36	10.61	13.57	15.82
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN	0.59	2.35	3.68	5.01	6.77	8.10
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)	0.04	0.67	1.15	1.62	2.26	2.73

(Fuente: Elaboración Propia)

- **Resultado del Análisis**

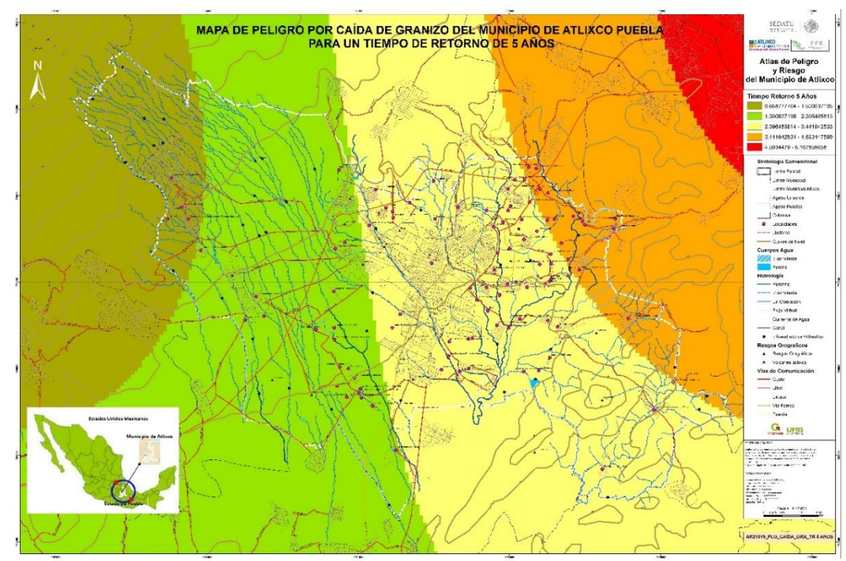
En los siguientes mapas se presenta la distribución del índice de riesgos para tormentas de granizo para diferentes periodos de retorno, esto para representar la situación más desfavorable para este Municipio.

- **Mapas resultantes con ponderación (Amenaza, Susceptibilidad o Peligro)**



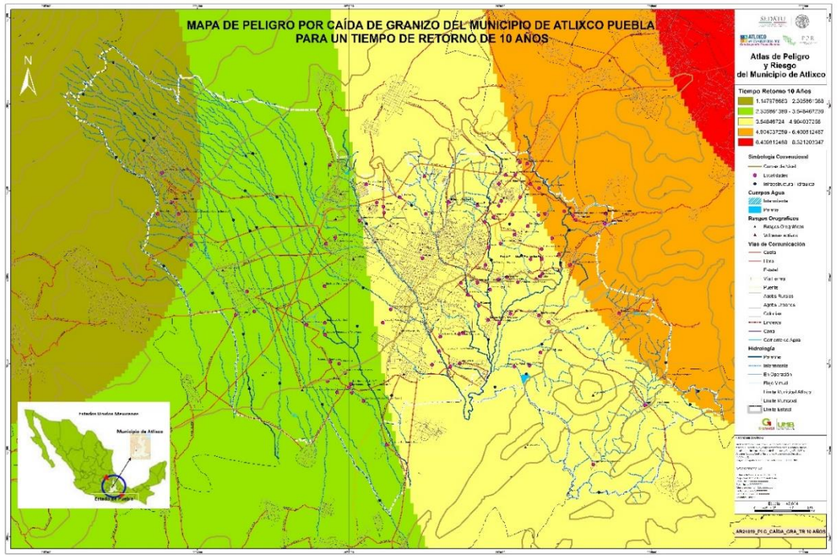
Mapa 78 Peligro por caída de granizo para un período de retorno de 2 años

(Fuente: Elaboración Propia)



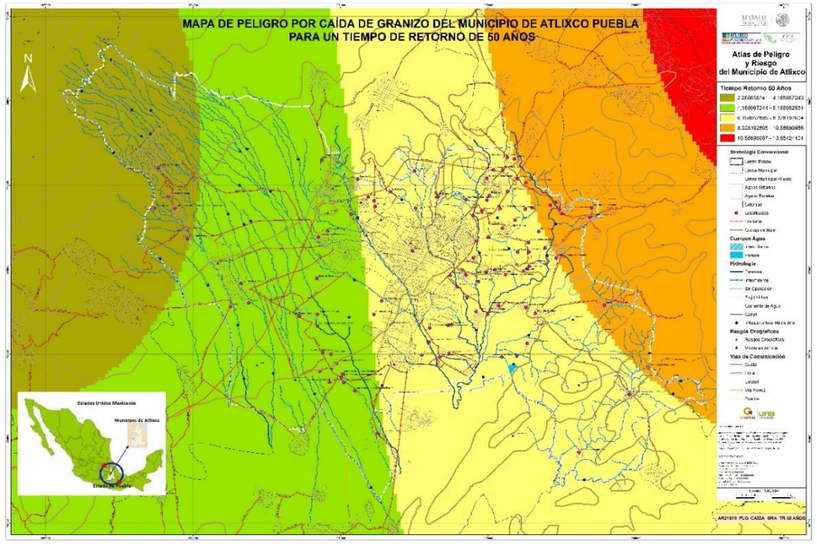
Mapa 79 Peligro por caída de granizo para un período de retorno de 5 años

(Fuente: Elaboración Propia)



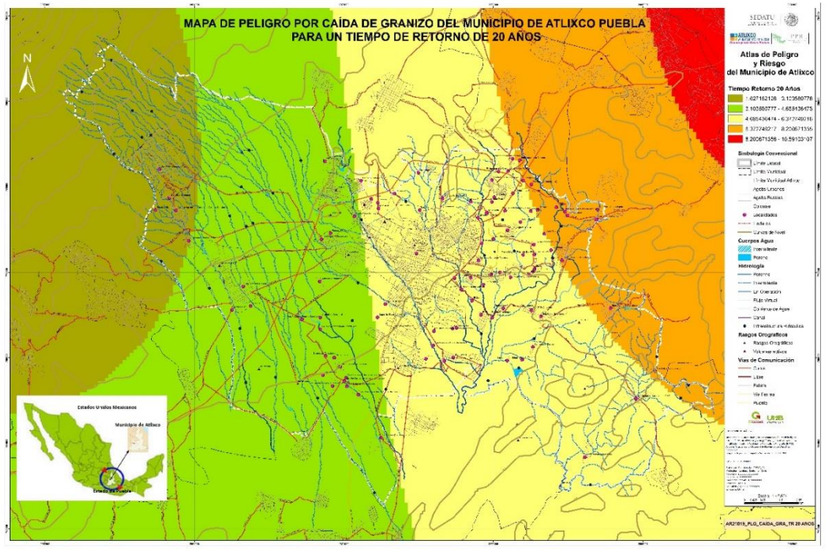
Mapa 80 Peligro por caída de granizo para un período de retorno de 10 años

(Fuente: Elaboración Propia)



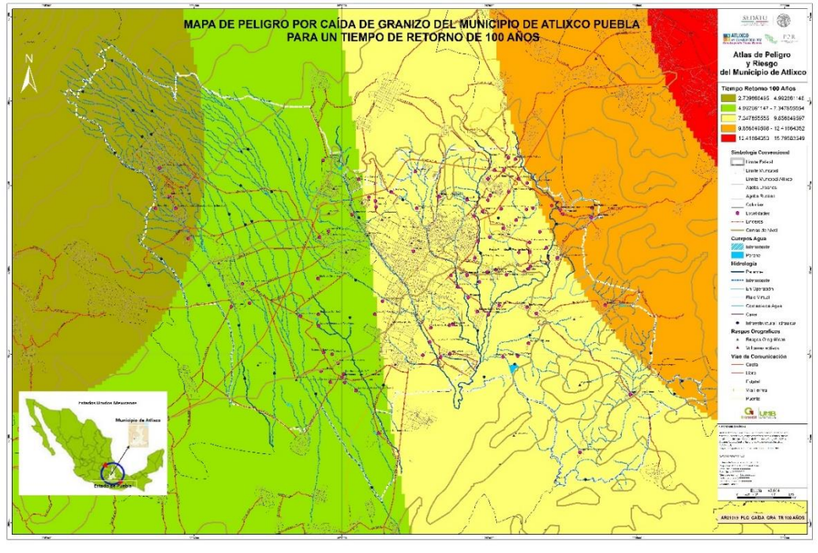
Mapa 82 Peligro por caída de granizo para un período de retorno de 50 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 81 Peligro por caída de granizo para un período de retorno de 20 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 83 Peligro por caída de granizo para un período de retorno de 100 años

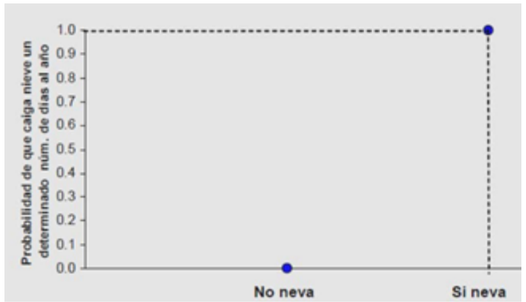
(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.15 Tormentas de nieve

Debido a la situación geográfica de nuestro país son pocas las regiones que padecen de nevadas, siendo más acentuado este fenómeno en regiones altas como montañas o sierras, principalmente, durante el invierno. Un caso extraordinario ocurrió en el invierno de 1967, donde aproximadamente el 50% del territorio nacional resultó afectado por una nevada, incluso en el Valle de México.

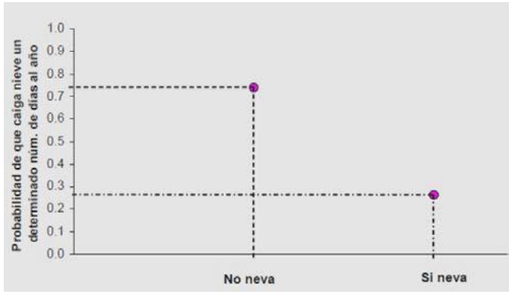
Las nevadas principalmente ocurren en el norte del país y en las regiones altas, y rara vez se presentan en el sur. De la "Guía Básica para la Elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales", página 386, en la región del Nevado de Toluca se tienen las siguientes funciones de peligro para el Nevado de Toluca:

Ecuación 1 Función de peligro para el primer grupo, altitud > 3000 msnm

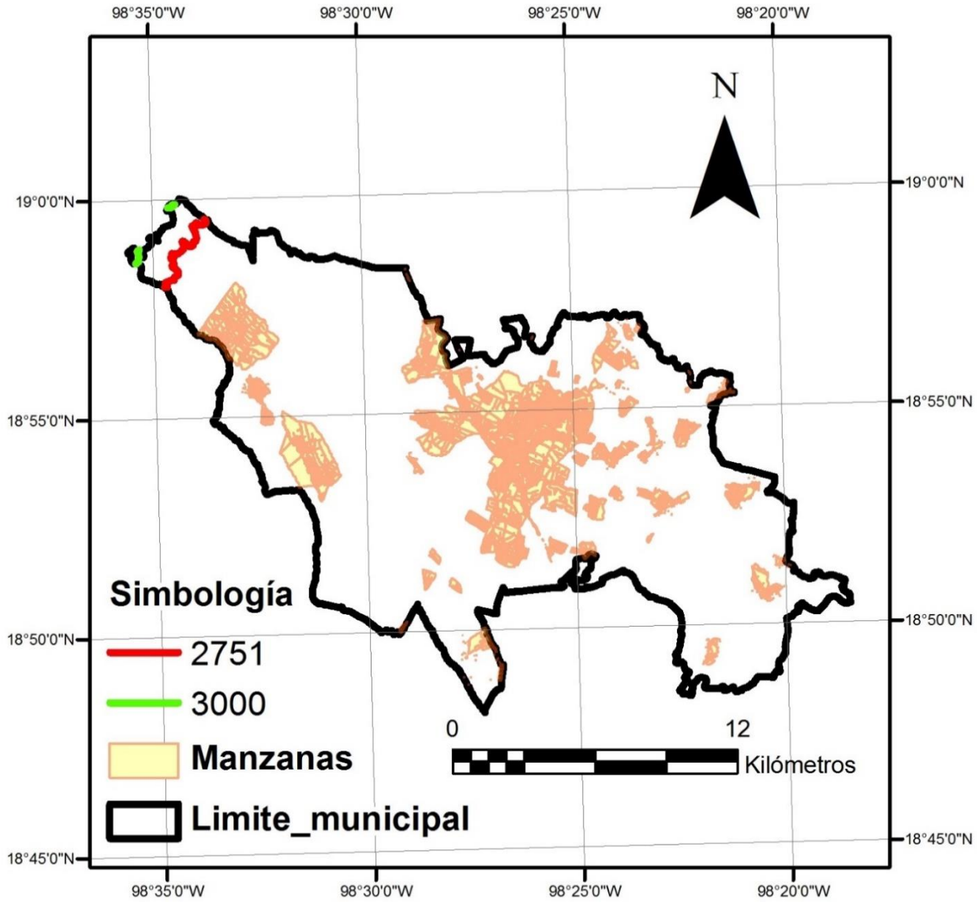


(Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales)

Ecuación 2 Función de peligro para el segundo grupo, altitud entre 2751 y 3000 msnm



(Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales)



Mapa 84 Peligro por tormentas de nieve en el municipio de Atlixco

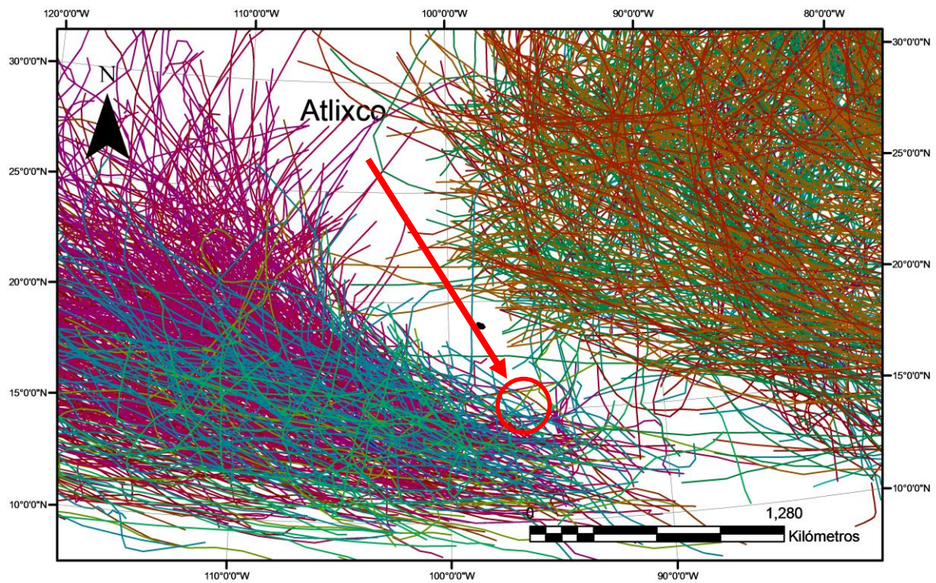
(Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales)

Partiendo de esta premisa, y dado que solo una pequeña parte del municipio se encuentra por arriba de la cota 2751 msnm donde no hay población se establece que el peligro por tormentas de nieve no aplica (Ver Mapa 84).

5.1.16 Ciclones tropicales

El Servicio Meteorológico Nacional define a los ciclones tropicales como "un remolino gigantesco que cubre cientos de miles de kilómetros cuadrados y tiene lugar, primordialmente, sobre los océanos tropicales. Cuando las condiciones oceánicas y atmosféricas propician que se genere un ciclón tropical, la evolución y desarrollo de éste puede llegar a convertirlo en huracán"[25].

Después de analizar la información histórica sobre las trayectorias de ciclones tropicales que se han formado en el Océano Pacífico y en el Atlántico en el periodo (Ver Mapa 85), se observa que **ni un solo evento de este tipo ha impactado en el municipio de Atlixco, por lo que no se consideró su análisis en el presente Atlas.**



Mapa 85 Trayectorias de ciclones tropicales

(Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2017)

5.1.17 Tornados

Los tornados son una de las perturbaciones atmosféricas más violentas, se caracterizan por su forma de vórtice, el cual aparece en la base de una nube de tipo cumuliforme, resultado de una gran inestabilidad, provocada por un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica alrededor de éste. Los tornados se forman cuando chocan masas de aire con diferentes características físicas de densidad, temperatura, humedad y velocidad.[26]

Cuando se observa un tornado se puede distinguir una nube de color blanco o gris claro, mientras que el vórtice se encuentra suspendido de ésta; cuando el vórtice o remolino hace contacto con la tierra se presenta una nube de un color gris oscuro o negro debido al polvo y escombros que son succionados del suelo por la violencia del remolino. Estos vórtices llamados también chimeneas o mangas, generalmente rotan en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte y al contrario en el hemisferio sur. En algunas ocasiones se presentan como un cilindro, con dimensiones que pueden ser desde decenas de metros hasta un kilómetro; el diámetro puede variar ligeramente entre la base de la nube y la superficie del suelo.

Algunos tornados están constituidos por un solo vórtice, mientras que otros forman un sistema de varios de ellos que se mueven en órbita alrededor del centro de la circulación más grande del tornado. Estos vórtices se pueden formar y desaparecer en segundos, Los tornados pueden ser locales, pero la rapidez con que se desarrollan los hace muy peligrosos para la gente. Los daños que ocasionan son diversos, entre los que destacan: pérdidas económicas a la agricultura, a las viviendas, a la infraestructura urbana, lesiones, cortaduras e incluso, pérdidas humanas. Los daños de los tornados son el resultado de la combinación de varios factores:

- La fuerza del viento provoca que las ventanas se abran, se rompan cristales, haya árboles arrancados de raíz y que automóviles, camiones y trenes sean lanzados por los aires.
- Los impactos violentos de los desechos que porta y que son lanzados contra vehículos, edificios y otras construcciones, etc.
- La baja presión del interior del tornado, provoca la falla de algunos elementos estructurales y no estructurales sobre las que se posa, como las ventanas.

En México no existe sistema alguno que permita alertar la presencia de este fenómeno hidrometeorológico; sin embargo, ya comienza a haber instrumentación capaz de detectar superceldas y, tal vez, tornados, como es el caso del radar Doppler "Mozotal", recientemente instalado en el estado de Chiapas, operado por el Servicio Meteorológico Nacional.

[25] (Servicio Meteorológico Nacional, 2017)

[26] (CENAPRED, 2014)

Para el municipio de Atlixco el peligro por tornados no aplica.

5.1.18 Tormentas polvo

Una tormenta es un fenómeno caracterizado por la coexistencia próxima de dos o más masas de aire de diferentes temperaturas. Este contraste asociado a los efectos físicos implicados desemboca en una inestabilidad caracterizada por lluvias, vientos, relámpagos, truenos y ocasionalmente granizos entre otros fenómenos meteorológicos

Aunque científicamente se define como tormenta a aquella nube capaz de producir un trueno audible, también se denominan tormentas en general a los fenómenos atmosféricos violentos que en la superficie de la tierra están asociados a lluvia, hielo, granizo, electricidad, nieve o vientos fuertes que pueden transportar partículas en suspensión como la tormenta de arena o polvo, incluso pequeños objetos o seres vivos. Son eventos de corta duración y que se desarrollan principalmente en zonas planas.

Formación

Para la formación de este tipo de fenómenos es necesario que haya un contraste térmico entre el suelo y las capas medias y altas de la atmósfera. Como la superficie de la tierra está más cálida, las masas de aire junto con el polvo que arrastran de la misma, pueden llegar hasta niveles altos de la troposfera. Pero la cosa no acaba ahí, puesto que necesitan que este aire choque con otro algo más frío para que pueda elevarse aún más; y de eso se encargará el aire frío de las capas más altas de la atmósfera.

Así pues, debe de haber un sistema frontal en una zona que tenga la superficie cálida y árida. El sistema de aire frontal, al estar frío, desplaza el aire cálido que se encuentra en el lugar, haciendo que el gradiente de presión aumente. De esta manera, la velocidad del viento también se incrementa, situándose entre los 80 y los 160km/h, causando turbulencias. Las temperaturas en superficie, al estar muy cálidas, provocan corrientes de convección.

Las partículas pueden, de ese modo, permanecer suspendidas en el aire por mucho tiempo.

Los terrenos donde más se producen son aquellos en los que no hay apenas vegetación alguna, hecho que favorece que las partículas puedan ser elevadas hacia arriba. Por ejemplo, en el desierto del Sáhara o en las llanuras de América del Norte, son muy habituales.

Para el municipio de Atlixco el peligro por tormentas de polvo no aplica.

5.1.19 Tormentas eléctricas

Una tormenta eléctrica se forma por una combinación de humedad entre el aire caliente que sube con rapidez y una fuerza capaz de levantarlo, como un frente frío, una brisa marina o una montaña. Todas las tormentas eléctricas contienen rayos, los cuales pueden ocurrir individualmente, en grupos o en líneas. El ciclo de duración de una tormenta es de sólo una o dos horas y empieza cuando una porción de aire está más caliente que el de su entorno, o bien, cuando el aire más frío penetra por debajo de ella.

El estado de madurez de una tormenta está asociado con grandes cantidades de precipitación y rayos. Los efectos de las tormentas eléctricas van desde herir o causar el deceso de una persona de forma directa o indirecta hasta dañar la infraestructura de la población, que provocaría la suspensión de la energía eléctrica, además de afectar algunos aparatos (radio, televisión, computadoras, refrigeradores, etc.). En ocasiones, las descargas eléctricas pueden provocar la muerte del ganado y son la causa más común del retraso de las aeronaves y de los accidentes aéreos, siendo el mayor peligro para la aviación (Hebbs, 2005).

Los riesgos asociados a los rayos, especialmente aquéllos que pueden producir heridos y decesos, han sido estudiados por países como Estados Unidos de América, Canadá y Reino Unido, entre otros. Dichos trabajos se refieren a la exposición de las personas durante una tormenta eléctrica y sus consecuencias, las cuales pueden ser parálisis, quemaduras, intensos dolores de cabeza, pérdida de audición y de la memoria, hasta llegar a la muerte (Mill, et al, 2008, Shearman y Ojala, 1999).

En México se registran, desde 1985 el número de decesos generados por el alcance de rayos (Secretaría de Salud, 2007). En los últimos 22 años se reportaron 4,848 defunciones en 31 estados del país; en promedio, al año se llegan a presentar 220 pérdidas humanas por tormentas eléctricas. El único estado que no ha registrado muertes es Baja California Sur, mientras que en el Estado de México se localiza el mayor número de casos, con 1,140 como se aprecia en la siguiente imagen.

Asimismo, en 1985 se presentó el mayor número de pérdidas humanas con 358, mientras que en 2006 fueron sólo 116, es decir, hubo una disminución de más del 50%. Este decremento se debió probablemente a que la gente conoce mejor el fenómeno y sus consecuencias, así como las medidas de protección. Las tormentas eléctricas en México ocurren entre mayo y octubre. Se presentan con mayor frecuencia durante horas de la tarde o de la noche. Además, su ámbito es local o regional y son intermitentes como resultado de la topografía del país (UNAM, 2007). Así, el promedio anual de días con tormenta es de 30 y el máximo es de 100 sobre las sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre del Sur, Madre de Chiapas, Montañas del Norte de Chiapas y Sistema Volcánico Transversal.

Por otra parte, las nubes convectivas de gran desarrollo vertical, como las que ocurren en la cuenca de México durante la temporada de lluvias, generalmente desarrollan campos eléctricos en su interior, resultado de la interacción entre las gotas de agua a temperaturas por debajo de cero grados, el granizo y los cristales de hielo (Binimelis, 2008).

- **Metodología**

Tomando como base las normales climatológicas históricas en las estaciones base climatológicas, se toman el número de tormentas eléctricas anuales y se interpolan los datos de las estaciones con ayuda de un sistema de información geográfica.

En la Tabla 46, se muestran las estaciones climatológicas.

Tabla 46 Estaciones climatológicas para días con tormentas eléctricas que tienen influencia en el municipio de Atlixco

ID de Estación	Nombre de la localidad
15007	AMECAMECA DE JUAREZ,
17028	JONACATEPEC, JONACATEPEC
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)

(Fuente: Elaboración Propia con Servicio Meteorológico Nacional, 2017)

Integrada la base de datos, se inician las siguientes actividades:

- Se determinan los días con tormentas eléctricas anuales de cada una de las estaciones climatológicas.
- Rellenado de datos faltantes, en caso de existir.
- Filtrado de datos que pudieran afectar la muestra.
- Ajuste de función de probabilidad.
- Estimación de días con tormenta eléctricas asociadas a diferentes periodos de retorno.
- Interpolación para determinar las isolíneas por tormentas eléctricas para el municipio.

- ## Memoria de Cálculo (síntesis)

Para poder determinar los días con tormentas eléctricas asociadas a los periodos de retorno, 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, se recurrió a un ajuste de funciones de probabilidad ala serie obtenida, estas funciones fueron, Normal, LogNormal, Gamma, Exponencial, Gumbel y DobleGumbel.

La función que presentara el menor error cuadrado es la que se utilizó para el cálculo de los periodos de retorno antes mencionados. En la Tabla 47, se muestran los días con tormentas eléctricas por estación para cada uno de los periodos de retorno antes mencionados.

Nivel de peligro por Tormenta Eléctrica de acuerdo a su periodo de retorno: Muy bajo (verde), Bajo (verde claro), Medio (amarillo), Alto (anaranjado), Muy Alto (rojo).

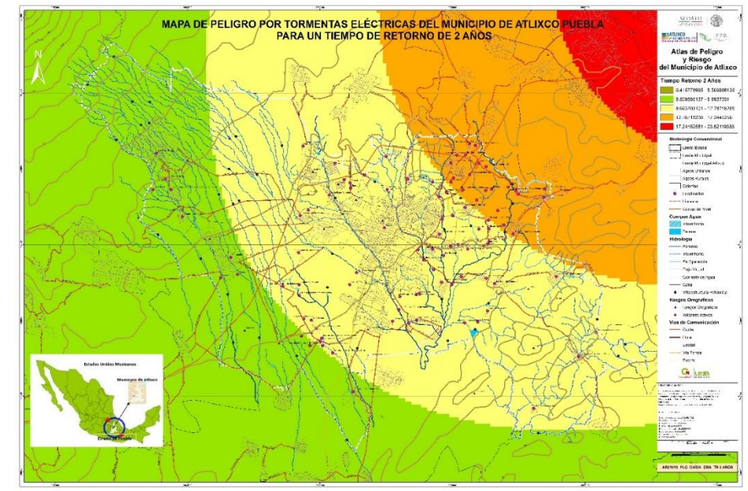
Tabla 47 Días con tormentas eléctricas a diferentes periodos de retorno

ID de la estación	Nombre de la localidad	Tr_2	Tr_5	Tr_10	Tr_20	Tr_50	Tr_100
15007	AMECAMECA DE JUAREZ	0.42	3.64	6.083	8.524	11.75	14.191
17028	JONACATEPEC, JONACATEPEC	5.35	25.1	40.11	55.09	74.88	89.855
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A	23.7	36.9	46.94	56.98	70.24	80.267
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN	2.32	14.9	24.45	33.99	46.59	56.122
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)	6.44	25.4	39.76	54.11	73.08	87.431

(Fuente: Elaboración Propia)

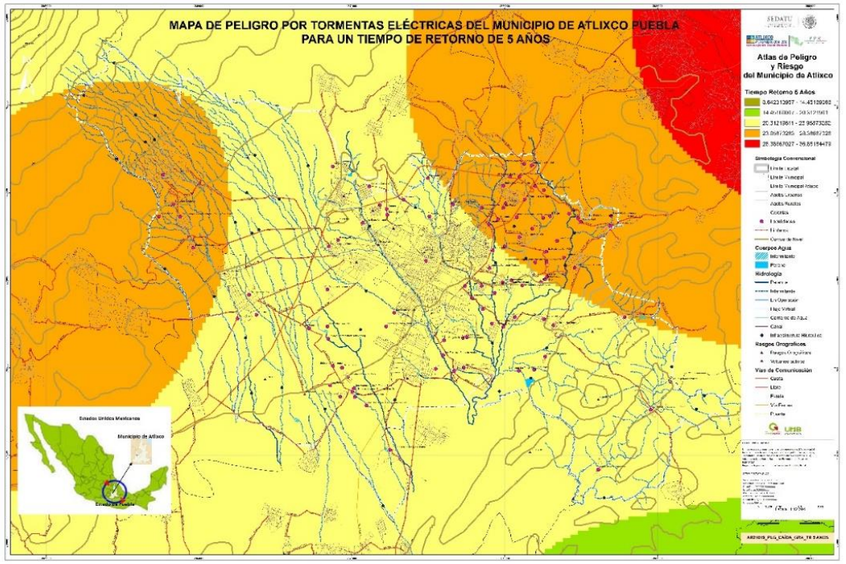
- ## Resultado del Análisis

En los mapas siguientes (Ver Mapa 86 al Mapa 91), se presenta la distribución del índice de riesgo para tormentas de eléctricas para los periodos de retorno, 2, 5, 10, 20, 50 y 100, esto para representar la situación más desfavorable para este municipio.



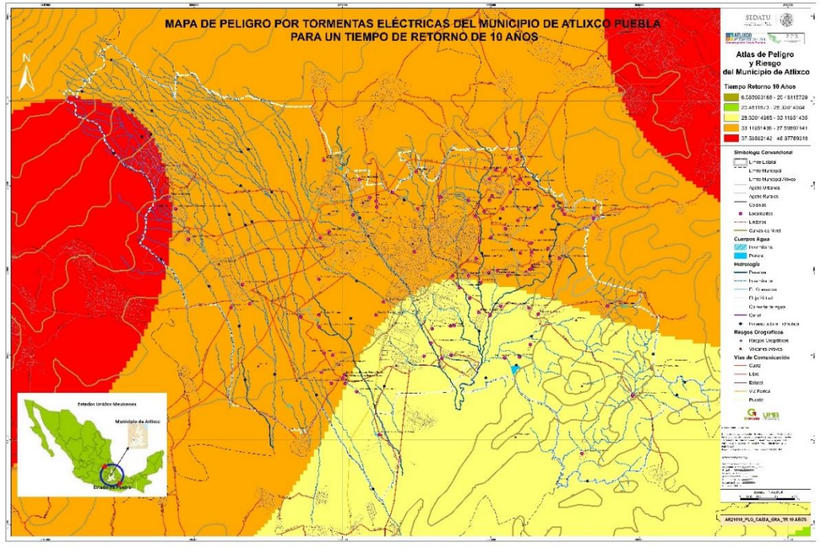
Mapa 86 Peligro por tormentas eléctricas para un período de retorno de 2 años

(Fuente: Elaboración Propia)



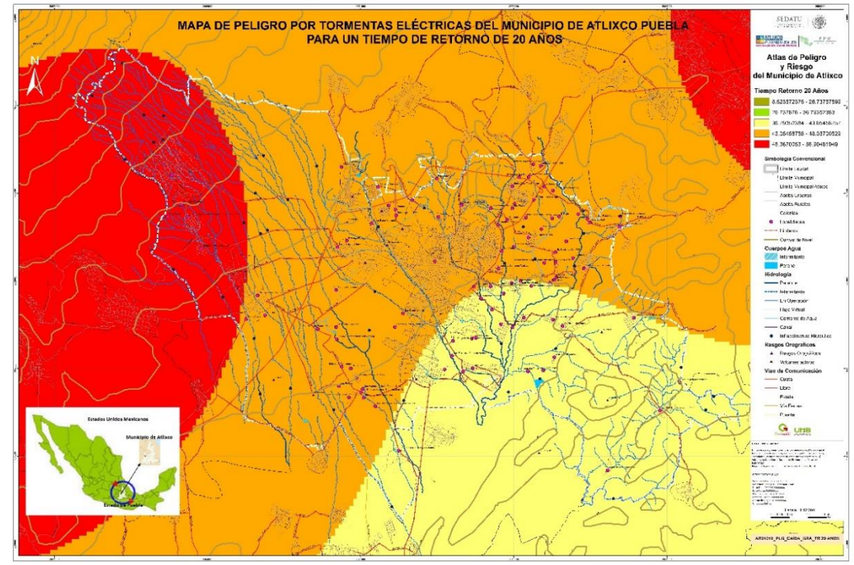
Mapa 87 Peligro por tormentas eléctricas para un período de retorno de 5 años

(Fuente: Elaboración Propia)



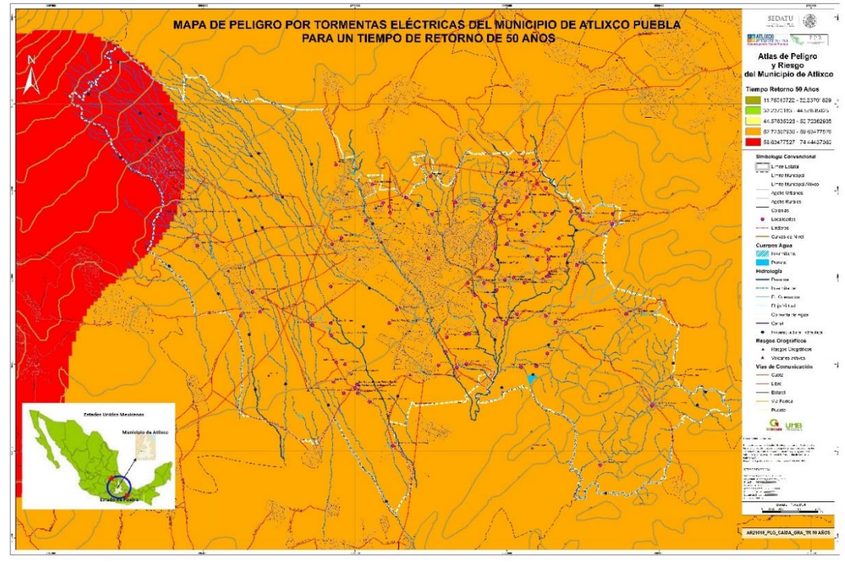
Mapa 88 Peligro por tormentas eléctricas para un período de retorno de 10 años

(Fuente: Elaboración Propia)



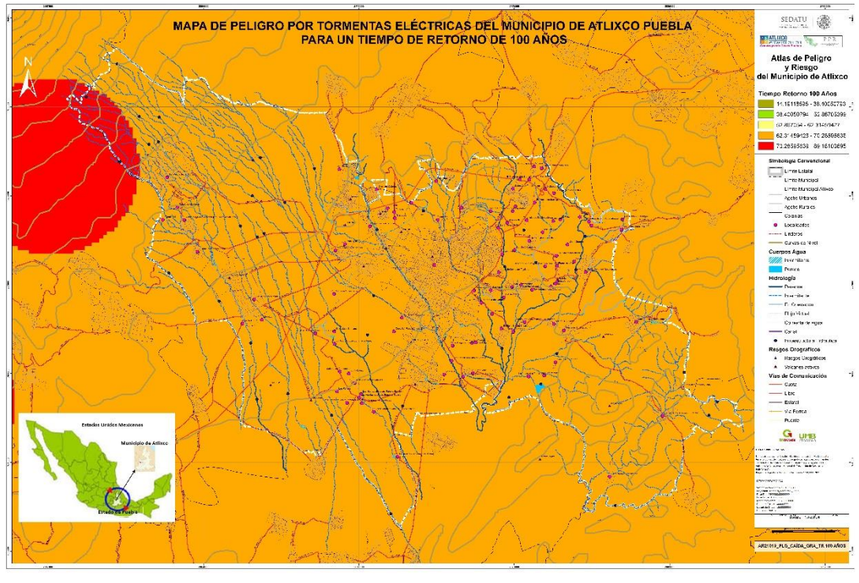
Mapa 89 Peligro por tormentas eléctricas para un período de retorno de 20 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 90 Peligro por tormentas eléctricas para un período de retorno de 50 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 91 Peligro por tormentas eléctricas para un período de retorno de 100 años

(Fuente: Elaboración Propia)

5.1.20 Lluvias extremas

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico porque es responsable de depositar agua fresca en el planeta. La precipitación es generada por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) que se forman caen a la Tierra por gravedad. Se puede inducir a las nubes a producir precipitación, rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, generando las gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación.

Las precipitaciones acuosas se clasifican como sigue:

Llovizna: es cuando apenas se alcanzan a ver las gotas. En una llovizna la pluviosidad es casi insignificante y se ve como si las gotas flotaran en forma pulverizada. Popularmente se le llama “garúa”, “orvallo”, “sirimiri”, “calabobos”.

“Chispear”: se usa para describir un término medio entre una llovizna y una lluvia débil. En comparación con la primera de éstas, la pluviosidad es mayor y las gotas también aumentan de tamaño.

Lluvia: propiamente dicha, va de débil a moderada, sin alcanzar la intensidad de una tormenta.

Chubasco: el viento, las gotas y la intensidad aumentan.

Tormenta: puede ser débil o intensa; su pluviosidad es alta y las gotas son grandes y el viento, intenso; incluye la posibilidad de que se precipite granizo.

Tromba: es más fuerte que la tormenta. Tiene viento intenso, gotas grandes, pluviosidad suficientemente alta para inundar y causar estragos. Esta lluvia tiene la capacidad de crear granizo sumamente grande y con posibilidad de aparición de tornados. Las trombas tienen vórtices de viento, como una especie de "ojo".

- **Nivel de Análisis**

El análisis de lluvias extremas se realizará hasta el Nivel 2 de acuerdo con los Términos de referencia de la SEDATU

- **Metodología**

Derivado de una clasificación del CENAPRED, la lluvia se califica con respecto a la cantidad de precipitación por hora (mm/h), siendo tipificada de la siguiente manera:

Débiles: cuando su intensidad es <= 2 mm/h.

Moderadas: > 2 mm/h y <= 15 mm/h.

Fuertes: > 15 mm/h y <= 30 mm/h.

Muy fuertes: >30 mm/h y <= 60 mm/h.

Del análisis estadístico de la variable climatológica reportada en la base de datos CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional, de las estaciones que tienen influencia en el municipio de Atlixco, se obtuvo el valor medio mensual para el periodo de registro de 1951-2008.

En la Tabla 48 se muestran las estaciones climatológicas.

Tabla 48 Estaciones climatológicas para días con tormentas eléctricas que tienen influencia en el municipio de Atlixco

21035-PUEBLA (DGE)-PUE-Precip.csv
21045-HUEHUETLAN EL GRANDE-PUE-Precip.csv
21050-JOLALPAN-PUE-Precip.csv
21063-PIAXTLA-PUE-Precip.csv
21065-PUEBLA (OBS)-PUE-Precip.csv
21071-SAN BALTAZAR TETELA-PUE-Precip.csv
21116-CHIAUTLA DE TAPIA-PUE-Precip.csv
21124-HUEHUETLAN EL CHICO-PUE-Precip.csv
21141-C.R.D.F. BENITO JUAREZ-PUE-Precip.csv
21172-SANTA MARIA COHETZALA-PUE-Precip.csv
21187-SAN JUAN PILCAYA-PUE-Precip.csv
21220-UNIVERSIDAD DE LA SIERRA-PUE-Precip.csv
21231-TEOPANTLAN-PUE-Precip.csv
21234-PRESA BOQUERONCITOS-PUE-Precip.csv
21235-SAN ISIDRO HUILOTEPEC-PUE-Precip.csv
21248-PUEBLA (CONAGUA)-PUE-Precip.csv

(Fuente: Elaboración propia con información de registros de CLICOM)

Integrada la base de datos, se inician las siguientes actividades:

- Se determinan los valores máximos diarios con registro de precipitación de cada una de las estaciones climatológicas.
- Ajuste de función de probabilidad.
- Estimación de días con tormenta de granizo asociados a diferentes periodos de retorno.
- Interpolación para determinar las isolíneas por lluvia para el municipio.

- **Memoria de Cálculo (síntesis)**

Para poder determinar los días con lluvias extremas asociados a los periodos de retorno, (5, 10, 25 y 50 años), se recurrió a un ajuste de funciones de probabilidad a la serie obtenida. Estas funciones fueron: Normal, LogNormal, Gamma, Exponencial, Gumbel y DobleGumbel (Ver Mapa 92 al Mapa 95).

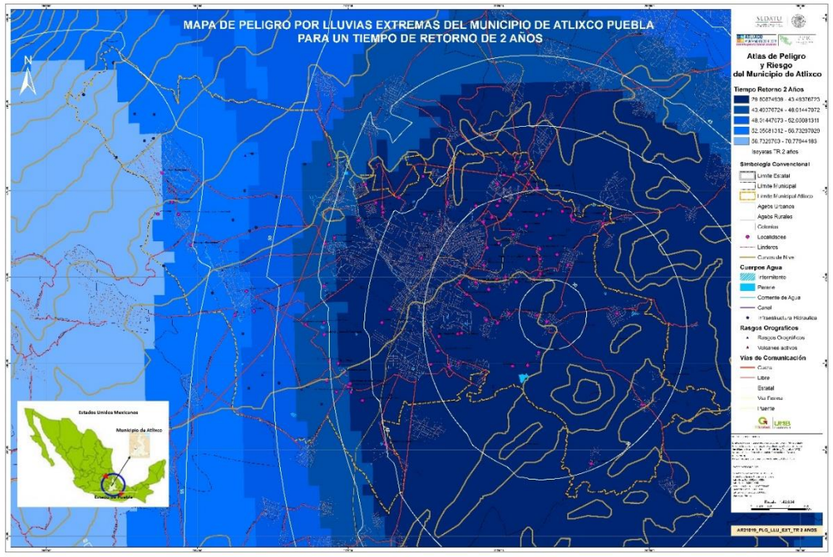
La función que presentara el menor error cuadrado era la que se utilizaba para el cálculo de los periodos de retorno antes mencionados. En la Tabla 49, se muestran las lluvias máximas por estación para cada uno de dichos periodos.

Tabla 49 Lluvias máximas para diferentes periodos de retorno

Clave	Estacion	Ajuste	Tr = 2	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 20	Tr = 50	Tr = 100
015007	AMECAMECA DE JUAREZ,	Gamma 2p	42.9	51.9	57.0	61.5	66.9	70.6
015015	AMECAMECA DE JUAREZ(SMN)	Nash	50.1	67.5	79.1	90.1	104.4	115.2
015028	EL TAJO, TEQUISQUIAC.	Nash	37.4	51.5	60.9	69.9	81.5	90.3
015054	MALINALCO, MALINALCO	Gumbel	51.3	64.4	73.1	81.4	92.2	100.2
015079	PUENTE ANDARO,	Nash	41.0	49.8	55.5	61.1	68.2	73.6
015102	SAN ONOFRE, SAN FELIPE	Gumbel	43.1	56.3	65.1	73.4	84.3	92.4
015105	SAN PEDRO TECHUCHULCO,	Nash	39.5	51.4	59.2	66.7	76.4	83.7
017006	EL RODEO, MIACATLAN	Normal	70.8	86.1	94.0	100.6	108.0	113.0
017020	TLACOTEPEC, ZACUALPAN	Nash	60.0	74.8	84.6	93.9	106.1	115.2
017024	YAUTEPEC, YAUTEPEC	Gumbel	58.7	77.2	89.5	101.3	116.5	127.9
017025	YECAPIXTLA, YECAPIXTLA	Gumbel	61.5	83.7	98.5	112.6	130.9	144.6
017028	JONACATEPEC, JONACATEPEC	Nash	59.8	72.5	81.0	89.1	99.5	107.4
017031	JOJUTLA DE JUAREZ (SMN)	Nash	55.1	67.2	75.2	82.9	92.9	100.4
017043	YECAPIXTLA E.T.A. 118,	Gumbel	61.7	75.8	85.0	94.0	105.5	114.1
017052	YECAPIXTLA, YECAPIXTLA	Nash	66.2	86.7	100.3	113.3	130.2	142.8
017054	MOYOTEPEC,VILLA DE AYALA	Nash	50.7	69.0	81.0	92.6	107.6	118.9
017063	TECAJEC, YECAPIXTLA	Nash	49.7	63.9	73.4	82.5	94.2	103.0
017071	PROGRESO, JIOTEPEC	Gumbel	64.4	84.1	97.2	109.8	126.1	138.2
017078	T.DEL VOLCAN,T.DEL VOLCA	Gumbel	60.3	75.5	85.6	95.2	107.7	117.0
021035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A	Gamma 2	54.3	65.1	71.3	76.7	83.1	87.5
021045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN	Gumbel 2	49.4	77.3	97.4	112.7	130.7	143.9
021050	JOLALPAN, JOLALPAN (SMN)	Nash	56.6	79.7	95.0	109.6	128.6	142.8
021063	PIAXTLA, PIAXTLA	Nash	67.4	96.3	115.5	133.8	157.6	175.4
021071	SAN BALTASAR TETELA, DGE	Nash	39.8	52.3	60.6	68.6	78.9	86.6
021114	ZOQUITLAN, ZOQUITLAN	Normal	61.9	73.9	80.1	85.3	91.1	95.0

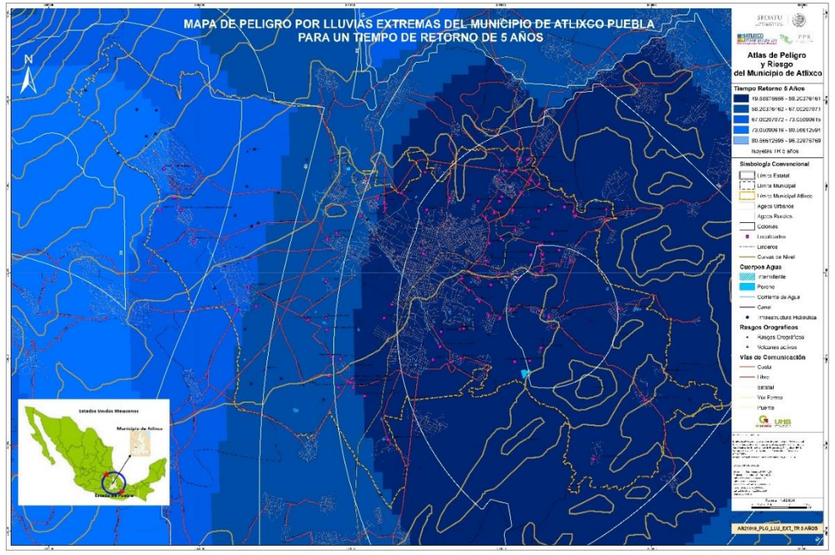
(Fuente: Elaboración propia)

- **Resultado del Análisis**



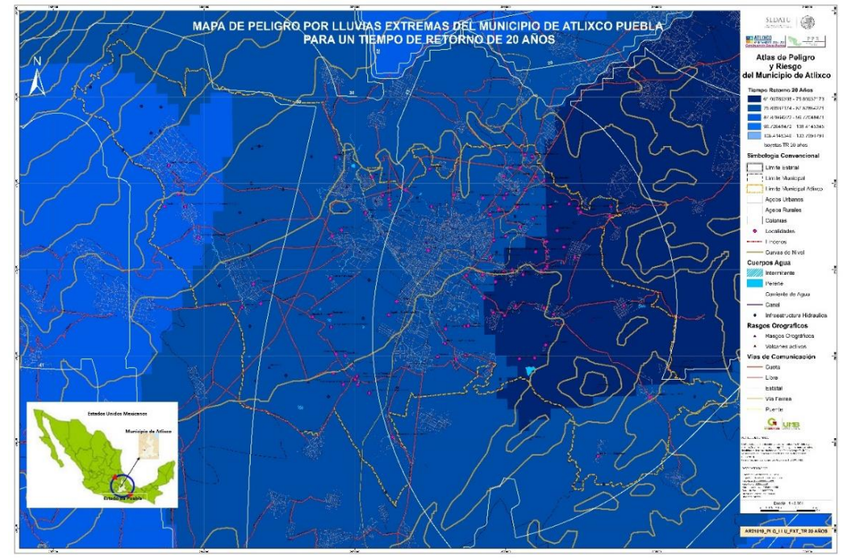
Mapa 92 Peligro por lluvias extremas con Isoyetas para un período de retorno de 2 años

(Fuente: Elaboración propia)



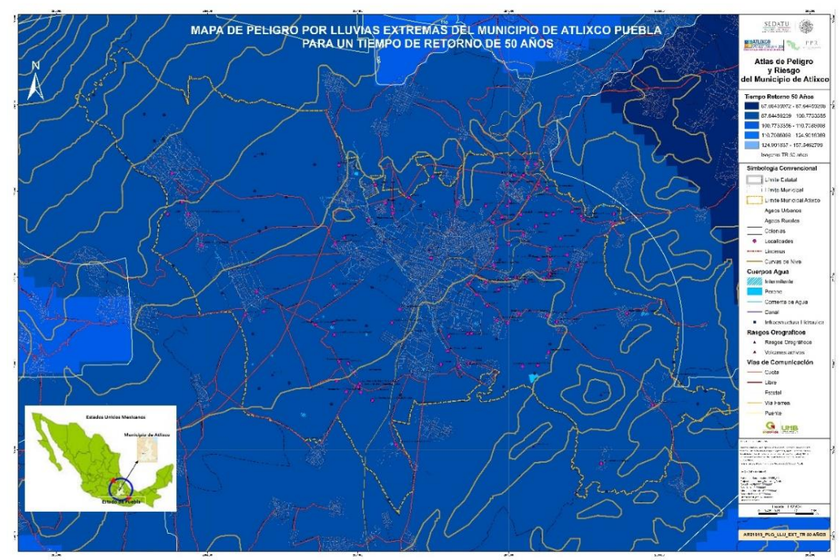
Mapa 93 Peligro por lluvias extremas con isoyetas para un período de retorno de 5 años

(Fuente: Elaboración propia)



Mapa 94 Peligro por lluvias extremas con Isoyetas para un período de retorno de 20 años

(Fuente: Elaboración propia)



Mapa 95 Peligro por lluvias extremas con Isoyetas para un período de retorno de 50 años

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.21 Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres.

- **Nivel de Análisis**

El análisis de Inundaciones se realizará hasta el Nivel 2 de acuerdo con los Términos de referencia de la SEDATU.

- **Metodología**

Con base en las metodologías se determinarán los siguientes análisis con sus mapas respectivos: Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos (BEEAR 2015) De la SEDATU y Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas.

- Análisis hidrológico
- Análisis hidráulico
- Vulnerabilidad
- Mapas de Riesgo

- **Memoria de Cálculo (síntesis)**

En esta sección se detallan las tareas para obtener uno o más mapas de peligro por inundación, en los cuales se muestren zonas de inundación asociadas a diferentes periodos de retorno.
Para lograr lo anterior, se deberá llevar a cabo el siguiente procedimiento:

- **Recopilación de datos**

La metodología para elaborar los mapas de peligro por inundación considera necesario cumplir con ciertos requerimientos tales como, utilizar el software especializado:
ArcGIS 9.3 o mayor
Modelos Digitales del Terreno (MDT) o el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) versión 3.0, para mayor precisión un levantamiento topobatimétrico.
Hec-Ras
Estudio hidrológico

- **Gastos de diseño**

Para estimar los caudales de diseño en cualquier cuenca, se requiere la siguiente información:

Mapas de isoyetas, elaborados por el II de la UNAM y el CENAPRED, o bien,

Curvas hp - d - Tr, o

Curvas i - d - Tr, e incluso

Estudio hidrológico de la zona

La metodología descrita a continuación será para el cuarto caso, donde se presentan los gastos para los diferentes periodos de retorno.

Características fisiográficas de la cuenca

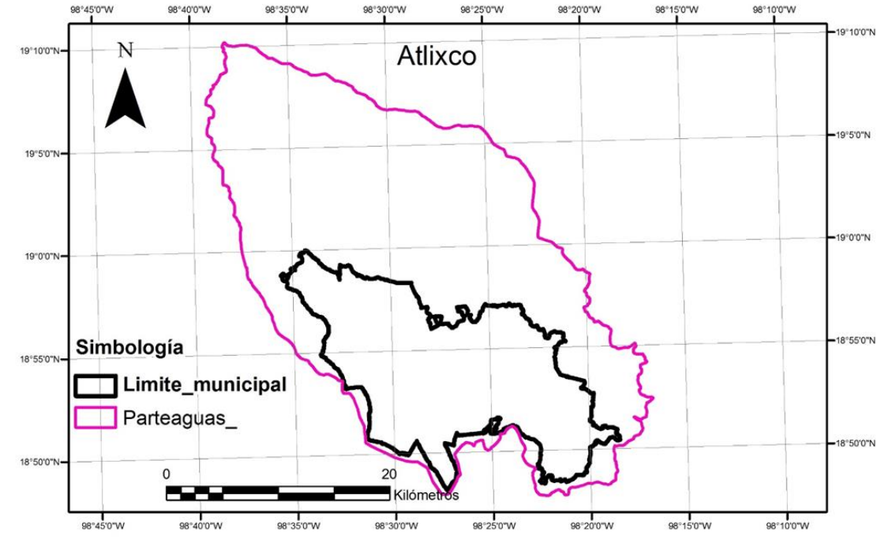


Fig. 47 Parteaguas de la cuenca del municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

.

Para el caso de México, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) es quien proporciona los MDT. El utilizado para este estudio corresponde a un vuelo LIDAR disponible en la página de INEGI con el siguiente mosaico.

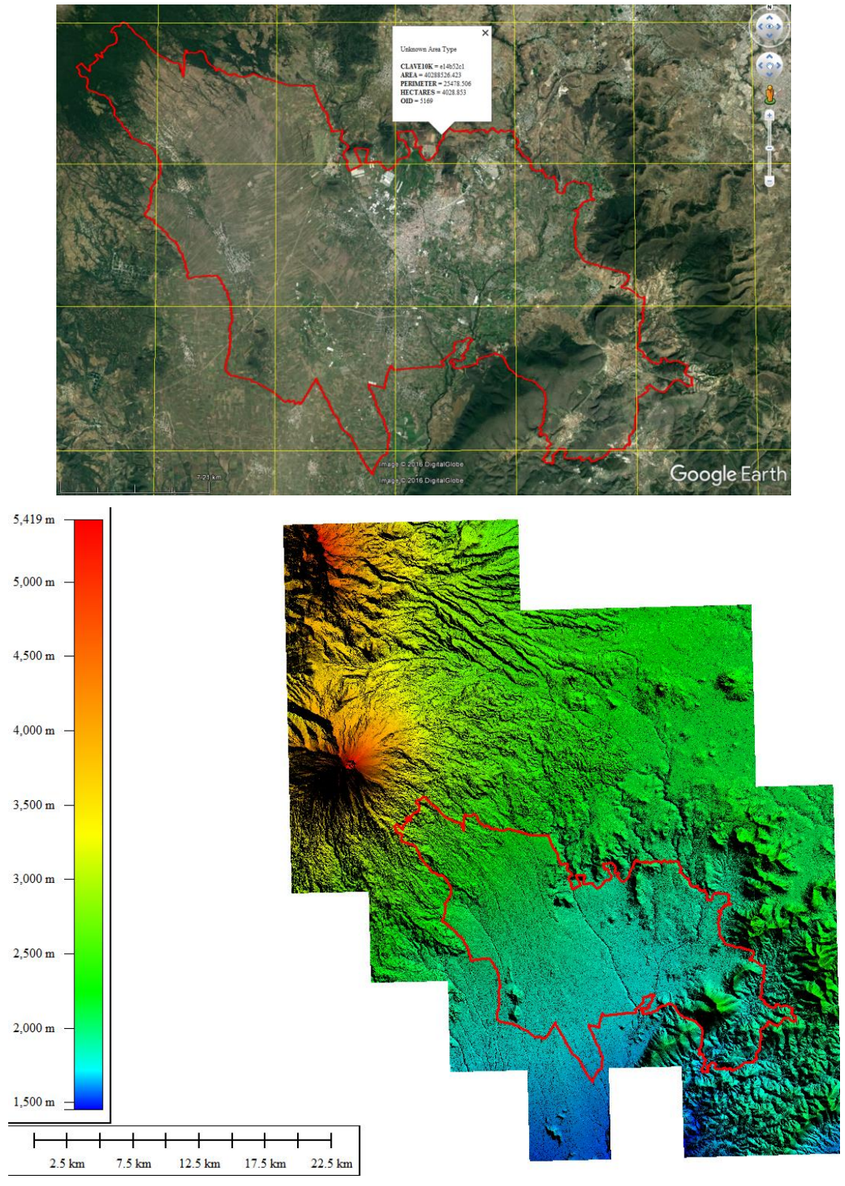
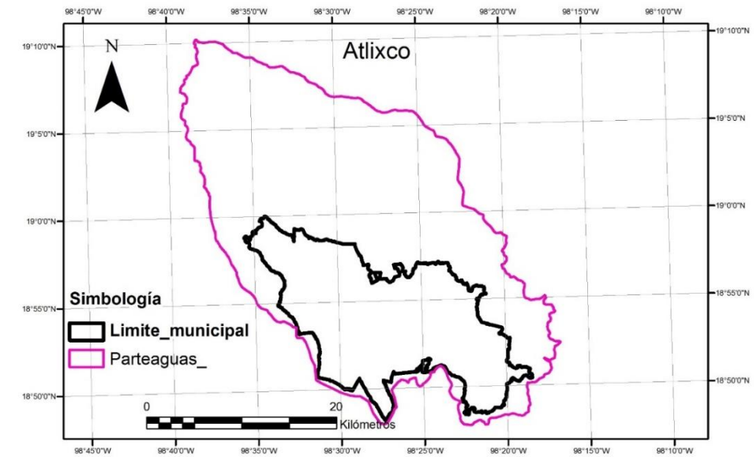


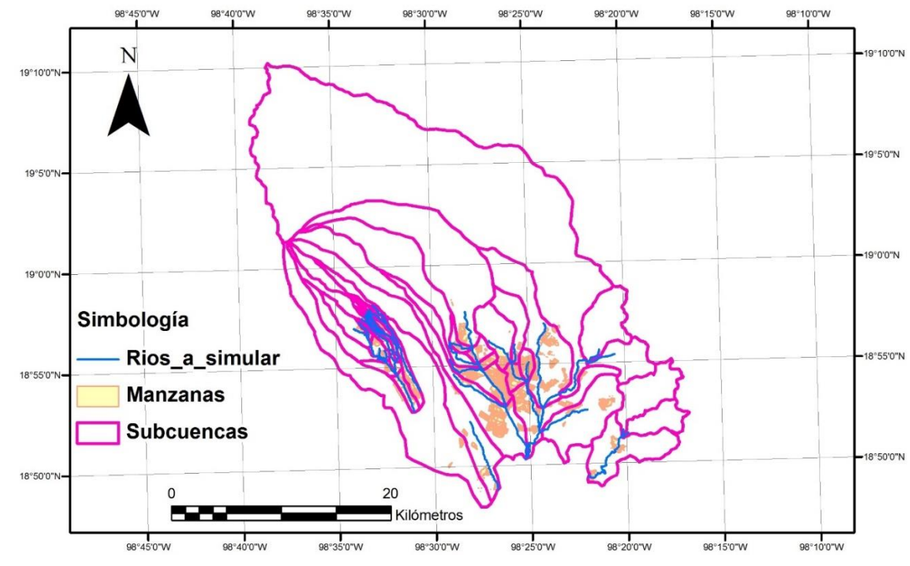
Fig. 48 Vuelo LIDAR de INEGI

(Fuente: Elaboración propia con información de Instituto Nacional de Estadística y Geografía)

Con base en el vuelo LIDAR de INEGI se traza el parteaguas de la cuenca del municipio de Atlixco (Ver Fig. 48).



Con las siguientes subcuencas



(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

En la cuenca se observan 6 subcuencas de interés para este estudio con el siguiente detalle (Ver Fig. 49 al Fig. 54).

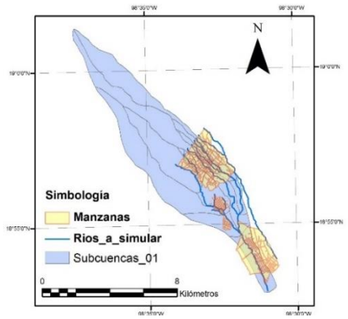


Fig. 49 Subcuenca 1

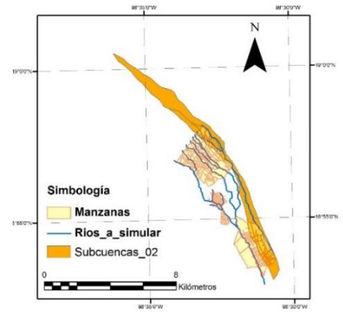


Fig. 50 Subcuenca 2

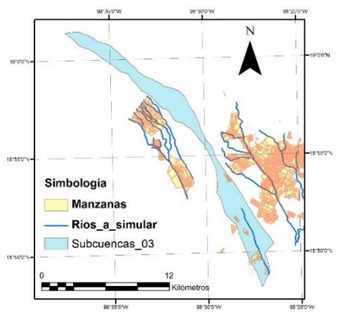


Fig. 51 Subcuenca 3

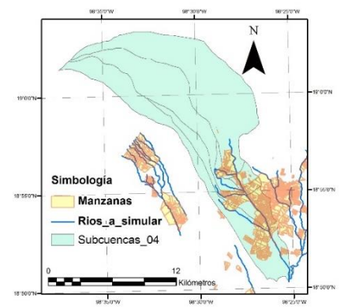


Fig. 52 Subcuenca 4

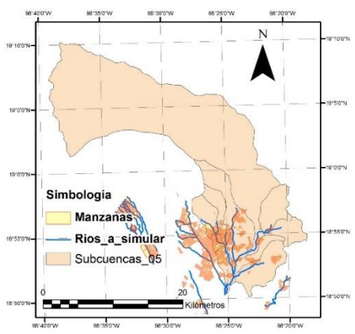


Fig. 53 Subcuenca 5

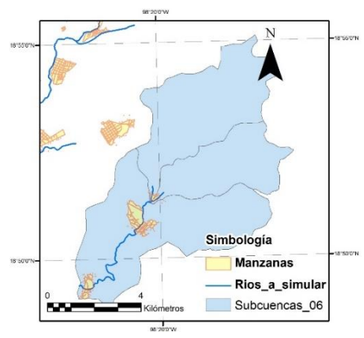


Fig. 54 Subcuenca 6

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

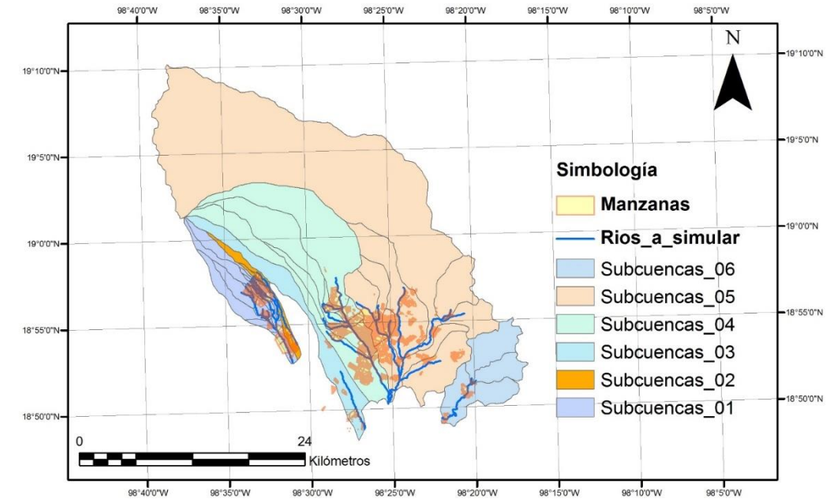


Fig. 55 Subcuencas a análizar

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

Tabla 50 Resumen de las características fisiográficas de cada subcuenca

Area = 45.48 Km^2 Longitud del cauce principal = 22.63 Km Desnivel topográfico = 3228.0 m Pendiente del cauce principal = 0.142629 Número de escurrimiento = 71.7 Subcuenca 1	Area = 10.35 Km^2 Longitud del cauce principal = 17.95 Km Desnivel topográfico = 1908.0 m Pendiente del cauce principal = 0.106305 Número de escurrimiento = 72.4 Subcuenca 2
Area = 43.49 Km^2 Longitud del cauce principal = 31.85 Km Desnivel topográfico = 3142.0 m Pendiente del cauce principal = 0.098660 Número de escurrimiento = 73.6 Subcuenca 3	Area = 173.23 Km^2 Longitud del cauce principal = 37.85 Km Desnivel topográfico = 2691.0 m Pendiente del cauce principal = 0.071102 Número de escurrimiento = 69.2 Subcuenca 4
Area = 478.93 Km^2 Longitud del cauce principal = 60.93 Km Desnivel topográfico = 3250.0 m Pendiente del cauce principal = 0.053336 Número de escurrimiento = 65.9 Subcuenca 5	Area = 54.86 Km^2 Longitud del cauce principal = 18.00 Km Desnivel topográfico = 542.0 m Pendiente del cauce principal = 0.030117 Número de escurrimiento = 74.2 Subcuenca 6

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

De cada una de las 6 subcuencas de obtienen sus características fisiográficas con la finalidad de obtener los gastos asociados a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años para cada nodo de los ríos a simular.

Tiempo de concentración (Tc)

El tiempo de concentración de una cuenca se obtiene con la fórmula de Kirpich (Aparicio, 2001):

$$t_c = 0.000325\left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}\right)$$

Donde:

L longitud del cauce principal, (m)

S pendiente del cauce principal, (adim)

Otra forma para obtener el tiempo de concentración fue el método de Rowe (Breña, 2010):

$$t_c = \left[\frac{0.87L^3}{H}\right]^{0.385}$$

Dónde:

L longitud del cauce principal, (km)

H diferencia de elevación entre los extremos del cauce principal, (m)

Calculo del número de escurrimiento (N)

Mediante el empleo de la cartografía del tipo y uso de suelo del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), escala 1:50 000, según el criterio del USCS, se obtuvieron los siguientes valores ponderados de N, correspondiente a las cuencas en estudio (Ver Tabla 51 a la Tabla 56).

Tabla 51 Valores de la Subcuenca 1

Tipo Edafológico	Clasificación	Uso de Suelo y Vegetación	N	A (km2)	N*A
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	2.023	**125.453**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	1.992	**123.482**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	70	0.227	**15.859**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	70	1.355	**94.850**
BA	D	BOSQUE DE OYAMEL	69	0.329	**22.724**
BA	C	BOSQUE DE OYAMEL	62	0.698	**43.270**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	1.088	**67.477**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	0.125	**7.763**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	1.598	**99.089**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.120	**7.433**
VSa/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	2.486	**154.112**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.391	**24.217**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.873	**54.126**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.401	**24.858**
VSa/BQP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	62	0.564	**34.976**
VSa/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.019	**1.193**
VSa/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.684	**42.409**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	11.946	**907.859**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	3.822	**290.446**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	3.835	**291.429**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	10.909	**829.094**

(Fuente: Elaboración propia, con información del INEGI)

Tabla 52 Valores de la Subcuenca 2

Tipo Edafologico	Clasificación	Uso de Suelo y Vegetación	N	A (km2)	N*A
BP	C	BOSQUE DE PINO	70	0.679	**47.562**
BP	C	BOSQUE DE PINO	70	0.084	**5.914**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	70	0.012	**0.872**
BA	D	BOSQUE DE OYAMEL	76	0.097	**7.365**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	0.258	**18.044**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	0.740	**51.806**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	0.345	**24.177**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	0.224	**15.706**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	3.887	**295.378**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.128	**9.692**
IAPF	C	NO APLICABLE	70	3.895	**272.683**

(Fuente: Elaboración propia, con información del INEGI)

Tabla 53 Valores de la Subcuenca 3

Tipo Edafologico	Clasificación	Uso de Suelo y Vegetación	N	A (km2)	N*A
BP	C	BOSQUE DE PINO	70	11.723	**820.584**
BP	C	BOSQUE DE PINO	70	7.560	**529.220**
BP	C	BOSQUE DE PINO	70	3.046	**213.193**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	0.082	**5.708**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	5.809	**406.635**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	6.387	**447.084**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	2.079	**145.530**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	12.384	**866.862**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	0.072	**5.057**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	0.006	**0.408**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	70	1.295	**90.675**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	70	0.975	**68.216**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	70	2.519	**176.359**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	0.238	**16.684**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	8.697	**608.780**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	0.799	**55.919**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	0.890	**62.295**
BA	D	BOSQUE DE OYAMEL	76	2.008	**152.615**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	1.109	**77.660**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	0.001	**0.075**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	70	0.040	**2.786**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	70	2.230	**156.121**
ZU	D	NO APLICABLE	76	0.720	**54.702**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	0.372	**26.054**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	70	0.372	**26.040**
ZU	D	NO APLICABLE	76	2.020	**153.504**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	0.219	**15.309**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	24.837	**1887.610**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	16.136	**1226.306**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	1.581	**120.143**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.010	**0.742**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	6.071	**461.371**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	6.131	**465.960**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	19.000	**1444.034**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	23.579	**1791.994**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.015	**1.105**
ZU	D	NO APLICABLE	76	0.051	**3.894**
ZU	D	NO APLICABLE	76	1.663	**126.384**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	70	0.507	**35.459**

(Fuente: Elaboración propia, con información del INEGI)

Tabla 54 Valores de la Subcuenca 4

Tipo Edafologico	Clasificación	Uso de Suelo y Vegetación	N	A (km2)	N*A
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	43.039	**2668.402**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	1.811	**112.302**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.093	**5.740**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.493	**30.548**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.930	**57.637**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.174	**10.773**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	4.894	**303.431**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	6.792	**421.079**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	3.394	**210.402**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	62	3.286	**203.712**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.348	**21.573**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.112	**6.917**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	2.830	**198.066**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	9.217	**571.423**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	1.756	**108.873**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.697	**48.120**
BA	D	BOSQUE DE OYAMEL	69	1.939	**133.823**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	6.435	**398.991**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.095	**5.873**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	6.703	**415.606**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.029	**1.808**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.227	**14.079**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.581	**36.007**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	4.382	**271.697**
ZU	D	NO APLICABLE	76	0.889	**67.574**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.915	**69.550**
AH	C	NO APLICABLE	70	0.867	**60.704**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.003	**0.247**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	1.253	**95.233**
BQP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	62	1.231	**76.342**
BQP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	62	0.121	**7.492**
VSa/BQP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	62	0.128	**7.920**
VSa/BQP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	62	0.926	**57.391**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.721	**44.699**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.007	**0.445**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.468	**29.046**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.275	**17.035**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.762	**47.246**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	2.471	**153.198**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	1	**92**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	2.103	**130.379**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	0.053	**3.271**
VSa/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.076	**4.722**
VSa/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.714	**44.286**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.249	**15.448**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.172	**10.673**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	1.231	**76.295**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	5.666	**351.280**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.001	**62.092**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.023	**1.405**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.019	**1.153**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	1.046	**64.834**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	3.941	**244.334**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.595	**36.864**
AH	C	NO APLICABLE	70	0.840	**58.766**
AH	C	NO APLICABLE	70	0.575	**40.276**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.135	**8.346**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.420	**26.019**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	1.487	**92.198**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.054	**3.360**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.057	**3.528**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	6.493	**402.542**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.880	**54.559**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.079	**4.877**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	18.087	**1121.389**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	2.141	**132.722**
ZU	D	NO APLICABLE	76	1.126	**85.596**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	62	2.480	**153.730**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	62	5.921	**367.115**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.033	**2.036**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	1.625	**100.728**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.005	**0.285**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.295	**18.291**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.092	**67.733**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.428	**26.551**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	4.323	**268.049**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.709	**43.980**
ZU	D	NO APLICABLE	76	0	**3**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.089	**5.510**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.417	**87.874**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.726	**45.034**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	4.278	**265.262**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.505	**31.285**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	3.627	**224.887**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.339	**20.988**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	2.474	**153.380**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.455	**90.195**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.002	**0.140**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.369	**22.853**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.406	**25.194**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.028	**1.710**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	2.985	**185.087**

VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.047	**2.902**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	1.873	**116.147**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.133	**70.263**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.594	**36.857**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	7.442	**461.385**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.011	**0.653**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.722	**44.752**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.058	**3.594**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.033	**2.018**
ZU	D	NO APLICABLE	76	5.129	**389.796**
ZU	D	NO APLICABLE	76	2.539	**192.993**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	15.479	**1068.082**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.717	**49.495**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	11.497	**793.297**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	1.091	**75.279**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.033	**2.020**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	1.173	**72.718**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	6.694	**415.048**
VPI	C	PALMAR INDUCIDO	62	0.020	**1.209**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	1.395	**106.044**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	26.978	**2050.326**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.016	**1.207**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	1.207	**91.712**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	38	**2876**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	13.533	**1028.538**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	7.756	**589.423**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	5.601	**425.697**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.023	**1.735**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.599	**45.544**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.079	**5.978**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.629	**47.769**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	38.615	**2934.709**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	7.470	**567.707**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.475	**36.124**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	32.882	**2499.041**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	1.525	**115.910**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	40.050	**3043.814**
IAPF	D	NO APLICABLE	76	0.180	**13.716**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.005	**0.318**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	6.417	**397.839**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.002	**0.103**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.080	**4.952**
ZU	D	NO APLICABLE	76	0.037	**2.777**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.050	**3.111**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	1.514	**93.849**

(Fuente: Elaboración propia, con información del INEGI)

Tabla 55 Valores de la Subcuenca 5

Tipo Edafologico	Clasificación	Uso de Suelo y Vegetación	N	A (km2)	N*A
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	43.039	**2668.402**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	1.811	**112.302**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.093	**5.740**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.493	**30.548**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.930	**57.637**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.174	**10.773**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	4.894	**303.431**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	6.792	**421.079**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	3.394	**210.402**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	62	3.286	**203.712**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.348	**21.573**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.112	**6.917**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	2.830	**198.066**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	9.217	**571.423**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	1.756	**108.873**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.697	**48.120**
BA	D	BOSQUE DE OYAMEL	69	1.939	**133.823**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	6.435	**398.991**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.095	**5.873**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	6.703	**415.606**
VSA/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.029	**1.808**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.227	**14.079**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.581	**36.007**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	4.382	**271.697**
ZU	D	NO APLICABLE	69	0.889	**61.350**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.915	**63.144**
AH	C	NO APLICABLE	62	0.867	**53.766**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.003	**0.224**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	1.253	**86.461**
BQP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	62	1.231	**76.342**
BQP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	62	0.121	**7.492**
VSa/BQP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	62	0.128	**7.920**
VSa/BQP	C	BOSQUE DE ENCINO-PINO	62	0.926	**57.391**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.721	**44.699**
BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.007	**0.445**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.468	**29.046**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.275	**17.035**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.762	**47.246**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	2.471	**153.198**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	1.482	**91.892**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	2.103	**130.379**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	0.053	**3.271**
VSa/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.076	**4.722**
VSa/BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.714	**44.286**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.249	**15.448**

VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.172	**10.673**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	1.231	**76.295**
VSa/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	5.666	**351.280**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.001	**62.092**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.023	**1.405**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.019	**1.153**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	1.046	**64.834**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	3.941	**244.334**
VSA/BPQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	62	0.595	**36.864**
AH	C	NO APLICABLE	62	0.840	**52.050**
AH	C	NO APLICABLE	62	0.575	**35.673**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.135	**8.346**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.420	**26.019**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	1.487	**92.198**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.054	**3.360**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.057	**3.528**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	6.493	**402.542**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.880	**54.559**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.079	**4.877**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	18.087	**1121.389**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	2.141	**132.722**
ZU	D	NO APLICABLE	69	1.126	**77.712**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	62	2.480	**153.730**
DV	C	SIN VEGETACION APARENTE	62	5.921	**367.115**
BP	C	BOSQUE DE PINO	62	0.033	**2.036**
VW	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	62	1.625	**100.728**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.005	**0.285**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.295	**18.291**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.092	**67.733**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.428	**26.551**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	4.323	**268.049**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.709	**43.980**
ZU	D	NO APLICABLE	69	0.041	**2.798**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.089	**5.510**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.417	**87.874**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.726	**45.034**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	4.278	**265.262**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.505	**31.285**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	3.627	**224.887**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.339	**20.988**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	2.474	**153.380**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.455	**90.195**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.002	**0.140**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.369	**22.853**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.406	**25.194**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.028	**1.710**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	2.985	**185.087**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.047	**2.902**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	1.873	**116.147**

PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	1.133	**70.263**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.594	**36.857**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	7.442	**461.385**
BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.011	**0.653**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.722	**44.752**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.058	**3.594**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.033	**2.018**
ZU	D	NO APLICABLE	69	5.129	**353.894**
ZU	D	NO APLICABLE	69	2.539	**175.218**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	15.479	**1068.082**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.717	**49.495**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	11.497	**793.297**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	1.091	**75.279**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.033	**2.020**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	1.173	**72.718**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	6.694	**415.048**
VPI	C	PALMAR INDUCIDO	62	0.020	**1.209**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	1.395	**96.277**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	26.978	**1861.480**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.016	**1.096**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	1.207	**83.265**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	37.837	**2610.766**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	13.533	**933.804**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	7.756	**535.134**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	5.601	**386.488**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.023	**1.575**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.599	**41.349**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.079	**5.428**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.629	**43.369**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	38.615	**2664.406**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	7.470	**515.418**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.475	**32.796**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	32.882	**2268.866**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	1.525	**105.234**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	40.050	**2763.462**
IAPF	D	NO APLICABLE	69	0.180	**12.453**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.005	**0.318**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	6.417	**397.839**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.002	**0.103**
PI	C	PASTIZAL INDUCIDO	62	0.080	**4.952**
ZU	D	NO APLICABLE	69	0.037	**2.521**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	0.050	**3.111**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE ENCINO	62	1.514	**93.849**

(Fuente: Elaboración propia, con información del INEGI)

Tabla 56 Valores de la Subcuenca 6

Tipo Edafologico	Clasificación	Uso de Suelo y Vegetación	N	A (km2)	N*A
PI	C	BOSQUE DE PINO	70	1.006	**70.392**
IAPF	D	BOSQUE DE PINO	76	0.056	**4.244**
IAPF	D	BOSQUE DE PINO	76	0.049	**3.725**
BQ	C	BOSQUE DE PINO	70	0.011	**0.752**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE PINO	70	0.000	**0.029**
PI	C	BOSQUE DE PINO	70	0.015	**1.071**
IAPF	D	PRADERA DE ALTA MONTANA	76	11.278	**857.139**
IAPF	D	PRADERA DE ALTA MONTANA	76	5.295	**402.383**
VSa/BQ	C	PRADERA DE ALTA MONTANA	70	13.625	**953.739**
VSa/BQ	C	SIN VEGETACION APARENTE	70	1.807	**126.522**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	11.009	**770.642**
PI	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	0.000	**0.002**
PI	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	1.095	**76.657**
VPI	C	BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	0.188	**13.149**
IAPF	D	BOSQUE DE PINO-ENCINO	76	0.153	**11.638**
PI	C	NO APLICABLE	70	0.006	**0.427**
IAPF	D	BOSQUE DE OYAMEL	76	0.902	**68.535**
IAPF	D	BOSQUE DE PINO	84	8.000	**672.000**
IAPF	D	BOSQUE DE PINO	76	0.047	**3.564**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE PINO	78	5.526	**431.055**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE PINO	70	0.084	**5.908**
PI	C	BOSQUE DE PINO	70	0.263	**18.382**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE PINO	70	0.186	**13.038**
VSa/BQ	C	BOSQUE DE PINO	70	1.859	**130.111**

(Fuente: Elaboración propia, con información del INEGI)

Determinación de la lluvia media de diseño

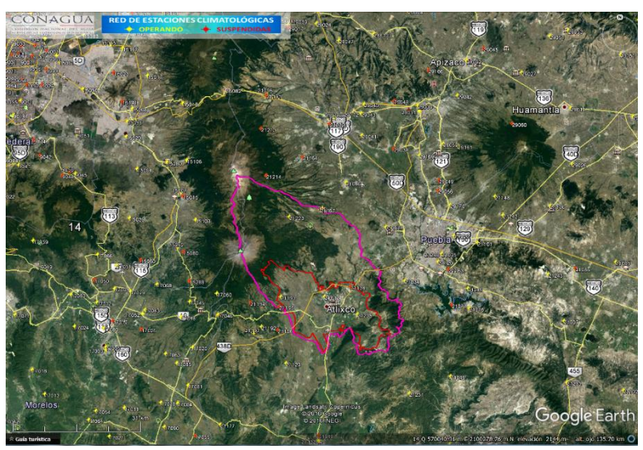


Fig. 56 Estaciones climatológicas con influencia en la cuenca del municipio de Atlixco

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

La lluvia de diseño se explica de manera más detallada en el apartado de lluvias extremas. Aquí se presentan las ponderaciones por subcuenca tomando en cuenta el método de polígonos de Thiessen (Ver Fig. 57).

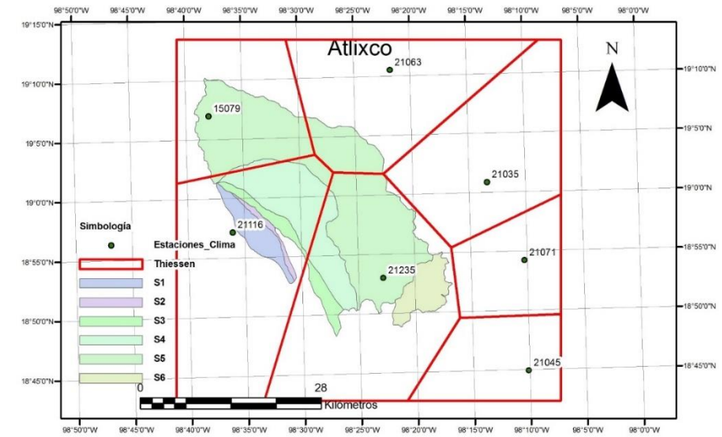


Fig. 57 Polígonos de Thiessen para las 6 subcuencas de estudio, los datos de precipitación en milímetros

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

Tabla 57 Período de Retornos (Año) por Estación

Clave	Estación	Ajustes	Periodo de retorno (años)					
			2	5	10	20	50	100
15079	PUENTE ANDARO,	Nash	41.0	49.8	55.5	61.1	68.2	73.6
21035	PUEBLA 21 PONIENTE 113 A	Gamma 2	54.3	65.1	71.3	76.7	83.1	87.5
21045	HUEHUETLAN EL GRANDE,SMN	Gumbel 2	49.4	77.3	97.4	112.7	130.7	143.9
21063	PIAXTLA, PIAXTLA	Nash	67.4	96.3	115.5	133.8	157.6	175.4
21071	SAN BALTASAR TETELA, DGE	Nash	39.8	52.3	60.6	68.6	78.9	86.6
21116	CHIAUTLA DE TAPIA, (SMN)	Normal	59.1	75.1	83.5	90.4	98.2	103.4
21235	SAN ISIDRO HUILOTEPEC	Nash	29.6	49.6	62.8	75.5	91.9	104.3

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

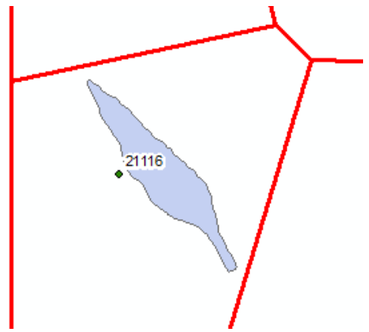


Fig. 58 Subcuenca 1

Fig. 59 Subcuenca 2

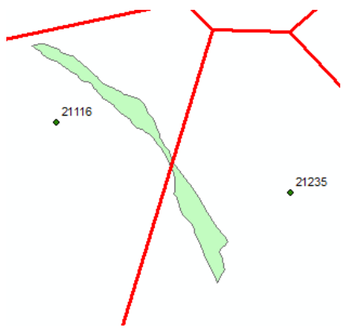


Fig. 60 Subcuenca 3

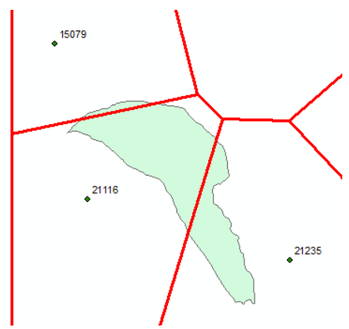


Fig. 61 Subcuenca 4

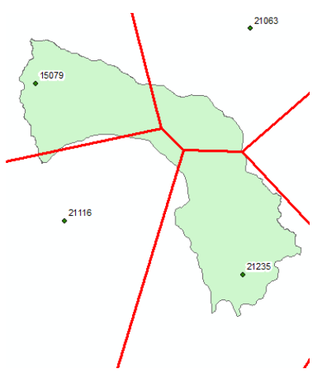


Fig. 62 Subcuenca 5

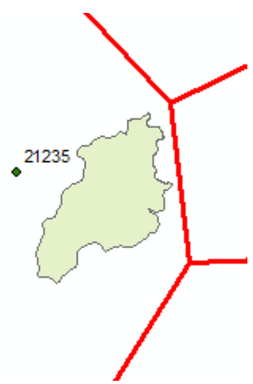


Fig. 63 Subcuenca 6

(Fuente: Elaboración propoia)

Influencia de los polígonos de Thiessen en cada subcuenca

Una vez calculado el tiempo de concentración, con objeto de obtener la lluvia efectiva, se determina el valor del coeficiente de Kuishling (e), el cual depende del periodo de tiempo (tc); tales como:

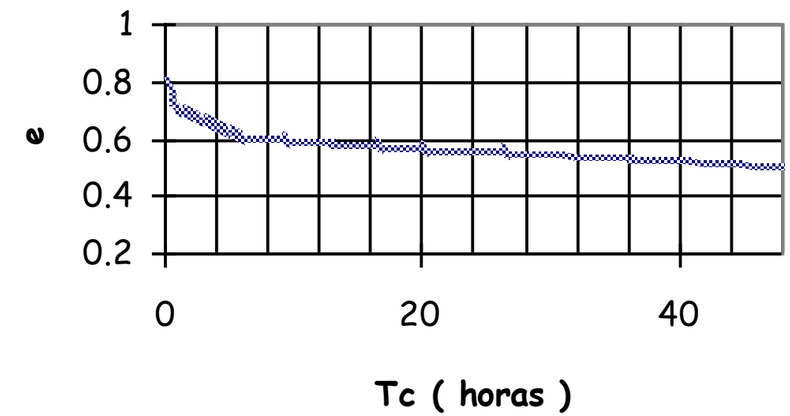


Fig. 64 Coeficiente de Kuishling (e)

Por lo cual: e = 0.70

Con las expresiones:

$$Hp_d = \frac{KTc^{1-e}}{1-e}$$

$$K = \frac{\overline{hp}(1-e)}{24^{1-e}}$$

Se calcula Hpd de diseño:

Tablas de lluvia efectiva de diseño por subcuenca (Ver Tabla 58 a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 58 Subcuenca 1

Tr (años)	K	Hpd media de diseño (mm)
2	6.84	25.16
5	8.70	31.96
10	9.67	35.52
20	10.47	38.46
50	11.37	41.77
100	11.97	43.98

Tabla 59 Subcuenca 2

Tr (años)	K	Hpd media de diseño (mm)
2	6.84	24.85
5	8.70	31.57
10	9.66	35.09
20	10.46	37.99
50	11.36	41.26
100	11.96	43.43

Tabla 60 Subcuenca 3

Tr (años)	K	Hpd media de diseño (mm)
2	5.17	20.86
5	7.25	29.23
10	8.49	34.25
20	9.62	38.79
50	11.01	44.39
100	12.01	48.43

Tabla 61 Subcuenca 4

Tr (años)	K	Hpd media de diseño (mm)
2	5.60	23.94
5	7.57	32.39
10	8.72	37.30
20	9.74	41.65
50	10.97	46.93
100	11.85	50.69

Tabla 62 Subcuenca 5

Tr (años)	K	Hpd media de diseño (mm)
2	4.56	21.93
5	6.48	31.18
10	7.75	37.27
20	8.96	43.09
50	10.52	50.60
100	11.69	56.22

Tabla 63 Subcuenca 6

Tr (años)	K	Hpd media de diseño (mm)
2	3.42	13.86
5	5.74	23.22
10	7.27	29.42
20	8.73	35.36
50	10.64	43.06
100	12.06	48.82

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

Para obtener la lluvia en exceso, el coeficiente de escurrimiento e intensidad; se emplean las siguientes expresiones:

$$He = \frac{\left(Hp - \frac{508}{N} + 5.08\right)^2}{\left(Hp + \frac{2032}{N} - 20.32\right)}$$

$$C = \frac{He}{Hpd}$$

$$I = \frac{K}{(1-e)T_c{}^e}$$

Tablas extrapolación de la lluvia en exceso, coeficiente de escurrimiento e intensidad (Ver Tabla 64 a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 64 Subcuenca 1

Tr (años)	He (mm)	C	I (mm / hr)
2	0.25	0.01	16.42
5	1.27	0.04	20.86
10	2.08	0.06	23.19
20	2.86	0.07	25.11
50	3.88	0.09	27.26
100	4.62	0.11	28.70

Tabla 65 Subcuenca 2

Tr (años)	He (mm)	C	I (mm / hr)
2	0.29	0.01	17.13
5	1.36	0.04	21.76
10	2.19	0.06	24.18
20	3.00	0.08	26.19
50	4.03	0.10	28.44
100	4.78	0.11	29.94

Tabla 66 Subcuenca 3

Tr (años)	He (mm)	C	I (mm / hr)
2	0.07	0.00	8.98
5	1.19	0.04	12.59
10	2.40	0.07	14.75
20	3.79	0.10	16.71
50	5.83	0.13	19.12
100	7.52	0.16	20.86

Tabla 67 Subcuenca 4

Tr (años)	He (mm)	C	I (mm / hr)
2	0.02	0.00	7.95
5	0.79	0.02	10.76
10	1.70	0.05	12.39
20	2.76	0.07	13.84
50	4.32	0.09	15.59
100	5.61	0.11	16.84

Tabla 68 Subcuenca 5

Tr (años)	He (mm)	C	I (mm / hr)
2	0.15	0.01	4.52
5	0.17	0.01	6.43
10	0.84	0.02	7.69
20	1.89	0.04	8.89
50	3.77	0.07	10.43
100	5.52	0.10	11.59

Tabla 69 Subcuenca 6

Tr (años)	He (mm)	C	I (mm / hr)
2	0.1704	0.01	5.87
5	0.3301	0.01	9.83
10	1.3832	0.05	12.45
20	2.9585	0.08	14.97
50	5.6762	0.13	18.23
100	8.1329	0.17	20.67

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

Calculo de los Gastos o Caudales.

- ***Método de la formula racional:***

$$Q_P = 0.278\ C\ i\ A$$

Dónde:

C coeficiente de escurrimiento. Representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa. Varía entre 0 y 1

i intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, mm/h

A área de la cuenca, km^2

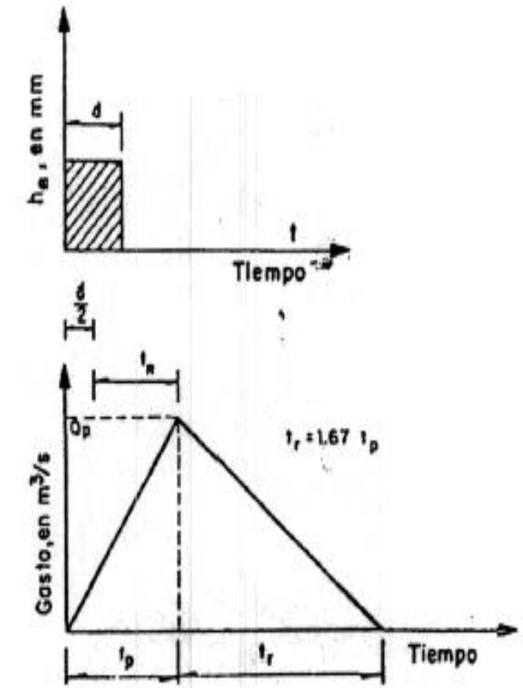
- ***Método del Hidrograma Unitario Triangular (HUT):***

$$Qd = \frac{0.556\ He\ A}{nTp} \qquad (1.9)$$

Dónde:

$$Tp = 0.60\ Tc + \frac{\Delta t}{2} \qquad (1.10)$$

$$Tb = nTp \qquad (1.11)$$



- ***Método de Ven Te Chow:***

$$Qd = A\ X\ Y\ Z \qquad (1.12)$$

Dónde:

V = He/DFactor de escurrimiento.

Y = 0.278 Factor climático.

Z = Qp/Qe Factor de reducción.

$$Tr = 0.00505\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.64} \qquad (5.13)$$

La siguiente Fig. 65, muestra la relación entre Z y Tc/Tr.

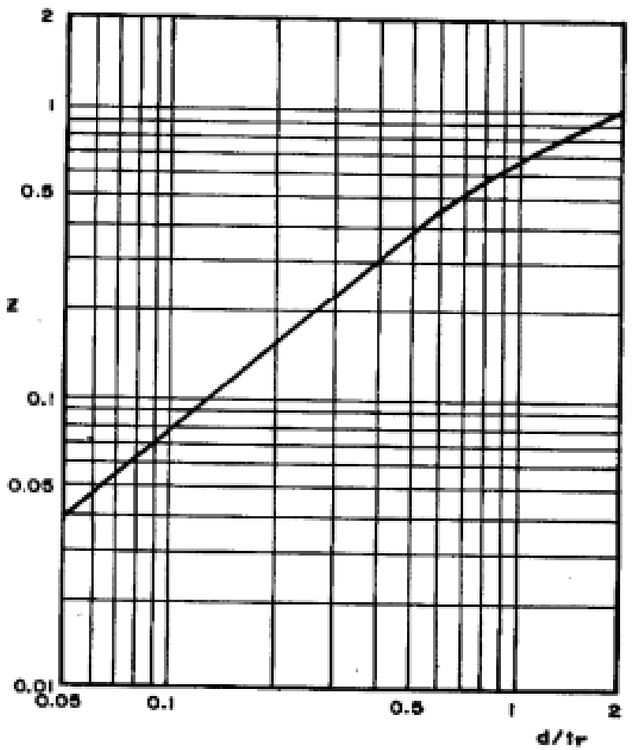


Fig. 65 Relación entre Z y Tc/Tr

Los gastos máximos inferidos mediante modelos de lluvia-escurrimiento, con los métodos descritos anteriormente, para diferentes períodos de retorno, son:

Tablas Gastos máximos para diferentes periodos de retorno de las diferentes subcuencas

(Ver Tabla 70 a la Tabla 75):

Tabla 70 Subcuenca 1

GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
2.1	1.9	1.5
10.5	9.5	7.9
17.1	15.6	12.8
23.6	21.5	17.7
32.0	29.1	24.0
38.1	34.7	28.6

Tabla 71 Subcuenca 2

GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
0.6	0.5	0.4
2.7	2.5	2.0
4.3	3.9	3.3
5.9	5.4	4.5
8.0	7.3	6.0
9.5	8.6	7.1

Tabla 72 Subcuenca 3

GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
0.4	0.4	0.3
6.2	5.6	4.9
12.5	11.3	9.9
19.7	17.9	15.6
30.4	27.6	24.1
39.1	35.6	31.0

Tabla 73 Subcuenca 4

GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
0.3	0.2	0.2
12.6	11.4	10.2
27.2	24.7	22.2
44.1	40.1	36.0
69.2	62.9	56.4
89.7	81.5	73.1

Tabla 74 Subcuenca 5

GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
4.2	3.6	3.6
4.7	4.0	4.0
23.0	19.5	19.7
51.8	43.9	44.4
103.5	87.8	88.8
151.6	128.5	130.0

Tabla 75 Subcuenca 6

GASTOS MAXIMOS (m^3/s)		
RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
1.1	1.0	0.9
2.1	1.9	1.7
8.9	8.1	7.1
19.1	17.4	15.2
36.6	33.3	29.1
52.5	47.7	41.7

(Fuente: Elaboración propia, con información del CENAPRED y de la UNAM)

Los hidrogramas para diferentes periodos de retorno se calculan después de estimar el gasto máximo para diferentes periodos de retorno, es necesario definir la forma del hidrograma de escurrimiento directo, para ello existen diferentes modelos que pueden ser usados, entre ellos:

•	Hidrograma unitario adimensional	•	Hidrograma unitario geomorfológico
•	Hidrograma unitario triangular	•	Método de Chow

La opción propuesta en esta metodología es usar el Hidrograma Unitario Adimensional del SCS (HUA, Tabla 76); sin embargo, puede ser cualquiera otra, cálculos para cada subcuenca de acuerdo a la tabla del HUA (Ver tablas de la Tabla 77 a la Tabla 82) .

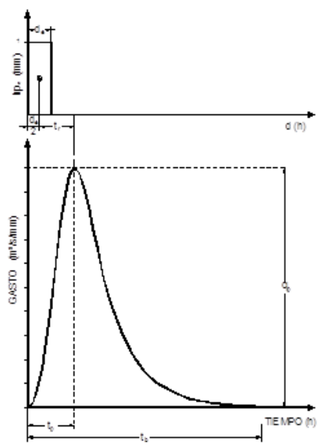


Fig. 66 Características del HUA

Tabla 76 HUA

T/Tp	Q/Qp
0.00	0.00
0.10	0.03
0.30	0.19
0.40	0.31
0.60	0.66
0.70	0.82
0.80	0.93
0.90	0.99
1.00	1.00
1.10	0.99
1.20	0.93
1.30	0.86
1.50	0.68
1.70	0.46
1.90	0.33
2.20	0.21
2.60	0.11
3.20	0.04
5.00	0.00

(Fuente: Elaboración propia, con información del Hidrograma Unitario Adimensional del SCS)

Tabla 77 HUA Subcuenca 1

Tiempo	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.06	0.29	0.47	0.64	0.87	1.04
0.51	0.36	1.81	2.96	4.08	5.53	6.59
0.67	0.58	2.95	4.83	6.66	9.02	10.75
1.01	1.24	6.29	10.28	14.19	19.20	22.88
1.18	1.54	7.81	12.77	17.63	23.86	28.42
1.35	1.74	8.86	14.48	19.99	27.06	32.24
1.52	1.85	9.43	15.42	21.28	28.80	34.32
1.69	**1.87**	**9.53**	**15.57**	**21.50**	**29.09**	**34.66**
1.85	1.85	9.43	15.42	21.28	28.80	34.32
2.02	1.74	8.86	14.48	19.99	27.06	32.24
2.19	1.61	8.20	13.39	18.49	25.02	29.81
2.53	1.27	6.48	10.59	14.62	19.78	23.57
2.87	0.86	4.38	7.16	9.89	13.38	15.95
3.20	0.62	3.14	5.14	7.09	9.60	11.44
3.71	0.39	2.00	3.27	4.51	6.11	7.28
4.38	0.21	1.05	1.71	2.36	3.20	3.81
5.39	0.07	0.38	0.62	0.86	1.16	1.39
8.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gasto máximo	**1.87**	**9.53**	**15.57**	**21.50**	**29.09**	**34.66**

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 78 HUA Subcuenca 2

Tiempo	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.16	0.02	0.07	0.12	0.16	0.22	0.26
0.48	0.10	0.47	0.75	1.03	1.38	1.64
0.64	0.16	0.76	1.22	1.68	2.25	2.67
0.96	0.35	1.62	2.61	3.57	4.79	5.69
1.12	0.43	2.01	3.24	4.43	5.96	7.07
1.28	0.49	2.28	3.67	5.03	6.76	8.02
1.44	0.52	2.43	3.91	5.35	7.19	8.54
1.60	**0.53**	**2.45**	**3.95**	**5.40**	**7.26**	**8.62**
1.76	0.52	2.43	3.91	5.35	7.19	8.54
1.91	0.49	2.28	3.67	5.03	6.76	8.02
2.07	0.45	2.11	3.40	4.65	6.25	7.42
2.39	0.36	1.67	2.69	3.68	4.94	5.86
2.71	0.24	1.13	1.82	2.49	3.34	3.97
3.03	0.17	0.81	1.30	1.78	2.40	2.85
3.51	0.11	0.52	0.83	1.13	1.53	1.81
4.15	0.06	0.27	0.43	0.59	0.80	0.95
5.11	0.02	0.10	0.16	0.22	0.29	0.34
7.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gasto máximo	**0.53**	**2.45**	**3.95**	**5.40**	**7.26**	**8.62**

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 79 HUA Subcuenca 3

Tiempo	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.26	0.01	0.17	0.34	0.54	0.83	1.07
0.77	0.07	1.07	2.15	3.40	5.25	6.76
1.02	0.11	1.74	3.52	5.56	8.56	11.03
1.53	0.23	3.71	7.48	11.83	18.23	23.49
1.79	0.29	4.61	9.30	14.69	22.65	29.18
2.04	0.33	5.22	10.55	16.67	25.69	33.10
2.30	0.35	5.56	11.23	17.74	27.35	35.23
2.55	**0.35**	**5.62**	**11.34**	**17.92**	**27.62**	**35.59**
2.81	0.35	5.56	11.23	17.74	27.35	35.23
3.06	0.33	5.22	10.55	16.67	25.69	33.10
3.32	0.30	4.83	9.75	15.41	23.75	30.61
3.83	0.24	3.82	7.71	12.19	18.78	24.20
4.34	0.16	2.58	5.22	8.24	12.71	16.37
4.85	0.12	1.85	3.74	5.91	9.12	11.74
5.62	0.07	1.18	2.38	3.76	5.80	7.47
6.64	0.04	0.62	1.25	1.97	3.04	3.91
8.17	0.01	0.22	0.45	0.72	1.10	1.42
12.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gasto máximo	**0.35**	**5.62**	**11.34**	**17.92**	**27.62**	**35.59**

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 80 HUA Subcuenca 4

Tiempo	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.01	0.34	0.74	1.20	1.89	2.45
0.99	0.05	2.17	4.69	7.62	11.95	15.49
1.32	0.07	3.54	7.66	12.44	19.49	25.27
1.99	0.16	7.54	16.30	26.48	41.50	53.81
2.32	0.20	9.37	20.25	32.90	51.56	66.85
2.65	0.22	10.62	22.97	37.31	58.47	75.82
2.98	0.24	11.31	24.45	39.72	62.25	80.71
3.31	**0.24**	**11.42**	**24.70**	**40.12**	**62.88**	**81.53**
3.64	0.24	11.31	24.45	39.72	62.25	80.71
3.97	0.22	10.62	22.97	37.31	58.47	75.82
4.30	0.20	9.82	21.24	34.50	54.07	70.11
4.97	0.16	7.77	16.80	27.28	42.76	55.44
5.63	0.11	5.25	11.36	18.46	28.92	37.50
6.29	0.08	3.77	8.15	13.24	20.75	26.90
7.28	0.05	2.40	5.19	8.43	13.20	17.12
8.61	0.03	1.26	2.72	4.41	6.92	8.97
10.60	0.01	0.46	0.99	1.60	2.52	3.26
16.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gasto máximo	**0.24**	**11.42**	**24.70**	**40.12**	**62.88**	**81.53**

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 81 HUA Subcuenca 5

Tiempo	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.53	0.11	0.12	0.58	1.32	2.63	3.86
1.60	0.68	0.76	3.70	8.35	16.68	24.42
2.13	1.11	1.24	6.03	13.62	27.21	39.85
3.20	2.35	2.63	12.85	29.00	57.94	84.83
3.73	2.93	3.27	15.96	36.03	71.98	105.40
4.27	3.32	3.71	18.10	40.87	81.64	119.54
4.80	3.53	3.94	19.27	43.50	86.91	127.25
5.33	**3.57**	**3.98**	**19.46**	**43.94**	**87.78**	**128.54**
5.87	3.53	3.94	19.27	43.50	86.91	127.25
6.40	3.32	3.71	18.10	40.87	81.64	119.54
6.93	3.07	3.43	16.74	37.79	75.49	110.54
8.00	2.43	2.71	13.24	29.88	59.69	87.40
9.07	1.64	1.83	8.95	20.21	40.38	59.13
10.13	1.18	1.31	6.42	14.50	28.97	42.42
11.73	0.75	0.84	4.09	9.23	18.43	26.99
13.87	0.39	0.44	2.14	4.83	9.66	14.14
17.07	0.14	0.16	0.78	1.76	3.51	5.14
26.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gasto máximo	**3.57**	**3.98**	**19.46**	**43.94**	**87.78**	**128.54**

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 82 HUA Subcuenca 6

Tiempo	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.26	14.03	27.19	113.92	243.67	467.50	669.84
0.78	205.79	398.80	1670.83	3573.81	6856.62	9824.29
1.04	233.85	453.19	1898.67	4061.14	7791.61	11163.96
1.56	907.35	1758.37	7366.84	15757.24	30231.45	43316.17
1.82	692.20	1341.43	5620.06	12020.99	23063.17	33045.33
2.08	818.48	1586.16	6645.34	14214.00	27270.63	39073.87
2.34	897.99	1740.24	7290.89	15594.79	29919.78	42869.61
2.60	930.73	1803.69	7556.70	16163.35	31010.61	44432.57
2.86	930.73	1803.69	7556.70	16163.35	31010.61	44432.57
3.12	897.99	1740.24	7290.89	15594.79	29919.78	42869.61
3.38	837.19	1622.41	6797.24	14538.90	27893.96	39966.98
3.90	1440.53	2791.63	11695.80	25016.65	47996.32	68770.00
4.42	1066.37	2066.53	8657.93	18518.82	35529.74	50907.67
4.94	738.97	1432.07	5999.80	12833.22	24621.49	35278.12
5.72	757.68	1468.33	6151.69	13158.11	25244.82	36171.24
6.76	598.66	1160.16	4860.59	10396.53	19946.52	28579.74
8.32	420.93	815.74	3417.60	7310.06	14024.90	20095.13
12.99	336.75	652.59	2734.08	5848.05	11219.92	16076.10
Volumen total	12,726.25	24,662.46	103,325.59	221,007.46	424,019.41	607,542.79

(Fuente: Elaboración propia)

Hidrógramas Sintéticos con base al Hidrógrama Adimensional propuesto por el SCS

(Ver Fig. 67 a la Fig. 72)

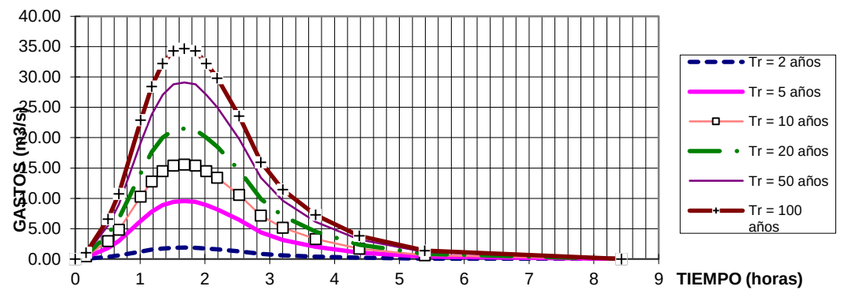


Fig. 67 Hidrógrama Subcuenca 1

(Fuente: Elaboración propia)

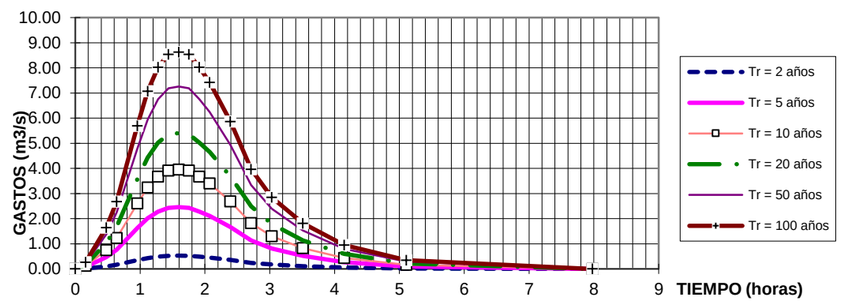


Fig. 68 Hidrógrama Subcuenca 2

(Fuente: Elaboración propia)

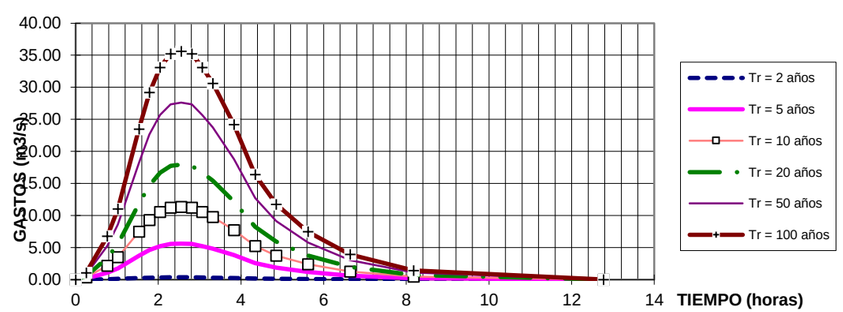


Fig. 69 Hidrógrama Subcuenca 3

(Fuente: Elaboración propia)

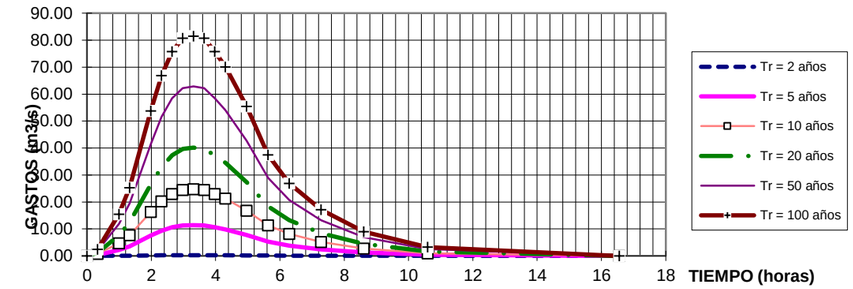


Fig. 70 Hidrógrama Subcuenca 4

(Fuente: Elaboración propia)

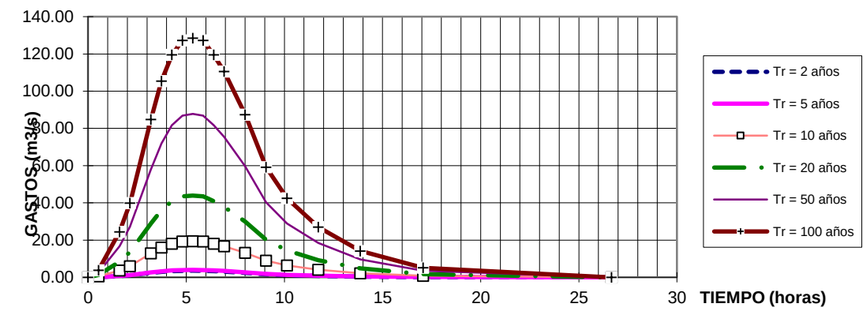


Fig. 71 Hidrógrama Subcuenca 5

(Fuente: Elaboración propia)

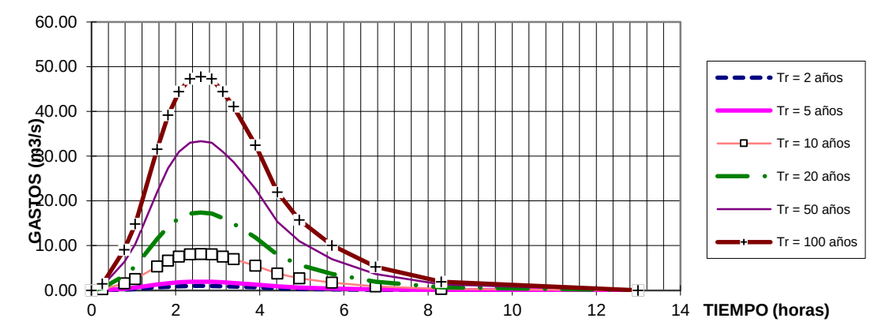


Fig. 72 Hidrógrama Subcuenca 6

(Fuente: Elaboración propia)

TRANSPORTE POR ÁREA

8.8.4 METODOS BASADOS EN LA SIMILITUD DE CUENCAS.
8.8.4.1 METODO DE TRANSPORTE DE INFORMACION HIDROMETRICA. Estos criterios se fundan en las similitudes climáticas y fisiográficas entre cuencas, para estimar los volúmenes anuales en una cuenca, a partir de la información registrada en otra (cuenca auxiliar). El caso más simple se tiene cuando el lugar donde se requiere la información, está próximo a una estación de aforos que se ubica sobre la misma corriente. En este caso, se puede utilizar la expresión siguiente para hacer la inferencia:

$$V_x = \left(\frac{A_x}{A_d}\right) V_d = F_1(V_d) \qquad (8.20)$$

siendo:

8-49

V_x = volumen anual estimado, en Hm^3.
A_x = área de la cuenca sin datos, en Km^2.
A_d = área de cuenca de en Km^2.
V_d = volumen escurrido anual en la estación hidrométrica, en Hm^3.
F_1 = factor de transporte, adimensional.

Para la aplicación de la ecuación anterior, Klemeš recomienda que la cuenca sin datos (A_x) no difiera de la cuenca de la estación de aforos (A_d) en más de un 40% (17,37).

Cuando la estación de aforos no se ubica en la misma corriente, pero está dentro de la misma cuenca hidrográfica, o bien, son adyacentes, se considera que la ecuación 8.20 puede conducir a resultados algo confiables; pero cuando las cuencas no son colindantes, sino que únicamente están próximas y dentro de la misma región fisiográfica, se propone tomar en cuenta la lluvia anual para realizar el transporte de información hidrométrica, esto es:

$$V_x = F_1 \left(\frac{P_x \cdot F_2}{P_d \cdot F_3}\right) V_d \qquad (8.21)$$

en la cual:
V_x = volumen anual transportado, en Hm^3.
F_1 = factor de transporte definido en la ecuación 8.20, adimensional.
P_x = precipitación anual en la estación pluviométrica auxiliar de la cuenca sin aforos, en milímetros.
P_d = precipitación anual en la estación pluviométrica auxiliar de la cuenca de la estación de aforos, en milímetros.
F_2 = factor de transporte, igual al cociente entre la lluvia media anual en la cuenca sin datos y la lluvia media anual de su estación pluviométrica auxiliar, adimensional.
F_3 = factor de transporte, igual al cociente entre la lluvia media anual en la cuenca de la estación de aforos y la lluvia media anual de su estación pluviométrica auxiliar, adimensional.
V_d = volumen escurrido anual en la estación hidrométrica, en Hm^3.

En general, la aplicación de la ecuación 8.21 sólo es válida si las cuencas presentan una gran similitud en cobertura vegetal, altitud, fisiografía, tipos de suelos, etc.

- Fuente: “Campor Aranda, Procesos del ciclo Hidrológico (1984)”

• ANÁLISIS HIDRÁULICO

Generación de escenarios de peligro.

Para conocer los cambios que ocurren sobre una corriente o una planicie de inundación (profundidad de agua, velocidad de la corriente, zona inundada, etc.) durante el paso de una crecida, se debe llevar a cabo el tránsito de la avenida.

El programa empleado para esta sección ha sido seleccionado debido a su fácil acceso y, aunque es software libre cuenta con un buen soporte técnico. El modelo hidráulico utilizado es HecRas, el cual fue construido por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE, 2002).

Preparación de archivos en ArcGIS.

Crear las capas que se usarán para guardar la información exportada.

Simulación hidráulica de avenidas y determinación de manchas de inundación

La simulación hidráulica de las avenidas correspondientes a diferentes periodos de retorno, las cuales se muestran en la siguiente tabla, se realizó con el empleo del modelo matemático HEC-RAS.

Los elementos para la alimentación del modelo de simulación son:

- Vuelo LIDAR de INEGI
- Resultados del análisis hidrológico (Caudal)

La información mínima necesaria para usar HecRAS requiere que desde ArcGIS se exporten los siguientes archivos:

- La trayectoria del río (Stream Senterline).
- Los hombros del cauce (Bank Lines).
- La ubicación y geometría de las secciones transversales (XS Cut Lines).
-

Creación del proyecto en HecRAS (simulación del tránsito de avenidas).

La simulación del paso de las avenidas a lo largo del río, también conocido como tránsito de avenidas, y la exportación de los resultados hacia ArcGis, se lleva a cabo en las siguientes etapas:

- Importación de los datos geométricos en *HecRAS*
- Completado de la información geométrica
- Información de los caudales que serán simulados
- Condiciones de frontera en el río o tramo que será simulado
- Ejecución del programa e interpretación de resultados
- Verificación y exportación de los resultados hacia *ArcGIS*

Importación de datos

En esta etapa se lee el archivo que contiene la información geométrica del proyecto generado en ArcGis y que será simulado en HecRAS.

Construcción de la simulación hidráulica en Hec-Ras, flujo permanente (Ver Fig. 73).

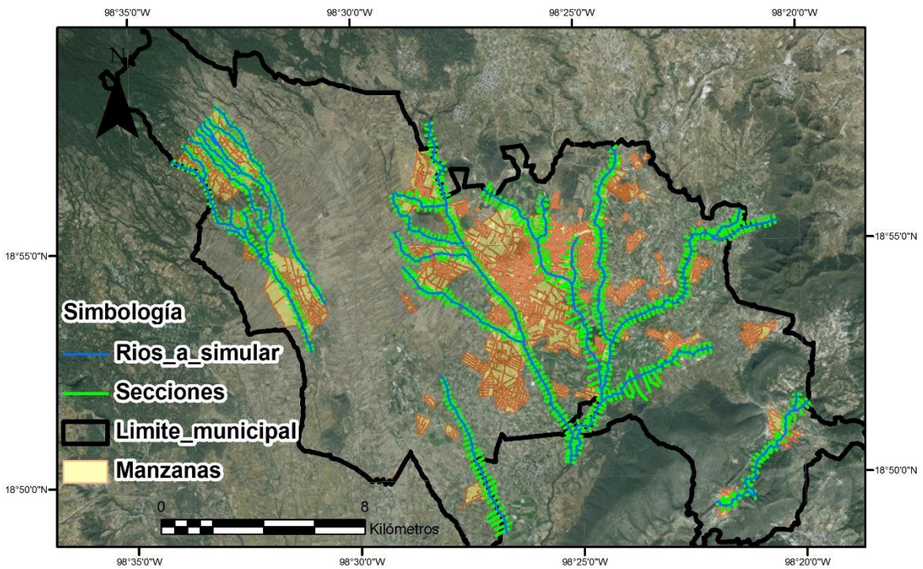


Fig. 73 simulación hidráulica en Hec-Ras

(Fuente: Elaboración propia)

Llenado de la información

El siguiente paso consiste en completar la información requerida por HecRAS para realizar la simulación; se define el coeficiente de rugosidad "n" de Manning en cada sección, este valor puede variar y ser diferente para cada margen, para el centro del cauce o en cada sección, de acuerdo con los requerimientos del modelo.

Previamente, se realizó el cálculo de los gastos asociados con diferentes periodos de retorno (*tabla 1.7 Gastos de Diseño*). Dependiendo del tipo de simulación que se pretenda realizar, la información de los caudales puede darse de dos maneras:

- Como un gasto constante (simulación en flujo permanente)
- Como un hidrograma (simulación en flujo no permanente)

En este estudio se realizaron cuatro simulaciones para abarcar la totalidad del municipio de Atlixco.

En el menú *Steady Flow Data* se define la información referente a caudales. El número de perfiles que se simularán, corresponden a los gastos que se ingresarán de los diferentes periodos de retorno (Ver Fig. 74).

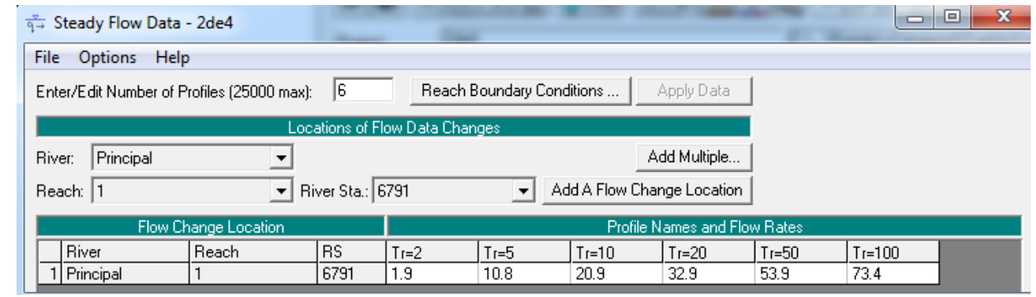


Fig. 74 Número de perfiles que serán simulados

(Fuente: Elaboración propia)

Condiciones de frontera.

Las condiciones de frontera deben establecerse en todos los extremos de la red de drenaje.

En el menú *Steady Flow Data*, se da clic en el botón ***Reach Boundary Conditions*** y aparece la ventana de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**8.0. En la tabla *Select Boundary Condition, Locations and Types*, por cada tramo de río habrá un renglón.

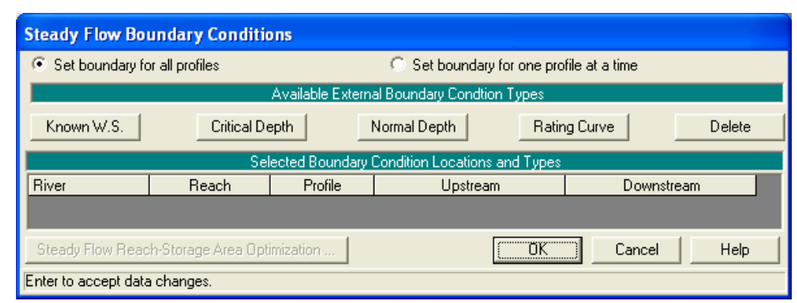


Fig. 75 Pantalla para definir las condiciones de frontera

(Fuente: Elaboración propia)

Un río puede tener varios tributarios y en cada uno de ellos se puede definir la condición de frontera de sus extremos (Ver Fig. 76).

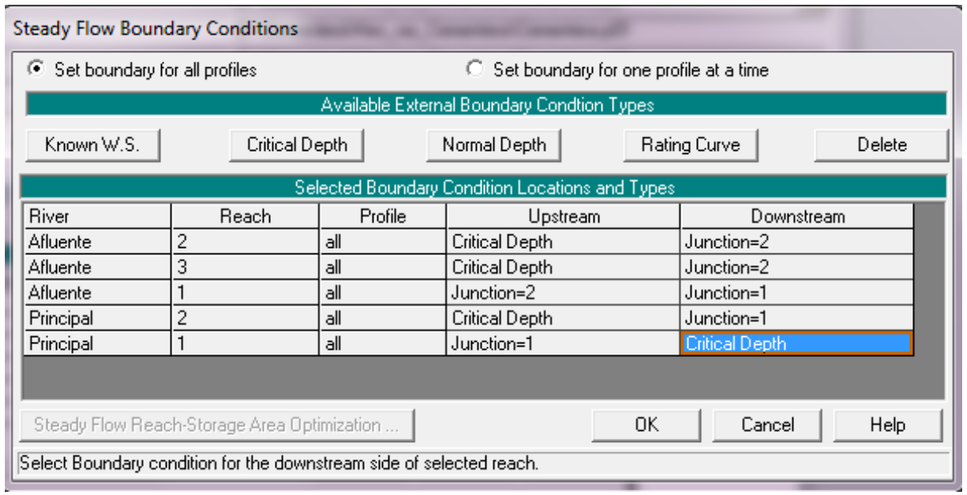


Fig. 76 Muestra de la selección de las condiciones de frontera para diferentes arreglos

(Fuente: Elaboración propia)

Ejecución del programa e interpretación de resultados.

Hasta este momento se ha completado el llenado de datos para ejecutar el programa HecRAS. Ahora para ejecutarlo, se elige el ícono de la simulación seleccionada:

- Flujo permanente (Perform a steady flow simulation)
- Flujo no permanente (Perform an unsteady flow simulation)

Para este ejemplo se explica el flujo permanente. Para la segunda opción se recomienda consultar el manual de usuario de *HecRAS* (USACE, 2002).

Verificación y exportación de resultados

Después de simular el paso de las avenidas y para verificar los resultados obtenidos, es posible usar las herramientas gráficas y tablas disponibles en *HecRAS*.

Antes de exportar el nivel que alcanza el agua con cada gasto, se debe revisar el polígono que delimita el área de inundación.

La información del mencionado polígono, para cada perfil, puede ser revisada con el editor de datos geométricos (Geometric Data Editor). Seleccionando el menú ***Tools | Plot GIS Reach Profile Bounds*** es factible indicar el gasto y el tramo de río para los cuales se desean graficar los resultados. Para este caso se tienen varios tramos (Ver de la Fig. 77 a la Fig. 79).

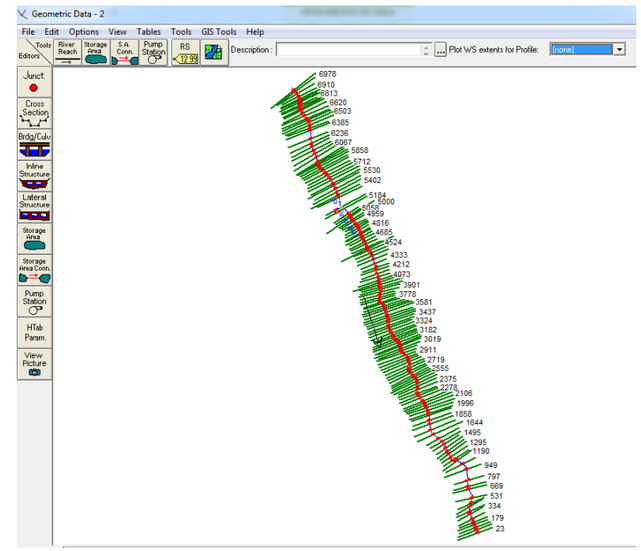


Fig. 77 Resultado gráfico de la simulación 1

(Fuente: Elaboración propia)

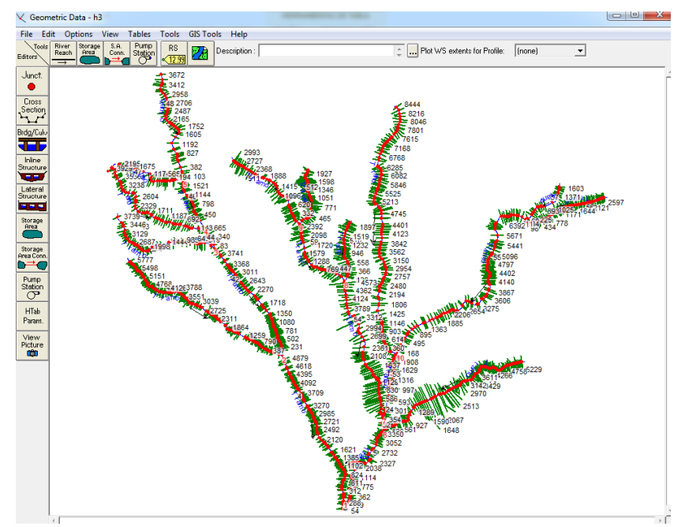


Fig. 78 Resultado gráfico de la simulación 2

(Fuente: Elaboración propia)

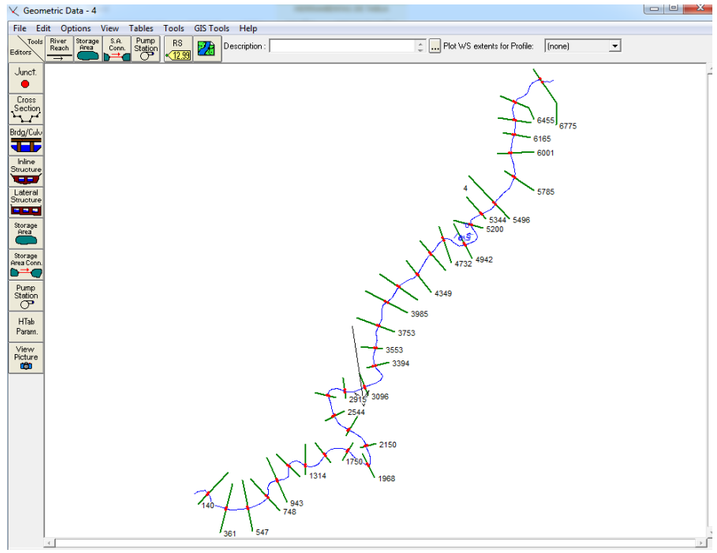


Fig. 79 Resultado gráfico de la simulación 4

(Fuente: Elaboración propia)

Para las simulaciones 2 y 4 se utiliza el gasto de diseño calculado para las subcuencas 3 y 6; en el caso de las simulaciones 1 y 3 se utilizó la metodología de transporte por área para calcular los gastos en cada nodo, con los siguientes resultados:

	Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates					
	River	Reach	RS	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=20	Tr=50	Tr=100
1	Tramo	18	2227						
2	Tramo	13	806						
3	Tramo	11	1362						
4	Tramo	1	4012						
5	Tramo	113	2580						
6	Tramo	115	995						
7	Tramo	116	1031						
8	Tramo	114	1282						
9	Tramo	12	1020						
10	Tramo	110	1516						
11	Tramo	22	2080						
12	Tramo	2	7186						
13	Tramo	19	1819						
14	Tramo	111	5646						
15	Tramo	17	528						
16	Tramo	16	519						
17	Tramo	14	105						
18	Tramo	15	930						
19	Tramo	112	3227						
20	Tramo	21	2038						

Fig. 80 Simulación 1 tramo

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 83 Resultados Simulación tramo por tiempo de retorno

	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Tramo	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
18	0.38	2.0	6.6	4.4	6.0	7.1
13	0.44	2.2	7.5	5.0	6.8	8.1
11	1.00	5.1	8.3	11.5	15.5	18.5
1	2.06	10.5	17.1	23.6	32.0	38.1
113	0.04	0.2	0.6	0.4	0.6	0.7
115	0.03	0.2	0.5	0.3	0.5	0.6
116	0.30	1.5	5.1	3.4	4.6	5.5
114	0.34	1.7	5.8	3.9	5.3	6.3
12	0.91	4.6	15.5	10.4	14.1	16.8
110	0.27	1.4	4.6	3.1	4.2	5.0
22	0.23	1.1	1.7	2.4	3.2	3.8
2	0.58	2.7	4.3	5.9	8.0	9.5
19	0.04	0.2	0.6	0.4	0.6	0.7
111	0.40	2.0	6.8	4.6	6.2	7.4
17	0.03	0.2	0.6	0.4	0.5	0.6
16	0.43	2.2	7.3	4.9	6.6	7.9
14	0.45	2.3	7.8	5.2	7.1	8.4
15	0.02	0.1	0.4	0.3	0.4	0.5
112	0.47	2.4	8.0	5.4	7.3	8.7
21	0.08	0.4	0.6	0.9	1.2	1.4

(Fuente: Elaboración propia)

ange Location		Profile Names and Flow Rates					
Reach	RS	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=20	Tr=50	Tr=100
41	5777						
43	3739						
45	3929						
47	2195						
48	3672						
46	1571						
44	665						
42	3942						
B	218						
511	2993						
512	1927						
59	2337						
54	4573						
510	1897						
58	8444						
55	7004						
53	1965						
52	354						
5	3327						
51	5229						
56	2597						
57	1603						
4	4808						

Fig. 81 Simulación 2 tramo

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 84 Resultados Simulación tramo por tiempo de retorno

	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Tramo	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
41	0.049	2.346	5.074	8.241	12.915	16.746
43	0.014	0.691	1.495	2.428	3.805	4.934
45	0.057	2.713	5.868	9.531	14.936	19.367
47	0.003	0.166	0.359	0.583	0.914	1.186
48	0.100	4.771	10.316	16.756	26.260	34.050
46	0.108	5.170	11.180	18.159	28.458	36.901
44	0.167	7.987	17.273	28.055	43.967	57.011
42	0.192	9.204	19.903	32.327	50.662	65.692
B	4.471	14.430	39.974	75.646	135.884	189.672
511	0.116	0.129	0.631	1.424	2.844	4.164
512	0.091	0.101	0.495	1.116	2.230	3.266
59	0.235	0.262	1.282	2.895	5.783	8.467
54	0.325	0.362	1.771	3.997	7.985	11.692
510	0.027	0.031	0.149	0.336	0.672	0.984
58	0.303	0.338	1.650	3.725	7.443	10.897
55	3.233	3.610	17.635	39.812	79.535	116.457
53	3.619	4.041	19.744	44.572	89.045	130.382
52	3.949	4.409	21.543	48.633	97.158	142.260
5	4.209	4.699	22.959	51.830	103.544	151.611
51	0.243	0.271	1.324	2.989	5.971	8.743
56	0.124	0.138	0.675	1.523	3.043	4.456
57	0.176	0.196	0.959	2.166	4.327	6.335
4	0.262	12.565	27.171	44.132	69.163	89.682

(Fuente: Elaboración propia)

Como ejemplo se presenta la gráfica resultante de la envolvente para el periodo de retorno de 100 años

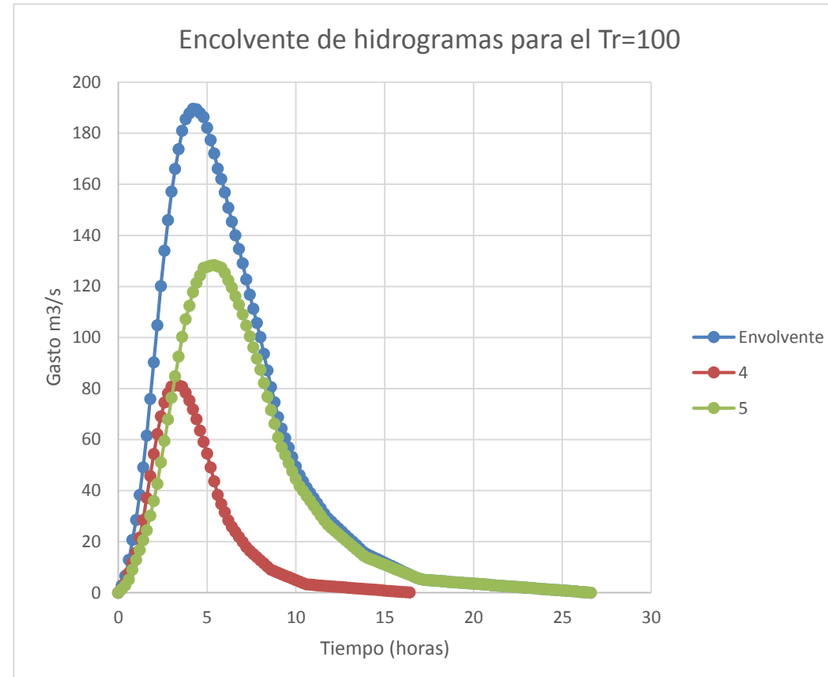


Ilustración 1 Encolvente de hidrograma para el Tr=100

(Fuente: Elaboración propia)

Además, para calcular el gasto que transita por el tramo "B", se realizó la envolvente de hidrógramas de las subcuencas 4 y 5 obteniéndose los siguientes resultados

Tramo	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=20	Tr=50	Tr=100
5	4.21	4.7	23.0	51.8	103.5	151.6
4	0.26	12.6	27.2	44.1	69.2	89.7
B	4.5	14.4	40.0	75.6	135.9	189.7

(Fuente: Elaboración propia)

Resultado gráfico de la simulación

Finalmente, los resultados de la simulación deben ser exportados para procesarlos en ArcGIS, a través de la extensión Hec GeoRAS (Ver Fig. 82 y Fig. 83).

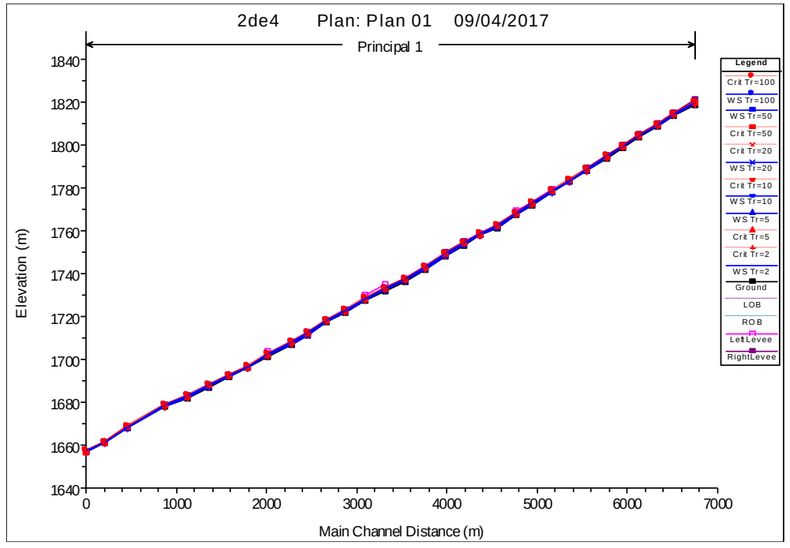


Fig. 82 Perfil hidráulico de la simulación 4

(Fuente: Elaboración propia)

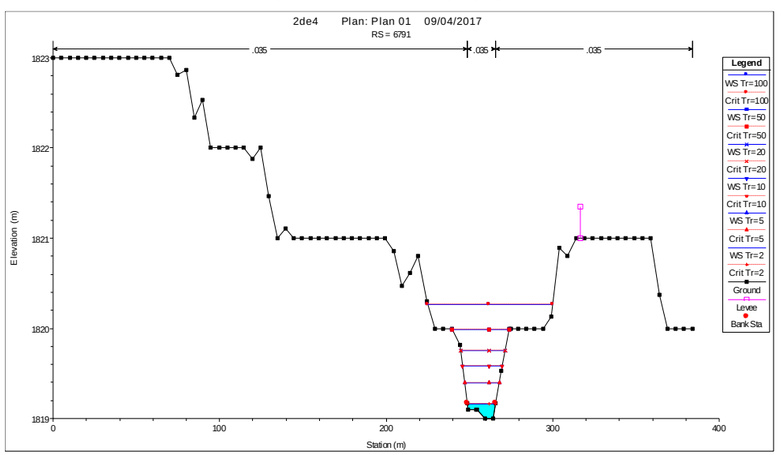
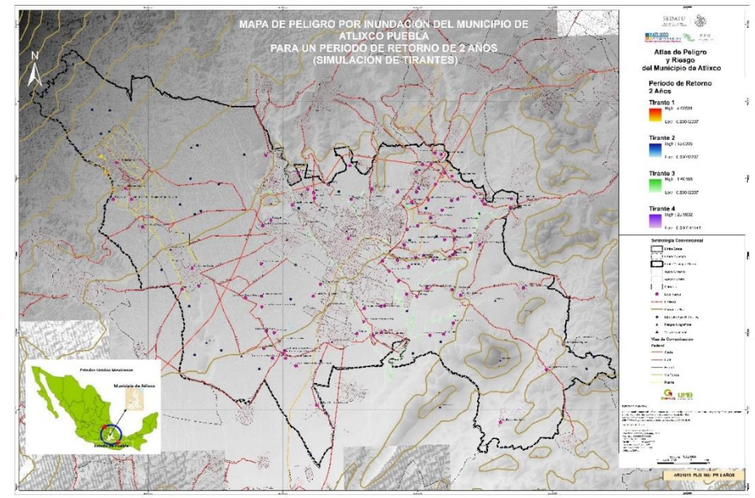


Fig. 83 Sección hidráulica de la simulación 4

(Fuente: Elaboración propia)

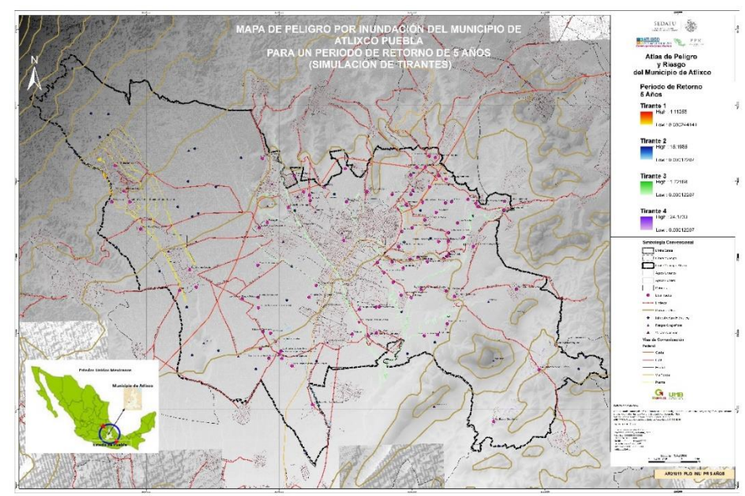
- **Resultado del Análisis**

Mapas de peligro por inundación (Tirantes) respecto a cada escenario de periodo de retorno (Ver Mapa 96 al Mapa 101).



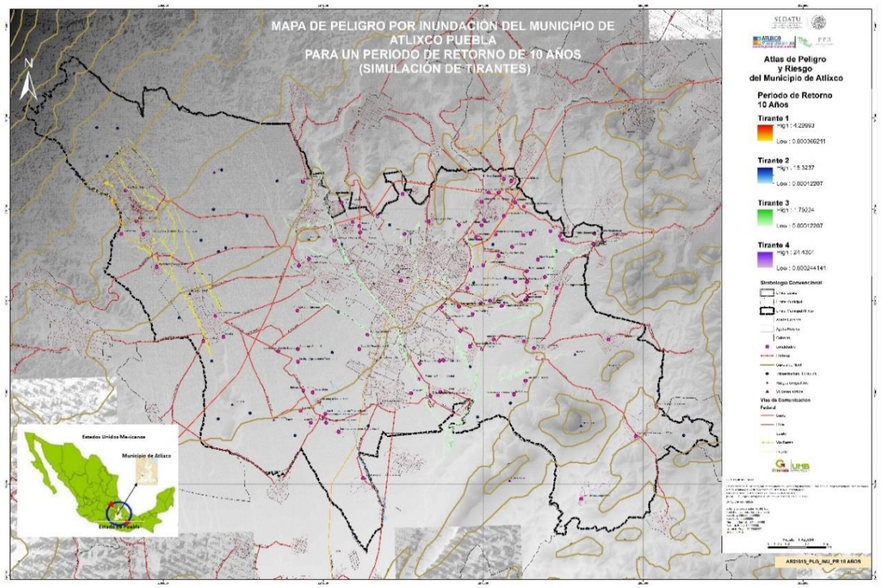
Mapa 96 Peligro por inundación (Tirantes) para un período de retorno de 2 años

(Fuente: Elaboración propia)



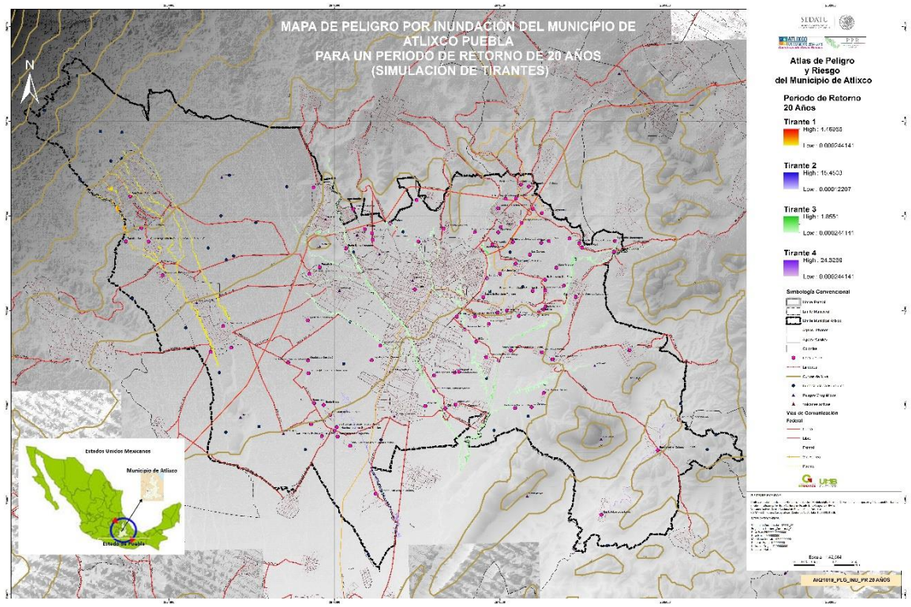
Mapa 97 Peligro por inundación (Tirantes) para un período de retorno de 5 años

(Fuente: Elaboración propia)



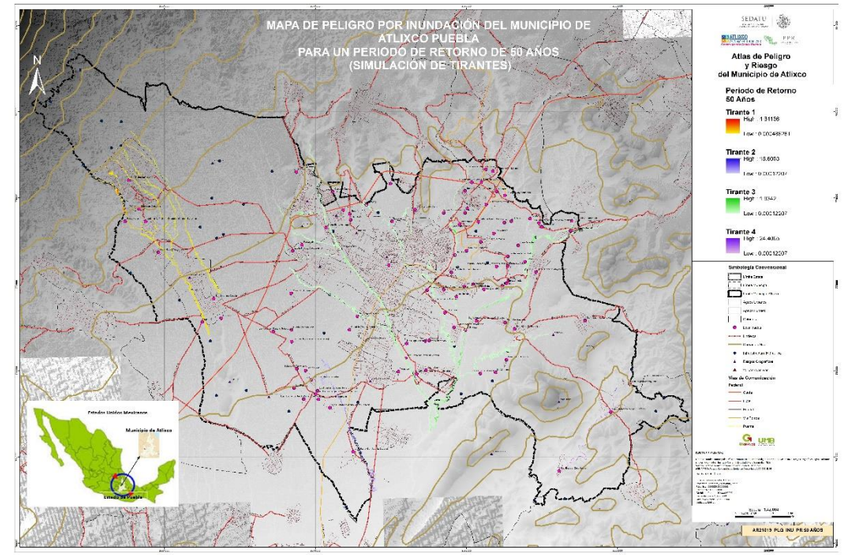
Mapa 98 Peligro por inundación (Tirantes) para un período de retorno de 10 años

(Fuente: Elaboración propia)



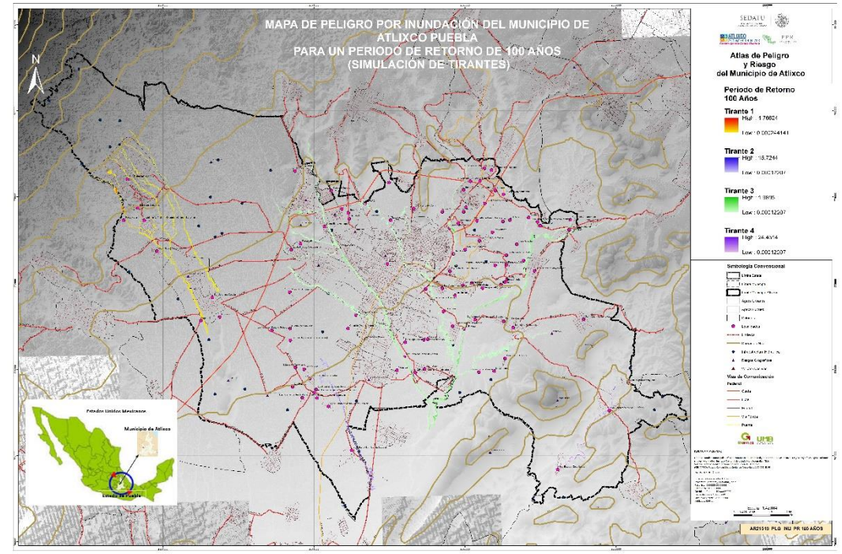
Mapa 99 Peligro por inundación (Tirantes) para un período de retorno de 20 años

(Fuente: Elaboración propia)



Mapa 100 Peligro por inundación (Tirantes) para un período de retorno de 50 años

(Fuente: Elaboración propia)



Mapa 101 Peligro por inundación (Tirantes) para un período de retorno de 100 años

(Fuente: Elaboración propia)

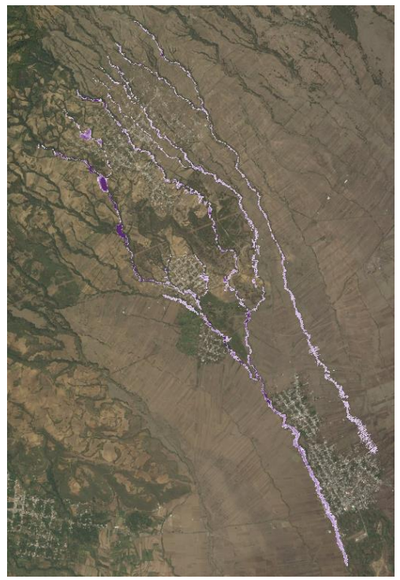


Ilustración 2 Zona de Inundación producto de la Simulación 1, Pr=100

(Fuente: Elaboración propia)

Ilustración 3 Zona de Inundación de la Simulación 2, Pr=100

(Fuente: Elaboración propia)

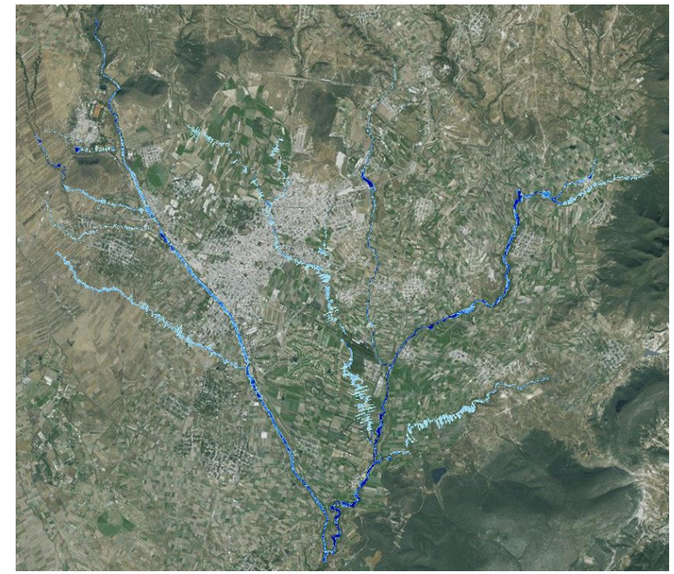


Ilustración 4 Zona de Inundación de la Simulación 3, Pr=100

(Fuente: Elaboración propia)

Ilustración 5 Zona de Inundación de la Simulación 4, Pr=100

(Fuente: Elaboración propia)

- **IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA ANTE INUNDACIONES**

La vulnerabilidad que aquí se analiza se refiere a vulnerabilidad física, y corresponde al análisis de las viviendas en la localidad de estudio para conocer qué tan susceptibles son a las inundaciones.

Antecedentes

La Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos del CENAPRED realizó una metodología para definir la vulnerabilidad de la vivienda en localidades rurales, a nivel de predio, la cual se basa en la inspección física de cada una de las viviendas que conforman la localidad en estudio (Eslava, 2006). Este informe presenta una metodología para identificar y cuantificar la vulnerabilidad de una población urbana, ante la ocurrencia de una inundación. Aunque las ideas usadas en una y otra metodología son similares, la principal diferencia consiste en que la primera (para zonas rurales) determina la vulnerabilidad para cada vivienda mediante una inspección física de la misma, en cambio para la segunda (para zonas urbanas) la vulnerabilidad se obtiene a través de la información del Censo General de Población y Vivienda (CGPV) y, dependiendo de la información cartográfica que se tenga, puede plasmarse a nivel de vivienda, manzana o área geoestadística básica (AGEB).

Con la tipología de la vivienda, es decir, se pretende definir algunos grupos en los que sea posible clasificar toda la gama de viviendas que pueden ser encontradas a lo largo y ancho del territorio nacional.

Tipología de la vivienda

Los materiales usados para la construcción de una vivienda representan una variable muy importante en la estimación de la vulnerabilidad de ésta. Por ello, en este capítulo, primero se enlistan los diferentes tipos de materiales que se utilizan en el país y, posteriormente, las combinaciones que resultan entre los materiales de construcción usados en los muros o en el techo de la vivienda serán tipificadas y evaluadas en función de su comportamiento ante una inundación.

Materiales comúnmente usados para el techo y los muros de las viviendas

Dada la diversidad de tipos de vivienda que pueden ser encontrados en todo el país, considerando los materiales usa- dos en sus muros y techo, el objetivo de este subcapítulo es agrupar las combinaciones que se pueden encontrar.

De acuerdo con datos del Censo General de Población y Vivienda del 2000 (INEGI, 2000), los materiales más usados en los muros de la vivienda en nuestro país son ocho (Ver Tabla 85).

Tabla 85 Materiales de construcción en muros

Tipo	Material
M1	Material de desecho
M2	Láminas de cartón
M3	Lámina de asbesto o metálica
M4	Carrizo, bambú o palma
M5	Embarro o bajareque
M6	Madera
M7	Adobe
M8	Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto

(Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía)

De igual forma, en nuestro país los materiales más usados para el techo de la vivienda son seis (Ver Tabla 86).

Tabla 86 Materiales de construcción en techos

Tipo	Material
T1	Material de desecho
T2	Láminas de cartón
T3	Lámina de asbesto o metálica
T4	Palma, tejamanil o madera
T5	Teja
T6	Losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con vigue-ria

(Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía)

Combinaciones posibles

Una vez definidos los materiales usados tanto en techo como en muros, el siguiente paso es identificar las posibles combinaciones para generar el tipo de vivienda. El resultado se presenta a continuación (Ver Tabla 87).

TECHO \ MUROS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
T1	1	X	X	X	X	X	X	X
T2	X	2	4	5	7	10	12	16
T3	X	3	X	6	8	11	13	17
T4	X	X	X	X	9	X	14	18
T5	X	X	X	X	X	X	15	19
T6	X	X	X	X	X	X	X	20

Tabla 87 Combinaciones posibles Techos/Muros

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía)

Cada cuadro, representado por la combinación de muro (columnas M1, M2..., M8) y techo (renglones T1, T2, …, T6), corresponde a un posible arreglo que define un tipo de vivienda. Por ejemplo, el arreglo que resulta de la columna correspondiente al tipo M5 (que son muros de embarro o bajareque) y el renglón T4 (techo a base de palma, tejamanil o madera), tienen como resultado una "vivienda con muros de bajareque y techo de palma".

Aunque las potenciales combinaciones son 48, varias de ellas no son posibles (por ejemplo, el caso extremo corresponde a una vivienda con muros tipo M1, material de desecho, con techo tipo T6, losa de concreto). Por lo anterior, el número de combinaciones se reduce quedando sólo las 20 que se presentan en la tabla anterior. La descripción de cada una de ellas se presenta en la tabla (Ver Tabla 88)

Tabla 88 Tabla de descripción de las combinaciones posibles

Combinación	Combinaciones del tipo de material para el techo y para los muros
1	Vivienda con muros y techo de material de desecho
2	Vivienda con muros y techo de lámina de cartón
3	Vivienda con muros de lámina de cartón y techo de lámina de asbesto o metalica
4	Vivienda con muros de lámina de asbesto o metálica y techo de lamina de carton
5	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lamina de carton
6	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lamina de asbesto o metalica
7	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de lamina de carton
8	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de lamina de asbesto o metalica
9	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de palma, tejamanil o madera
10	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de cartón
11	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de asbesto o metalica
12	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de cartón
13	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de asbesto o metalica
14	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de palma, tejamanil o madera
15	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de teja
16	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lamina de carton
17	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de asbesto o metálica
18	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de palma, tejamanil o madera
19	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de teja
20	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con viguería

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía)

Vulnerabilidad de las combinaciones

Con base en su comportamiento ante la presencia de agua, cada una de las combinaciones resultantes se clasifica y se agrupa en alguna de las siguientes combinaciones (Ver Tabla 89):

Tabla 89 Vulnerabilidad presencia de agua

TECHO \ MUROS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
T1	1	X	X	X	X	X	X	X
T2	X	2	4	5	7	10	12	16
T3	X	3	X	6	8	11	13	17
T4	X	X	X	X	9	X	14	18
T5	X	X	X	X	X	X	15	19
T6	X	X	X	X	X	X	X	20

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía)

La razón de desagregar la vulnerabilidad de la vivienda en cinco niveles es para manejar sólo cinco diferentes tipos de vivienda y no los 20 que resultan de las combinaciones de materiales para techo y muros, más las que tienen computadora y automóvil y las que no (Ver Tabla 90).

Tabla 90 Descripción de las combinaciones del tipos de vivienda techos/muros

COMBINACIÓN	TIPO DE VIVIENDA	COMBINACIONES ENTRE TIPO DE MATERIAL PARA EL TECHO Y PARA LOS MUROS
1	I	Vivienda con muros y techo de material de desecho
2	I	Vivienda con muros y techo de lámina de cartón
3	I	Vivienda con muros de lámina de cartón y techo de lámina de asbesto o metálica
4	II	Vivienda con muros de lámina de asbesto o metálica y techo de lámina de cartón
5	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de cartón
6	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de asbesto o metálica
7	II	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de lámina de cartón
8	II	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de lámina de asbesto o metálica
9	II	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de palma, tejamanil o madera
10	II	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de cartón
11	III	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de asbesto o metálica
12	II	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de cartón
13	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de asbesto o metálica
14	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de palma, tejamanil o madera
15	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de teja
16	II	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de cartón
17	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de asbesto o metálica
18	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de palma, tejamanil o madera
19	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de teja
20	IV	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con viguería

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía)

Tipificación del menaje y funciones de vulnerabilidad

Para estimar la función de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda, se propone una serie 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. Ese porcentaje de daños es, finalmente la vulnerabilidad de la vivienda ante inundaciones.

Aquí sólo se mostrará la función de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda, así como su tabla correspondiente (Ver Ilustración 6 a la Ilustración 10)

Elevación (m)	% de pérdida del menaje
0.00 - 0.20	0
0.20 - 0.40	3
0.40 - 0.60	10
0.60 - 0.80	44
0.80 - 1.00	73
1.00 - 1.20	93
1.20 - 1.40	93
1.40 - 1.60	96
1.60 - 1.80	96
1.80 - 2.00	100
2.00 - 2.50	100

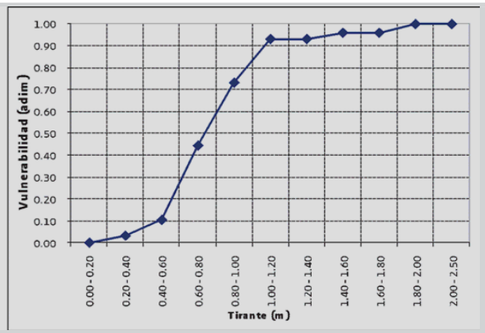


Ilustración 6 Vulnerabilidad y tabla para vivienda del tipo 1

(Fuente: Elaboración Propia)

Elevación (m)	% de pérdida del menaje
0.00 - 0.20	-
0.20 - 0.40	6
0.40 - 0.60	18
0.60 - 0.80	30
0.80 - 1.00	80
1.00 - 1.20	90
1.20 - 1.40	95
1.40 - 1.60	98
1.60 - 1.80	100
1.80 - 2.00	100
2.00 - 2.50	100
2.50 - 3.00	100

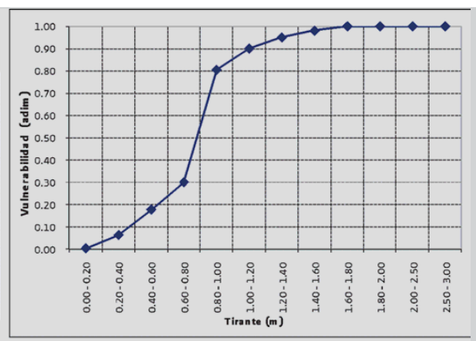


Ilustración 7 Vulnerabilidad y tabla para vivienda del tipo 2

(Fuente: Elaboración Propia)

Elevación (m)	% de pérdida del menaje
0.00 - 0.20	0
0.20 - 0.40	2
0.40 - 0.60	5
0.60 - 0.80	7
0.80 - 1.00	40
1.00 - 1.20	43
1.20 - 1.60	47
1.60 - 1.80	47
1.80 - 2.00	47
2.00 - 2.50	47
2.50 - 3.00	52
3.00 - 4.00	94
4.00 - 5.00	100
5.00 - 6.00	100

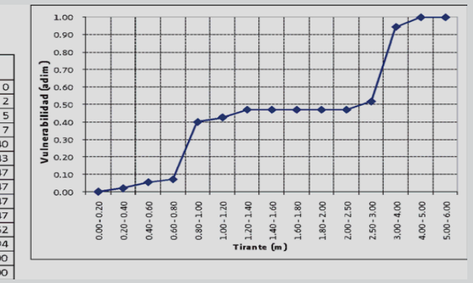


Ilustración 8 Vulnerabilidad y tabla para vivienda del tipo 3

(Fuente: Elaboración Propia)

Elevación (m)	% de pérdida del menaje
0.00 - 0.20	0
0.20 - 0.40	2
0.40 - 0.60	10
0.60 - 0.80	13
0.80 - 1.00	53
1.00 - 1.20	59
1.20 - 1.40	63
1.40 - 1.60	63
1.60 - 1.80	63
1.80 - 2.00	63
2.00 - 2.50	63
2.50 - 3.00	66
3.00 - 4.00	95
4.00 - 5.00	99
5.00 - 6.00	100
6.00 - 7.00	100
7.00 - 8.00	100
8.00 - 9.00	100
9.00 - 10.00	100

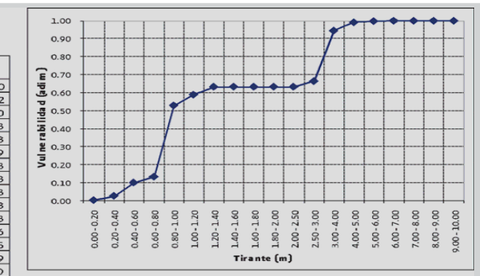


Ilustración 9 Vulnerabilidad y tabla para vivienda del tipo 4

(Fuente: Elaboración Propia)

Elevación (m)	% de pérdida del menaje
0.00 - 0.20	-
0.20 - 0.40	3
0.40 - 0.60	8
0.60 - 0.80	31
0.80 - 1.00	74
1.00 - 1.20	81
1.20 - 1.40	97
1.40 - 1.60	98
1.60 - 1.80	99
1.80 - 2.00	100
2.00 - 2.50	100
2.50 - 3.00	100

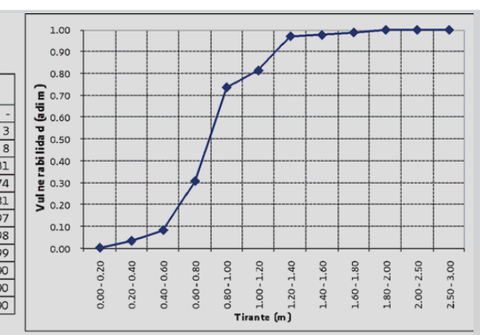
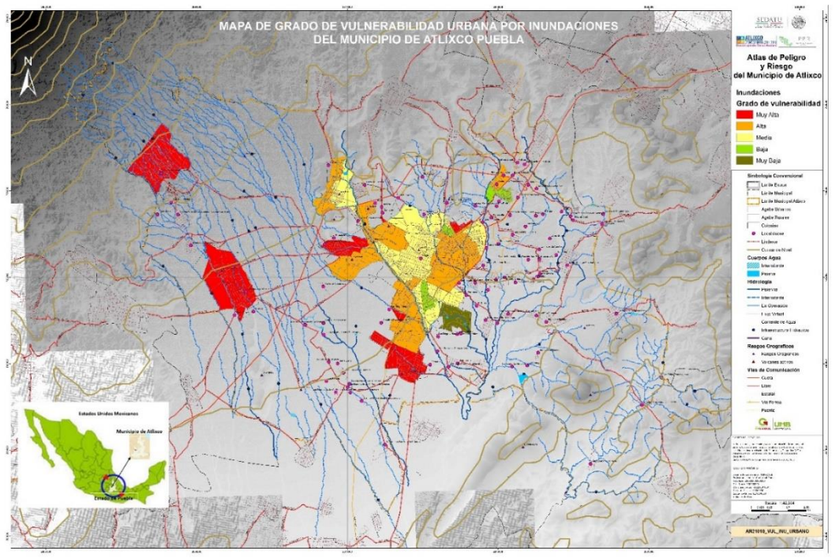


Ilustración 10 Vulnerabilidad y tabla para vivienda del tipo 5

(Fuente: Elaboración Propia)

De acuerdo con la clasificación aceptada en el presente estudio, al hablar de vivienda Tipo IV, se hace referencia a viviendas con dos o más niveles, por lo que en la Figura 2.4 se observa que la función de vulnerabilidad es casi horizontal de los 0.80 m a los 2.50. Lo anterior se debe a que más allá del primer metro de inundación, el porcentaje de pérdida en estas viviendas es mínimo, hasta que alcanza el segundo piso de la misma y, nuevamente vuelve a dispararse.

En la siguiente figura se muestra el mapa de vulnerabilidad Física por AGEB del municipio de Atlixco (Ver Mapa 102).



Mapa 102 Vulnerabilidad física en el municipio de Atlixco, por AGEB

(Fuente: Elaboración Propia)

- **EVALUACIÓN DEL RIESGO**

La elaboración de los mapas de riesgo (R) por inundación en localidades urbanas se llevará a cabo con los mapas de peligro (P) y de vulnerabilidad (V).

Es importante mencionar que el parámetro seleccionado para estimar el riesgo por inundaciones es el tirante. Esto significa que los daños esperados dependen del tirante de la inundación y, al mismo tiempo, el riesgo R(i) es a su vez función de la vulnerabilidad V(i) y del peligro P(i), como se plantea a continuación.

El riesgo en general está dado por la expresión:

$$R = CVP$$

Donde:

C = Valor de los bienes expuestos

V = Vulnerabilidad o porcentaje de daños en una vivienda, debidos a una inundación

P = Peligro o probabilidad de que ocurra un determinado evento

El análisis del riesgo R, o la presentación de los resultados pueden realizarse de varias maneras.

El mapa de riesgo por inundación permite zonificar la localidad con miras a:

a) Identificar las zonas críticas para cuantificar el daño potencial, desde el punto de vista de inundaciones,

b) al proyectar cualquiera de las medidas de protección, ya sean estructurales o institucionales, estar en posibilidad de llevar a cabo un análisis costo beneficio (comparando los costos de la solución proyectada vs. los daños potenciales),

c) en muchos casos es inminente la necesidad de obras de protección; sin embargo, la falta de presupuesto hace que la construcción de este tipo de obras se postergue indefinidamente. Ante esto, un sistema de monitoreo en tiempo real que les permita a las autoridades conocer cuándo y dónde evacuar a la población y resguardar algunos de sus bienes, es de suma utilidad.

Tabla 91 Función de peligro

Intensidad i (no.)	Tr(i) (años)	P(i)
1	2	0.60
2	5	0.20
3	10	0.12
4	25	0.04
5	50	0.02
6	100	0.012

(Fuente: Elaboración Propia)

Cada uno de los eventos de la Tabla 91, está asociado a un periodo de retorno y genera una superficie inundada a partir de la cual se calcula la altura de la inundación (tirante) en cada vivienda. Adicionalmente, y con base en el tipo de vivienda, se usa la correspondiente función de vulnerabilidad para estimar el porcentaje de los daños en la misma.

Índice de riesgo

Eventualmente, se pueden expresar los resultados en un mapa mediante un índice de riesgo para cada localidad de la manera siguiente:

$$I_{R_j} = \frac{R_j}{C_{MAX}}$$

Donde:

Rj = valor de los bienes expuestos dentro de la localidad

CMAX= máximo valor del bien expuesto dentro de la localidad

I_{R_j} será Alto si $0.67 < I_{R_j} < 1.0$,

I_{R_j} será Medio si $0.33 < I_{R_j} < 0.67$

I_{R_j} será Bajo si $0 < I_{R_j} < 0.33$

Tabla 92 Caracterización del riesgo para el período de retorno de 2 años

CVE_GEOA	ValorSE	Tirante metros	Perdida menaje %	P_Peligro	Peligro X Vulnerabilidad X Costo
2101900010339	$ 73,143,000.00	1.596235	97.981173	0.6	$42,999,821.62
2101900010748	$ 3,000,000.00	3.165959	58.970258	0.6	$ 1,061,464.64
2101900010589	$ 17,150,000.00	0.568283	4.52425	0.6	$ 465,545.33
2101900010733	$ 331,200,000.00	0.10561	0	0.6	$ -
2101900010108	$ 64,050,000.00	0.8965	22.922519	0.6	$ 8,809,124.05
2101900010697	$ 14,450,000.00	0.226732	0.267322	0.6	$ 23,176.82
2101900010447	$ 5,150,000.00	1.076232	41.143484	0.6	$ 1,271,333.66
210190001024A	$ 9,500,000.00	0.326121	1.261212	0.6	$ 71,889.08
2101900010714	$ 66,671,500.00	1.21889	82.511206	0.6	$33,006,875.22
2101900010428	$ 16,350,000.00	0.374127	1.74127	0.6	$ 170,818.59
2101900010451	$ 11,500,000.00	0.450689	2.760337	0.6	$ 190,463.25
2101900010574	$ 11,600,000.00	0.452637	2.789556	0.6	$ 194,153.10
2101900010818	$ 450,000.00	0.529346	7.173837	0.6	$ 19,369.36
2101900010644	$ 37,100,000.00	0.318418	1.184185	0.6	$ 263,599.58
2101900010288	$ 28,350,000.00	0.500743	3.511138	0.6	$ 597,244.57
210190001031A	$ 62,457,500.00	1.98876	99.943802	0.6	$37,453,440.08
2101900010659	$ 33,650,000.00	0.382487	1.824866	0.6	$ 368,440.45
2101900010273	$ 133,794,500.00	0.558938	6.973447	0.6	$ 5,598,053.13
2101900010606	$ 43,450,000.00	0.62381	5.2381	0.6	$ 1,365,572.67
2101900010324	$ 24,200,000.00	0.378174	1.781744	0.6	$ 258,709.23
2101900010023	$ 37,100,000.00	0.548319	4.224788	0.6	$ 940,437.81
2101900010396	$ 4,875,000.00	0.309809	1.098088	0.6	$ 32,119.07
2101900010381	$ 30,150,000.00	1.340931	44.409312	0.6	$ 8,033,644.54
2101900010682	$ 14,900,000.00	0.565741	4.486114	0.6	$ 401,058.59
2101900010343	$ 84,581,000.00	0.785049	29.280584	0.6	$14,859,486.45
2101900010466	$ 74,798,500.00	0.591842	7.796055	0.6	$ 3,498,799.32
210190065017A	$ 11,375,000.00	0.449196	3.967843	0.6	$ 270,805.28
210190065049A	$ 1,012,500.00	0.556183	8.247319	0.6	$ 50,102.46
2101900650220	$ 3,525,000.00	1.367639	62.352789	0.6	$ 1,318,761.49
2101900650517	$ 700,000.00	0.272822	0.728216	0.6	$ 3,058.51
2101900650502	$ 1,025,000.00	1.166103	57.983084	0.6	$ 356,595.97
2101900760822	$ 2,862,500.00	0.570382	8.815274	0.6	$ 151,402.33
2101900760521	$ 2,137,500.00	1.160539	57.816185	0.6	$ 741,492.57
2101900760837	$ 2,975,000.00	1.735483	63	0.6	$ 1,124,550.00
2101900760540	$ 562,500.00	2.900696	65.404176	0.6	$ 220,739.09
2101900760536	$ 725,000.00	0.426169	3.046776	0.6	$ 13,253.48
2101900880860	$ 20,850,000.00	0.712141	6.12141	0.6	$ 765,788.39
2101900880875	$ 98,100,000.00	0.878465	49.616138	0.6	$29,204,058.83
2101900010841	$ 375,000.00	0.446356	3.854226	0.6	$ 8,672.01

(Fuente: Elaboración Propia)

De hecho, se puede asociar un color a cada valor del índice de riesgo, por ejemplo, rojo para alto, amarillo para medio y verde para bajo. Hay que recordar que los valores son relativos por lo que son comparables únicamente dentro de la misma localidad. Una vez hechos los cálculos se puede regresar a la traza urbana y pintar cada vivienda con el color correspondiente según su índice de riesgo, peligro.

Tabla 93 Caracterización del riesgo para el período de retorno de 5 años

CVE_GEOA	ValorSE	Tirante metros	Perdida menaje %	P_Peligro	Peligro X Vulnerabilidad X Costo
2101900010339	$ 73,143,000.00	1.596235	97.981173	0.6	$42,999,821.62
2101900010748	$ 3,000,000.00	3.165959	58.970258	0.6	$ 1,061,464.64
2101900010589	$ 17,150,000.00	0.568283	4.52425	0.6	$ 465,545.33
2101900010733	$ 331,200,000.00	0.10561	0	0.6	$ -
2101900010108	$ 64,050,000.00	0.8965	22.922519	0.6	$ 8,809,124.05
2101900010697	$ 14,450,000.00	0.226732	0.267322	0.6	$ 23,176.82
2101900010447	$ 5,150,000.00	1.076232	41.143484	0.6	$ 1,271,333.66
210190001024A	$ 9,500,000.00	0.326121	1.261212	0.6	$ 71,889.08
2101900010714	$ 66,671,500.00	1.21889	82.511206	0.6	$33,006,875.22
2101900010428	$ 16,350,000.00	0.374127	1.74127	0.6	$ 170,818.59
2101900010451	$ 11,500,000.00	0.450689	2.760337	0.6	$ 190,463.25
2101900010574	$ 11,600,000.00	0.452637	2.789556	0.6	$ 194,153.10
2101900010818	$ 450,000.00	0.529346	7.173837	0.6	$ 19,369.36
2101900010644	$ 37,100,000.00	0.318418	1.184185	0.6	$ 263,599.58
2101900010288	$ 28,350,000.00	0.500743	3.511138	0.6	$ 597,244.57
210190001031A	$ 62,457,500.00	1.98876	99.943802	0.6	$37,453,440.08
2101900010659	$ 33,650,000.00	0.382487	1.824866	0.6	$ 368,440.45
2101900010273	$ 133,794,500.00	0.558938	6.973447	0.6	$ 5,598,053.13
2101900010606	$ 43,450,000.00	0.62381	5.2381	0.6	$ 1,365,572.67
2101900010324	$ 24,200,000.00	0.378174	1.781744	0.6	$ 258,709.23
2101900010023	$ 37,100,000.00	0.548319	4.224788	0.6	$ 940,437.81
2101900010396	$ 4,875,000.00	0.309809	1.098088	0.6	$ 32,119.07
2101900010381	$ 30,150,000.00	1.340931	44.409312	0.6	$ 8,033,644.54
2101900010682	$ 14,900,000.00	0.565741	4.486114	0.6	$ 401,058.59
2101900010343	$ 84,581,000.00	0.785049	29.280584	0.6	$14,859,486.45
2101900010466	$ 74,798,500.00	0.591842	7.796055	0.6	$ 3,498,799.32
210190065017A	$ 11,375,000.00	0.449196	3.967843	0.6	$ 270,805.28
210190065049A	$ 1,012,500.00	0.556183	8.247319	0.6	$ 50,102.46
2101900650220	$ 3,525,000.00	1.367639	62.352789	0.6	$ 1,318,761.49
2101900650517	$ 700,000.00	0.272822	0.728216	0.6	$ 3,058.51
2101900650502	$ 1,025,000.00	1.166103	57.983084	0.6	$ 356,595.97
2101900760822	$ 2,862,500.00	0.570382	8.815274	0.6	$ 151,402.33
2101900760521	$ 2,137,500.00	1.160539	57.816185	0.6	$ 741,492.57
2101900760837	$ 2,975,000.00	1.735483	63	0.6	$ 1,124,550.00
2101900760540	$ 562,500.00	2.900696	65.404176	0.6	$ 220,739.09
2101900760536	$ 725,000.00	0.426169	3.046776	0.6	$ 13,253.48
2101900880860	$ 20,850,000.00	0.712141	6.12141	0.6	$ 765,788.39
2101900880875	$ 98,100,000.00	0.878465	49.616138	0.6	$29,204,058.83
2101900010841	$ 375,000.00	0.446356	3.854226	0.6	$ 8,672.01

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 94 Caracterización del riesgo para el período de retorno de 10 años

CVE_GEOA	ValorSE	Tirante metros	Perdida menaje %	P_Peligro	Peligro X Vulnerabilidad X Costo
10190001033	$ 73,143,000.00	1.952766	99.763829	0.12	$8,756,430.89
10190001074	$ 3,000,000.00	3.216367	61.087417	0.12	$ 219,914.70
10190001058	$ 17,150,000.00	0.606771	5.067714	0.12	$ 104,293.55
10190001073	$ 331,200,000.00	0.210954	0.32861	0.12	$ 130,602.76
10190001010	$ 64,050,000.00	1.282418	43.824181	0.12	$3,368,326.55
10190001069	$ 14,450,000.00	1.205168	43.05168	0.12	$ 746,516.13
10190001044	$ 5,150,000.00	1.399112	44.991124	0.12	$ 278,045.15
10190001024	$ 9,500,000.00	0.839934	13.589176	0.12	$ 154,916.61
10190001071	$ 66,671,500.00	1.513813	97.569064	0.12	$7,806,091.02
10190001066	$ 114,079,000.00	0.377415	2.661231	0.12	$ 364,308.69
10190001042	$ 16,350,000.00	0.396759	1.967587	0.12	$ 38,604.06
10190001045	$ 11,500,000.00	1.050474	40.757107	0.12	$ 562,448.08
10190001057	$ 11,600,000.00	0.743303	6.433027	0.12	$ 89,547.74
10190001081	$ 450,000.00	0.736077	12.041161	0.12	$ 6,502.23
10190001064	$ 37,100,000.00	0.444584	2.668758	0.12	$ 118,813.11
10190001028	$ 28,350,000.00	0.564285	4.464271	0.12	$ 151,874.50
10190001031	$ 62,457,500.00	2.23063	100	0.12	$7,494,900.00
10190001065	$ 33,650,000.00	0.510108	3.651615	0.12	$ 147,452.21
10190001027	$ 133,794,500.00	0.591657	7.791417	0.12	$1,250,938.49
10190001060	$ 43,450,000.00	0.491906	3.378583	0.12	$ 176,159.32
10190001032	$ 24,200,000.00	0.813165	9.17217	0.12	$ 266,359.82
10190001002	$ 37,100,000.00	0.59212	4.8818	0.12	$ 217,337.74
10190001039	$ 4,875,000.00	0.410412	2.416471	0.12	$ 14,136.36
10190001038	$ 30,150,000.00	1.340966	44.409659	0.12	$1,606,741.46
10190001068	$ 14,900,000.00	0.768733	6.68733	0.12	$ 119,569.46
10190001034	$ 84,581,000.00	0.710357	20.691083	0.12	$2,100,086.99
10190001046	$ 74,798,500.00	0.644103	13.071821	0.12	$1,173,303.12
10190065017	$ 11,375,000.00	0.815285	16.057022	0.12	$ 219,178.35
10190065049	$ 1,012,500.00	1.081641	55.449243	0.12	$ 67,370.83
10190065022	$ 3,525,000.00	1.484455	63	0.12	$ 266,490.00
10190065051	$ 700,000.00	0.394755	1.947552	0.12	$ 1,635.94
10190065050	$ 1,025,000.00	1.388427	62.768538	0.12	$ 77,205.30
10190076082	$ 2,862,500.00	0.7578	12.366998	0.12	$ 42,480.64
10190076052	$ 2,137,500.00	1.142559	57.27678	0.12	$ 146,914.94
10190076083	$ 2,975,000.00	1.691412	63	0.12	$ 224,910.00
10190076054	$ 562,500.00	2.896932	65.381591	0.12	$ 44,132.57
10190076053	$ 725,000.00	0.510954	6.438142	0.12	$ 5,601.18
10190088086	$ 20,850,000.00	0.765324	6.653243	0.12	$ 166,464.14
10190088087	$ 98,100,000.00	1.011682	80.584118	0.12	$9,486,362.37
10190001084	$ 375,000.00	0.597931	9.917259	0.12	$ 4,462.77
10190001030	$ 131,838,000.00	0.0229	0	0.12	$ -

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 95 Caracterización del riesgo para el período de retorno de 20 años

CVE_GEOA	ValorSE	Tirante metros	Perdida menaje %	P_Peligro	Peligro X Vulnerabilidad X Costo
10190001033	$ 73,143,000.00	2.10343	100	0.06666667	$4,876,200.00
10190001074	$ 3,000,000.00	3.260424	62.937805	0.06666667	$ 125,875.61
10190001058	$ 17,150,000.00	0.635911	5.359105	0.06666667	$ 61,272.43
10190001073	$ 331,200,000.00	0.29411	2.823286	0.06666667	$ 623,381.55
10190001010	$ 64,050,000.00	1.417778	45.177778	0.06666667	$1,929,091.12
10190001069	$ 14,450,000.00	1.484857	45.848575	0.06666667	$ 441,674.61
10190001044	$ 5,150,000.00	1.513299	46.132994	0.06666667	$ 158,389.95
10190001024	$ 9,500,000.00	0.994807	39.143134	0.06666667	$ 247,906.52
10190001071	$ 66,671,500.00	1.697331	98.486657	0.06666667	$4,377,502.10
10190001066	$ 114,079,000.00	0.40424	3.106	0.06666667	$ 236,219.58
10190001042	$ 16,350,000.00	0.418017	2.270248	0.06666667	$ 24,745.70
10190001045	$ 11,500,000.00	1.287025	43.870251	0.06666667	$ 336,338.59
10190001057	$ 11,600,000.00	0.839723	13.55425	0.06666667	$ 104,819.53
10190001081	$ 450,000.00	0.792664	12.889953	0.06666667	$ 3,866.99
10190001064	$ 37,100,000.00	0.537702	4.065526	0.06666667	$ 100,554.01
10190001028	$ 28,350,000.00	0.597471	4.962071	0.06666667	$ 93,783.14
10190001031	$ 62,457,500.00	2.334464	100	0.06666667	$4,163,833.33
10190001030	$ 131,838,000.00	0.288967	1.3345	0.06666667	$ 117,291.87
10190001065	$ 33,650,000.00	0.602496	5.024956	0.06666667	$ 112,726.51
10190001027	$ 133,794,500.00	0.588402	7.710041	0.06666667	$ 687,707.39
10190001060	$ 43,450,000.00	0.438273	2.5741	0.06666667	$ 74,563.10
10190001032	$ 24,200,000.00	0.950177	31.779207	0.06666667	$ 512,704.54
10190001002	$ 37,100,000.00	0.567911	4.518671	0.06666667	$ 111,761.80
10190001039	$ 4,875,000.00	0.438484	3.539363	0.06666667	$ 11,502.93
10190001038	$ 30,150,000.00	1.375051	44.750512	0.06666667	$ 899,485.29
10190001068	$ 14,900,000.00	0.811938	8.969712	0.06666667	$ 89,099.14
10190001034	$ 84,581,000.00	0.713977	21.107304	0.06666667	$1,190,184.59
10190001046	$ 74,798,500.00	0.676557	16.80408	0.06666667	$ 837,946.65
10190065017	$ 11,375,000.00	0.922219	37.443708	0.06666667	$ 283,948.12
10190065049	$ 1,012,500.00	1.218386	59.367724	0.06666667	$ 40,073.21
10190065022	$ 3,525,000.00	1.500626	63	0.06666667	$ 148,050.00
10190065051	$ 700,000.00	0.419594	2.783776	0.06666667	$ 1,299.10
10190065050	$ 1,025,000.00	1.466737	63	0.06666667	$ 43,050.00
10190076082	$ 2,862,500.00	0.712549	11.688238	0.06666667	$ 22,305.05
10190076052	$ 2,137,500.00	1.133465	57.003956	0.06666667	$ 81,230.64
10190076083	$ 2,975,000.00	1.679774	63	0.06666667	$ 124,950.00
10190076054	$ 562,500.00	2.877573	65.265435	0.06666667	$ 24,474.54
10190076053	$ 725,000.00	0.53514	7.405594	0.06666667	$ 3,579.37
10190088086	$ 20,850,000.00	0.821097	10.481057	0.06666667	$ 145,686.69
10190088087	$ 98,100,000.00	1.153783	87.689152	0.06666667	$5,734,870.54
10190001084	$ 375,000.00	0.666395	10.99592	0.06666667	$ 2,748.98
10190001080	$ 5,418,000.00	0.0078	0	0.06666667	$ -

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 96 Caracterización del riesgo para el período de retorno de 50 años

CVE_GEOA	ValorSE	Tirante metros	Perdida menaje %	P_Peligro	Peligro X Vulnerabilidad X Costo
10190001033	$ 73,143,000.00	2.285714	100	0.02	$1,462,860.00
10190001074	$ 3,000,000.00	3.214083	60.9915	0.02	$ 36,594.90
10190001058	$ 17,150,000.00	0.656781	5.567814	0.02	$ 19,097.60
10190001073	$ 331,200,000.00	0.37248	5.174386	0.02	$ 342,751.33
10190001010	$ 64,050,000.00	1.645474	47	0.02	$ 602,070.00
10190001069	$ 14,450,000.00	1.885049	47	0.02	$ 135,830.00
10190001044	$ 5,150,000.00	1.635049	47	0.02	$ 48,410.00
10190001024	$ 9,500,000.00	0.883969	20.854865	0.02	$ 39,624.24
10190001071	$ 66,671,500.00	1.918588	99.592939	0.02	$1,328,002.13
10190001066	$ 114,079,000.00	0.563155	7.078884	0.02	$ 161,510.40
10190001042	$ 16,350,000.00	0.439348	2.590222	0.02	$ 8,470.03
10190001045	$ 11,500,000.00	1.560413	46.60413	0.02	$ 107,189.50
10190001057	$ 11,600,000.00	0.965963	34.383885	0.02	$ 79,770.61
10190001081	$ 450,000.00	0.849539	22.907806	0.02	$ 2,061.70
10190001064	$ 37,100,000.00	0.617313	5.173134	0.02	$ 38,384.65
10190001028	$ 28,350,000.00	0.639183	5.391829	0.02	$ 30,571.67
10190001031	$ 62,457,500.00	2.304252	100	0.02	$1,249,150.00
10190001030	$ 131,838,000.00	0.30755	1.61325	0.02	$ 42,537.53
10190001065	$ 33,650,000.00	0.727588	6.275879	0.02	$ 42,236.67
10190001027	$ 133,794,500.00	0.584948	7.623694	0.02	$ 204,001.67
10190001060	$ 43,450,000.00	0.519732	3.795974	0.02	$ 32,987.01
10190001032	$ 24,200,000.00	1.115568	41.733526	0.02	$ 201,990.27
10190001002	$ 37,100,000.00	0.518548	3.778217	0.02	$ 28,034.37
10190001039	$ 4,875,000.00	0.479723	5.188904	0.02	$ 5,059.18
10190001038	$ 30,150,000.00	1.407375	45.07375	0.02	$ 271,794.71
10190001068	$ 14,900,000.00	0.808845	8.459467	0.02	$ 25,209.21
10190001034	$ 84,581,000.00	0.725929	22.481832	0.02	$ 380,307.17
10190001046	$ 74,798,500.00	0.676902	16.843699	0.02	$ 251,976.68
10190065017	$ 11,375,000.00	1.036831	54.104922	0.02	$ 123,088.70
10190065049	$ 1,012,500.00	1.364546	62.29092	0.02	$ 12,613.91
10190065022	$ 3,525,000.00	1.624998	63	0.02	$ 44,415.00
10190065051	$ 700,000.00	0.444862	3.794497	0.02	$ 531.23
10190065050	$ 1,025,000.00	1.549492	63	0.02	$ 12,915.00
10190076082	$ 2,862,500.00	0.747365	12.210472	0.02	$ 6,990.50
10190076052	$ 2,137,500.00	1.135217	57.056519	0.02	$ 24,391.66
10190076083	$ 2,975,000.00	1.687802	63	0.02	$ 37,485.00
10190076054	$ 562,500.00	2.886851	65.321108	0.02	$ 7,348.62
10190076053	$ 725,000.00	0.555038	8.201511	0.02	$ 1,189.22
10190088086	$ 20,850,000.00	0.867872	18.198953	0.02	$ 75,889.63
10190088087	$ 98,100,000.00	1.27562	91.89051	0.02	$1,802,891.81
10190001084	$ 375,000.00	0.71731	11.759651	0.02	$ 881.97
10190001080	$ 5,418,000.00	0.076758	0	0.02	$ -

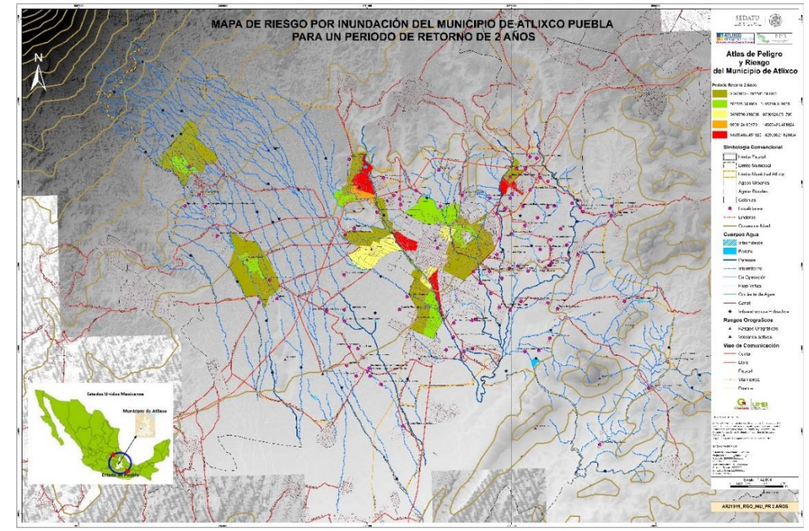
(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 97 Caracterización del riesgo para el período de retorno de 100 años

CVE_GEOA	ValorSE	Tirante metros	Perdida menaje %	P_Peligro	Peligro X Vulnerabilidad X Costo
10190001033	$ 73,143,000.00	2.400045	100	0.012	$ 877,716.00
10190001074	$ 3,000,000.00	3.20059	60.424784	0.012	$ 21,752.92
10190001058	$ 17,150,000.00	0.681657	5.816565	0.012	$ 11,970.49
10190001073	$ 331,200,000.00	0.421954	7.317261	0.012	$ 290,817.22
10190001010	$ 64,050,000.00	1.775641	47	0.012	$ 361,242.00
10190001069	$ 14,450,000.00	2.020051	47	0.012	$ 81,498.00
10190001044	$ 5,150,000.00	1.726892	47	0.012	$ 29,046.00
10190001024	$ 9,500,000.00	0.900341	23.556277	0.012	$ 26,854.16
10190001071	$ 66,671,500.00	2.090393	100	0.012	$ 800,058.00
10190001066	$ 114,079,000.00	0.642558	12.894221	0.012	$ 176,515.18
10190001042	$ 16,350,000.00	0.472259	3.083886	0.012	$ 6,050.58
10190001045	$ 11,500,000.00	1.760231	47	0.012	$ 64,860.00
10190001057	$ 11,600,000.00	1.064093	40.961395	0.012	$ 57,018.26
10190001081	$ 450,000.00	0.919774	36.954891	0.012	$ 1,995.56
10190001064	$ 37,100,000.00	0.662329	5.623294	0.012	$ 25,034.90
10190001028	$ 28,350,000.00	0.669406	5.694061	0.012	$ 19,371.20
10190001031	$ 62,457,500.00	2.488877	100	0.012	$ 749,490.00
10190001030	$ 131,838,000.00	0.377214	2.658214	0.012	$ 42,054.43
10190001065	$ 33,650,000.00	0.800931	7.153548	0.012	$ 28,886.03
10190001027	$ 133,794,500.00	0.622571	10.595658	0.012	$ 170,116.89
10190001060	$ 43,450,000.00	0.607005	5.07005	0.012	$ 26,435.24
10190001032	$ 24,200,000.00	1.220549	43.205488	0.012	$ 125,468.74
10190001002	$ 37,100,000.00	0.562972	4.44458	0.012	$ 19,787.27
10190001039	$ 4,875,000.00	0.488139	5.525563	0.012	$ 3,232.45
10190001038	$ 30,150,000.00	1.45139	45.513896	0.012	$ 164,669.28
10190001068	$ 14,900,000.00	0.836489	13.020722	0.012	$ 23,281.05
10190001034	$ 84,581,000.00	0.744383	24.604095	0.012	$ 249,724.68
10190001046	$ 74,798,500.00	0.694415	18.857708	0.012	$ 169,263.39
10190065017	$ 11,375,000.00	1.115324	56.459707	0.012	$ 77,067.50
10190065049	$ 1,012,500.00	1.458601	63	0.012	$ 7,654.50
10190065022	$ 3,525,000.00	1.688382	63	0.012	$ 26,649.00
10190065051	$ 700,000.00	0.462183	4.487322	0.012	$ 376.94
10190065050	$ 1,025,000.00	1.588452	63	0.012	$ 7,749.00
10190076082	$ 2,862,500.00	0.77018	12.552702	0.012	$ 4,311.85
10190076052	$ 2,137,500.00	1.143389	57.301667	0.012	$ 14,697.88
10190076083	$ 2,975,000.00	1.696326	63	0.012	$ 22,491.00
10190076054	$ 562,500.00	2.891138	65.346829	0.012	$ 4,410.91
10190076053	$ 725,000.00	0.578603	9.144125	0.012	$ 795.54
10190088086	$ 20,850,000.00	0.934264	29.153607	0.012	$ 72,942.32
10190088087	$ 98,100,000.00	1.39999	94.999738	0.012	$1,118,336.92
10190001084	$ 375,000.00	0.674785	11.121768	0.012	$ 500.48
10190001080	$ 5,418,000.00	0.115975	0	0.012	$ -

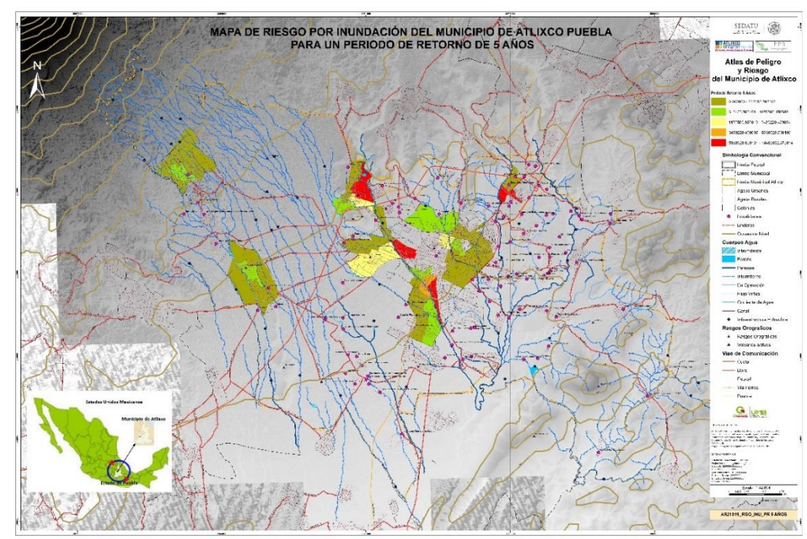
(Fuente: Elaboración Propia)

Finalmente, una vez que se cuenta con los mapas de peligro y de vulnerabilidad, los mapas de riesgo por inundaciones para el municipio de Atlixco son los siguientes (ver Mapa 103 al Mapa 108).



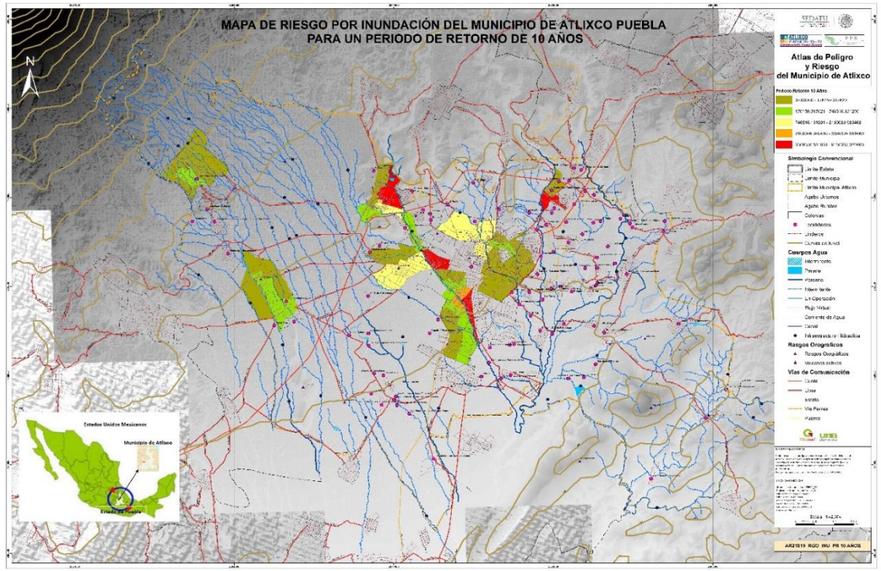
Mapa 103 Riesgo por Inundación del Municipio de Atlixco para un período de retorno de 2 años

(Fuente: Elaboración Propia)



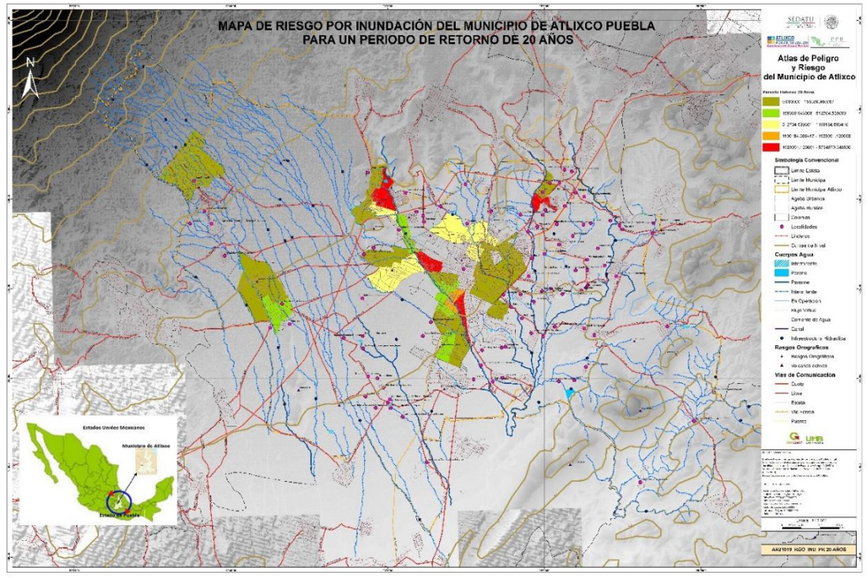
Mapa 104 Riesgo por Inundación del Municipio de Atlixco para un período de retorno de 5 años

(Fuente: Elaboración Propia)



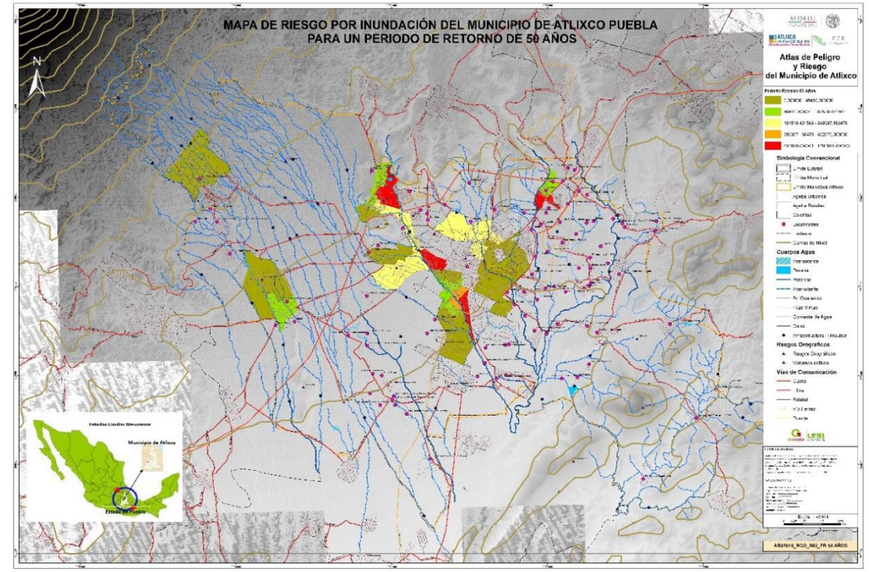
Mapa 105 Riesgo por Inundación del Municipio de Atlixco para un período de retorno de 10 años

(Fuente: Elaboración Propia)



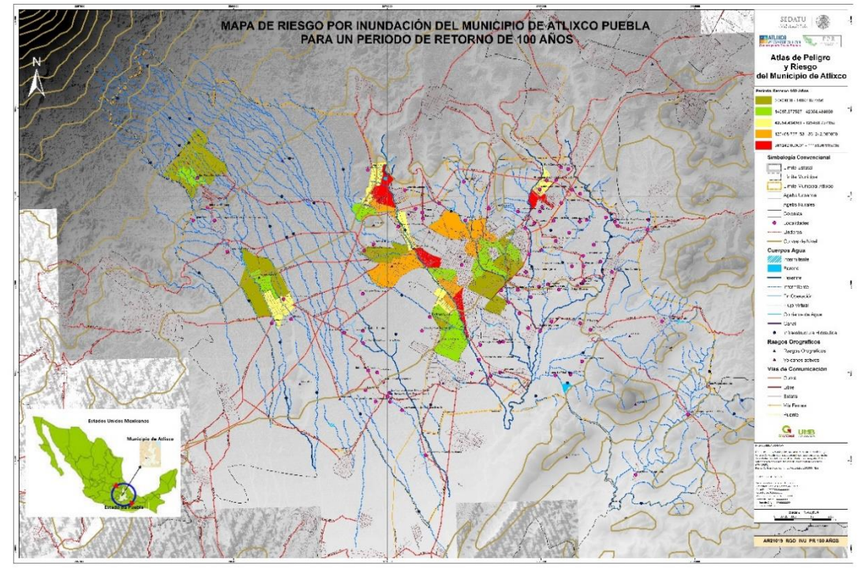
Mapa 106 Riesgo por Inundación del Municipio de Atlixco para un período de retorno de 20 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 107 Riesgo por Inundación del Municipio de Atlixco para un período de retorno de 50 años

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 108 Riesgo por Inundación del Municipio de Atlixco para un período de retorno de 100 años

(Fuente: Elaboración Propia)

FASE III.

6 Vulnerabilidad

Vulnerabilidad Social

De acuerdo con el CENPARED, la vulnerabilidad social se define como "el conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad; en conjunto con la capacidad de prevención y respuesta de la misma frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo de la población"27. Para estimarla, es preciso tomar en cuenta tres aspectos:

- **Las características socioeconómicas:** Consiste en el análisis de información estadística relacionada con las condiciones básicas de bienestar y desarrollo de la población.
- **Capacidad de prevención y respuesta:** Se obtiene a través de la realización de un cuestionario a la Unidad Municipal de Protección Civil.
- **Percepción local del riesgo:** Se calcula mediante la aplicación de una encuesta a la población del municipio.

En ese sentido, es muy importante diferenciar entre los distintos tipos de vulnerabilidad, mientras la física se asocia más a las características constructivas de la infraestructura, la social se centra más en los rasgos sociales, económicos, culturales y demográficos de la población.

El presente apartado incluye las estimaciones realizadas a partir de la metodología del CENAPRED28 para estimar la vulnerabilidad social del municipio de Atlixco. Es importante señalar que, aunque la metodología mencionada se diseñó para obtener resultados a nivel municipal, se hizo un esfuerzo por calcular, al menos los indicadores socioeconómicos, a nivel de localidad con el fin de identificar las más susceptibles de registrar impactos negativos a consecuencia de un fenómeno natural o antropogénico potencialmente destructivo.

Como se ha mencionado en apartados anteriores, el riesgo se compone de tres elementos (peligro, exposición y vulnerabilidad) sin embargo en el que mayor incidencia se puede tener para disminuir los niveles del riesgo es en la vulnerabilidad.

Como menciona Allan Lavell, los desastres son problemas no resueltos del desarrollo,29 es decir que mientras se aumente la cobertura en servicios de salud y educación, se mejoren las condiciones de vida de la población y se vinculen los análisis de riesgo con el desarrollo urbano y el ordenamiento territorial, no sólo se estará disminuyendo la vulnerabilidad de los habitantes de Atlixco, sino que el desarrollo del municipio mejorará de manera considerable.

Es importante mencionar que el índice de vulnerabilidad social, con los tres componentes enlistados anteriormente, únicamente se obtuvo a nivel municipal. Sin embargo, el análisis de los indicadores económicos y sociales se llevó a cabo a nivel de localidades de manera puntual y de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs) en el caso de las localidades urbanas.

Para el caso de la capacidad de respuesta, se analizó la información obtenida del cuestionario aplicado al responsable de la unidad municipal de protección civil.

En cuanto a la percepción local del riesgo, se conformó una base de datos con las encuestas levantadas y se interpolaron los resultados, obteniendo un mapa para todo el municipio.

El Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) se obtuvo entonces de los valores obtenidos del análisis de los ISE, CR y PLR, asignándoles un peso de 50% para el primero y de 25% para los otros dos:

$$IVS = (ISE*0.50) + (CP*0.25) + (PLR*0.25)$$

En donde:

IVS = Índice de Vulnerabilidad Social

ISE = Valor obtenido de los indicadores socioeconómicos

CP = Valor obtenido del análisis del cuestionario de capacidad de respuesta

PLR= Percepción Local del Riesgo

6.1.1 Características sociales y económicas

En lo que se refiere a los indicadores socioeconómicos, se realizó la división en cinco grandes categorías: Salud, Educación, Vivienda, Empleo e Ingresos y Población. En la siguiente tabla se observan los valores obtenidos y la condición de vulnerabilidad para el municipio de acuerdo con los rangos establecidos en la metodología del CENAPRED para cada variable. (Ver Tabla 98)

[27] (CENAPRED, 2006)

[28] CENAPRED, *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Riesgo*.

[29] Lavell, Allan, "Desastres y desarrollo: Hacia un entendimiento de las formas de construcción social de un desastre: el caso del huracán Mitch en Centroamérica", en *Del desastre al desarrollo sostenible: El caso de Mitch en Centroamérica*, publicado por el BID Y CIDHS, 2000.

Tabla 98 Características socioeconómicas del municipio de Atlixco y condición de vulnerabilidad

Categoría	Indicador	Dato Atlixco	Condición de vulnerabilidad	Valor asignado
Salud	Número de médicos por cada mil habitantes	1.56	Muy Baja	0.00
	Tasa de Mortalidad Infantil	10.63	Muy Baja	0.00
	Porcentaje de la población no derechohabiente	54.60	Media	0.50
Educación	Porcentaje de población analfabeta	7.40	Muy Baja	0.00
	Porcentaje de población de 6 a 14 años que asiste a la escuela	93.61	Muy Baja	0.00
	Grado Promedio de Escolaridad	8.25	Baja	0.25
Vivienda	Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada	14.64	Muy Baja	0.00
	Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje	7.59	Muy Baja	0.00
	Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad	1.14	Muy Baja	0.00
	Porcentaje de viviendas con piso de tierra	7.65	Muy Baja	0.00
	Déficit de vivienda	1.00	Muy Baja	0.00
Empleo e ingresos	Razón de dependencia	60.11	Baja	0.25
	Tasa de desempleo abierto	3.62	Baja	0.25
Población	Densidad de población	458.6	Baja	0.25
	Porcentaje de población de habla indígena	2.96	Predominantemente no indígena	0.00
	Dispersión poblacional	21.56	Media	0.5

(Fuente: Elaboración Propia)

Además de la estimación de los indicadores socioeconómicos a nivel municipal, se aplicó la misma metodología para obtener resultados a nivel AGEB y de las localidades. Cabe señalar que la dispersión poblacional, el número de médicos por cada mil habitantes y la densidad de población no se tomaron en cuenta para el cálculo del grado de vulnerabilidad social a este nivel.

Es importante aclarar que los rangos publicados en la metodología del CENAPRED fueron ajustados, ya que éstos son aplicables a nivel nacional y de utilizarse como se sugiere, no hubieran reflejado la situación real del municipio a una escala menor. El método utilizado para establecer los rangos que definieron la condición de vulnerabilidad de cada indicador fue el de intervalos iguales.

Con base en lo anterior, de las 65 AGEB's que conforman las zonas urbanas del municipio, seis presentaron un grado de vulnerabilidad social Muy Alto, en las cuales habitan 3,344 personas, otras cinco, en las que habitan 1,243 habitantes registraron un nivel Alto de vulnerabilidad social. (Ver Tabla 99 y Mapa 109)

Tabla 99 Grado de vulnerabilidad social a nivel AGEB con base en el análisis de los indicadores socioeconómicos

Grado de vulnerabilidad social	Número de AGEBs	Población	Porcentaje
Muy Alto	6	3,344	3.3%
Alto	5	1,243	1.2%
Medio	18	28,542	28.6%
Bajo	22	49,669	49.7%
Muy Bajo	14	17,058	17.1%

(Fuente: Elaboración Propia)

Por otro lado, de las 99 localidades existentes en el municipio, 13 registraron un grado de vulnerabilidad social Muy Alto, 24 Alto, 31 Medio, 28 Bajo y tres Muy Bajo. (Ver Tabla 100 y Mapa 110)

Tabla 100 Grado de vulnerabilidad social por localidad con base en el análisis de los indicadores socioeconómicos

Grado de vulnerabilidad social	Número de localidades	Población	Porcentaje
Muy Alto	13	7,344	5.8%
Alto	24	12,905	10.2%
Medio	31	95,467	75.3%
Bajo	28	11,027	8.7%
Muy Bajo	3	63	0.0%

(Fuente: Elaboración Propia)

El valor obtenido a nivel municipal fue de 2.0, lo que representa un nivel de vulnerabilidad **Muy Bajo** con relación a las características socioeconómicas de sus habitantes.

6.1.2 Capacidad de respuesta

La capacidad de respuesta se estima mediante la aplicación de cuestionario a las autoridades responsables de Protección Civil en el municipio.

El cuestionario consta de 24 preguntas que tienen la finalidad de conocer la capacidad de prevención y respuesta del municipio, el principal objetivo es evaluar de forma general el grado en el que se encuentra capacitado y equipado el personal de protección civil en el municipio para incorporar conductas preventivas y ejecutar tareas para la atención de la emergencia. (Ver Tabla 101)

Tabla 101 Cuestionario de capacidad de respuesta

No	Pregunta	SI	NO
1	¿El municipio cuenta con una unidad de protección civil o con algún comité u organización comunitaria de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y la respuesta?		
2	¿Cuenta con un plan de emergencia?		
3	¿Cuenta con un consejo municipal de Protección Civil? Cada cuando sesiona		
4	¿Existe una Ley Municipal de Protección Civil?		
5	¿Conoce los programas federales de apoyo para la prevención, mitigación y atención de desastres?		
6	¿Cuenta o utilizan algún mecanismo de alerta temprana?		
7	¿Cuenta con canales de comunicación a través de los cuáles se pueda coordinar con otras instituciones, áreas o personas en caso de una emergencia?		
8	¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica) en caso de desastre?		
9	¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (caminos y carreteras) en caso de una emergencia y/o desastre?		
10	¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos?		
11	¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre?		
12	¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchonetas, etc. para casos de emergencia?		
13	¿Tiene establecido un vínculo con centros de asistencia social (DIF, DINCOSA, LICONSA, etc.) para la operación de los albergues y distribución de alimentos, cobertores, etc.?		
14	¿Se llevan a cabo simulacros en las distintas instituciones (escuelas, centros de salud, etc.) sobre qué hacer en caso de una emergencia y promueve un Plan Familiar de Protección Civil?		
15	¿Cuántas personas integran el personal operativo de la Unidad Municipal?		
16	¿El personal está capacitado para informar sobre qué hacer en caso de una emergencia?		
17	¿Cuenta con mapas o croquis de su localidad que tengan identificados puntos críticos o zonas de peligro? Atlas municipal de riesgos		
18	¿Cuenta con el equipo necesario en su unidad para la comunicación tanto para recibir como para enviar información (computadora, internet, fax, teléfono, etc).?		
19	¿Cuenta con acervos de información históricos de desastres anteriores y las acciones que se llevaron a cabo para atenderlos?		
20	¿Cuenta con equipo para comunicación estatal y/o municipal (radios fijos, móviles y/o portátiles)?		
21	¿Cuenta con algún Sistema de Información Geográfica (SIG) para procesar y analizar información cartográfica y estadística con el fin de ubicar con coordenadas geográficas los puntos críticos en su localidad?		
22	¿Cuenta con algún sistema de Geo Posicionamiento Global (GPS) para georeferenciar puntos críticos en su localidad?		
23	¿Cuál es el grado promedio de escolaridad que tiene el personal activo?		
24	¿Qué actividades realizan normalmente?		

(Fuente: Elaboración Propia)

Con base en las respuestas obtenidas en el cuestionario aplicado al responsable de Protección Civil del municipio, se obtuvo una puntuación de 9, lo que representa una condición de vulnerabilidad **Media** en lo relacionado con la capacidad de respuesta del municipio.

6.1.3 Percepción local

La percepción local del riesgo es un componente de la vulnerabilidad social que, además de contribuir a la medición de esta última mediante un indicador cuantitativo, merece un análisis detallado que permita identificar las principales áreas de oportunidad en materia de desarrollo de la conciencia colectiva, cultura de protección civil y de prevención de riesgos.

Este análisis se llevó a cabo a partir de la cuantificación de los datos obtenidos de las encuestas aplicadas a 107 habitantes de Atlixco. Se distinguió entre zonas rurales y urbanas. Esta decisión obedeció a los diversos planteamientos que se pueden formular a priori, a cerca de las diferencias existentes entre los centros urbanos con mayor número de habitantes y mejor dotación de servicios e infraestructura, y aquéllos más pequeños que se encuentran alejados, dispersos y con menor densidad poblacional.

Tomando lo anterior en cuenta, se entrevistó, por una parte, a una muestra de 80 personas en las localidades urbanas y, por la otra, a una de 27 personas distribuidas en las localidades rurales del municipio. Para definirlas como rurales se utilizó el criterio establecido por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), es decir, aquéllas que cuentan con una población menor a 2,500 habitantes.[30]

El número de cuestionarios, por cabecera municipal y por conjunto de localidades rurales de cada municipio, se determinó por medio de muestreo aleatorio simple, con márgenes de error del 8% e intervalos de confianza del 90%.[31]

Lo anterior significa, en términos simples y con respecto al error, que la diferencia entre el valor que se estime para la investigación y el valor verdadero será del 8%. Considerando lo anterior, en la estimación del tamaño de muestra se definirá el valor de esta variable, es decir, el máximo error que se esté dispuesto a aceptar. En cuanto al nivel de confianza, se trata de la probabilidad de que el error de muestreo real sea menor que el error de muestreo admitido por la encuesta.

Aunque no es una práctica habitual permitir tal flexibilidad en ambas variables, lo cierto es que las guías metodológicas correspondientes del CENAPRED no plantean la utilización de ningún método estadístico para definir una muestra de elementos a encuestar, dejando abierta esta decisión al criterio del responsable de la aplicación de los cuestionarios. Por ello, para el presente trabajo se decidió utilizar métodos estadísticos estándar, de aplicación sencilla, que permitieran obtener un número factible de

[30] Véase la definición de localidad rural en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/glogen/default.aspx?t=ehenoe.

[31] El cálculo se realizó por medio de una calculadora online: Santos, Glauber Eduardo de Oliveira. Cálculo amostral: calculadora on-line. Disponible en: <http://www.calculoamostral.vai.la>.

personas a encuestar, sin hacer de lado la aleatoriedad y, en cierta medida, la representatividad de la realidad que caracterice a las diversas regiones del municipio.

Sobre el número de encuestas, es importante analizar un aspecto adicional que tiene que ver con la creencia de que el tamaño de la muestra tendría que ser un porcentaje de la población, pero tal como lo sugiere la bibliografía especializada (Triola, 2006), la aplicación de la siguiente fórmula permite comprobar que el tamaño de la población es irrelevante:

$$n = \frac{\left[Z_{\alpha/2}\right]^2 \hat{p}\hat{q}}{E^2}$$

En donde:

n = Tamaño de la muestra.
$\boldsymbol{Z_{\alpha/2}}$ = Valor critico o valor positivo "z", que se encuentra en el límite vertical que separa a un área igual a $\alpha/2$ en la cola derecha de la distribución normal estándar.
$\boldsymbol{\hat{p} = \frac{x}{n}}$ = Proporción muestral de "x" "éxitos" en una muestra de tamaño "n".
$\boldsymbol{\hat{q} = 1 - \hat{p}}$
E = Margen de error.

De este modo, para los parámetros seleccionados en el presente caso, la modificación del margen de error y del nivel de confianza para fines ilustrativos permite realizar un ejercicio práctico que muestra cómo, aun cuando el tamaño de la población aumente en grandes proporciones, el incremento en el tamaño de muestra requerido es prácticamente marginal.

En concreto, si se utilizan los datos de Atlixco, aplicando la fórmula antes presentada, se puede apreciar en la Tabla 102, que con una población 10 veces mayor (esto es, que aumente 900%) se necesitaría la misma muestra. Asimismo, se aprecia que a medida que aumenta el tamaño de la población (número de habitantes), la muestra requerida no aumenta.

Tabla 102 Muestra Requerida

	Número de habitantes	Δ número de habitantes	Muestra requerida (personas a encuestar)
Pob. Atlixco * 100	13,436,400	9,900%	106
Pob. Atlixcol * 10	1,343,640	900%	106
Pob. Atlixco 2015	134,364	-	106

(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez definido el número de personas a encuestar, se estableció que para la aplicación de cuestionarios únicamente se tomarían en cuenta a personas mayores de edad, y a aquéllas cuyo lugar de residencia fuese la ciudad en cuestión.

Es importante señalar que se utilizó el cuestionario incluido en la guía del CENAPRED (Ver Tabla 103).[32] Su diseño permitió asignar un valor entre 1 y 0 a cada respuesta. Una respuesta con valor asignado igual a 0 representará el mínimo nivel de vulnerabilidad, sucediendo exactamente lo contrario en caso de que el valor sea 1.

En la fuente, los rangos en algunos casos son distintos según la naturaleza de la pregunta; sin embargo, el valor de las respuestas siempre se situó entre 0 y 1. Una vez hechas estas aclaraciones, se da paso al análisis de los resultados obtenidos tras haber aplicado los cuestionarios en el estado y sus municipios.

Tabla 103 Cuestionario de percepción local de riesgos

Número	Pregunta
1	¿Dentro de los tipos de peligro que existen cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su localidad?
2	Respecto a los peligros mencionados en la pregunta no. 1, ¿recuerda o sabe si han habido emergencias asociadas a estas amenazas en los últimos años?
3	¿Considera que un fenómeno natural se pude convertir en desastre?
4	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, etc.)?
5	¿Ha sufrido la pérdida de algún bien a causa de un desastre natural?
6	En caso que recuerde algún desastre, los daños que se presentaron en su comunidad fueron: Ninguna fatalidad, daños leves a viviendas e infraestructura; Personas fallecidas, algunas viviendas con daño total y daños a infraestructura (medio); o Personas fallecidas, daño total en muchas viviendas y daños graves en infraestructura.
7	¿Alguna vez ha quedado aislada su comunidad a causa de la interrupción de vías de comunicación, por algunas horas, debido a algún tipo de fenómeno?
8	¿Cree que en su comunidad se identifican los peligros?
9	¿Conoce algún programa, obra o institución que ayuda a disminuir efectos de fenómenos naturales (construcción de bordos, presas, terrazas, sistema de drenaje, sistema de alertamientos, etc.)?
10	¿En los centros educativos de su localidad o municipio se enseñan temas a cerca de las consecuencias que trae consigo un fenómeno natural?
11	¿Alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes?
12	En caso de haberse llevado campañas de información, ¿cómo se enteró?
13	¿Ha participado en algún simulacro en alguna ocasión?
14	¿Sabe a quién o a dónde acudir en caso de una emergencia?
15	¿Sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para dar aviso a la población sobre alguna emergencia?
16	En caso de haber sido afectado a causa de un fenómeno natural, ¿se le brindó algún tipo de apoyo?
17	¿Ha sido evacuado a causa de un fenómeno natural (inundación, sismo, erupción)?
18	De acuerdo con experiencias anteriores, ¿considera que su comunidad está lista para afrontar una situación de desastre tomando en cuenta las labores de prevención?
19	¿Existe en su comunidad /localidad/municipio alguna organización que trabaje en la atención de desastre?
20	¿Conoce la existencia de la unidad de protección civil?
21	¿Sabe dónde está ubicada y qué función desempeña la unidad de protección civil?
22	¿Estaría preparado para enfrentar otro desastre como el que enfrentó?
23	¿Considera que su comunidad puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?
24	¿Qué tanto puede ayudar la unidad de protección civil? ¿Puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?
25	Si usted tuviera la certeza de que su vivienda se encuentra en peligro, ¿estaría dispuesto a reubicarse?

(Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres

[32] CENAPRED, *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social*, pp. 95-101.

Así, una vez analizadas las encuestas, se obtuvo la siguiente tabla, es preciso notar que las celdas contienen un color y un porcentaje. El color se refiere a la condición de vulnerabilidad social que corresponde al municipio en cuestión (el rojo se utiliza para referirse a vulnerabilidad Muy Alta, mientras que el verde es para vulnerabilidad Muy Baja), derivado de la opción que haya respondido la mayoría de las personas que ahí se haya encuestado. El valor contenido en cada celda se refiere al porcentaje que representa el número de personas cuya respuesta elegida fue la que más se repitió (Ver Tabla 104).

Tabla 104 Condición de vulnerabilidad social

Municipio	Número de Pregunta																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ATLIXCO	59 %	52 %	95 %	77 %	90 %	99 %	79 %	70 %	85 %	79 %	56 %	58 %	58 %	72 %	79 %	88 %	77 %	58 %	70 %	79 %	59 %	66 %	60 %	38 %	81 %

(Fuente: Elaboración Propia)

Con relación a la primera pregunta, en la cual se pretende ***conocer las amenazas que la propia población identifica en su comunidad***, se pudo observar, por ejemplo, que el 59% de los encuestados identificó 5 o más fenómenos, siendo el más mencionado el vulcanismo, derivado de la cercanía del volcán Popocatépetl al municipio y el que mayor presencia tiene en la mente de los habitantes; seguido por las lluvias intensas, deslizamiento de laderas, las tormentas eléctricas y los fuertes vientos (Tabla 104).

Con relación a si ***la población tiene presente alguna emergencia asociada a la ocurrencia de cualquiera de los fenómenos identificados***. Cabe destacar que el 52% de la población encuestada no recordó ninguna emergencia asociada a alguno de los fenómenos en cuestión, pese a mencionar la presencia de los mismos, no tienen presente la ocurrencia de daños o pérdidas relacionadas con este tipo de eventos.

Por otro lado, el 95% de los encuestados ***consideró que un fenómeno natural puede convertirse en desastre***. Lo anterior muestra que, si bien existe la conciencia de que este tipo de fenómenos pueden convertirse en desastre, no existe una memoria histórica de desastres ocurridos en el pasado.

Con relación a la percepción de la población en torno a la ubicación de sus viviendas, ***la mayoría (77%) piensa que no están asentados en zonas susceptibles de amenazas***.

En las preguntas 4 y 5 la mayoría presentaron un nivel Muy Alto de vulnerabilidad asociada. En ambos casos, las respuestas negativas demuestran que, pese a encontrarse en zonas de alta incidencia de fenómenos potencialmente destructivos, la gente no es consciente de las implicaciones directamente asociadas a su ubicación.

En cuanto a la pregunta 4, la condición de vulnerabilidad se explica porque la gente responde que no está, o no sabe si está, en un área susceptible de amenazas, cuando en realidad lo está y, por tanto, su percepción sobre el grado de exposición se podría decir que es “errónea”.

En la pregunta 5, el grado asociado de vulnerabilidad se relaciona con el hecho de que la mayor parte de la población de la región ha sufrido daños derivados de fenómenos como los enlistados y, sin embargo, los encuestados no asocian las pérdidas sufridas a la ocurrencia de dichos fenómenos.

A los encuestados que recordaron algún desastre ocurrido en sus comunidades, se les preguntó sobre el tipo de daños que se registraron. ***La población tuvo el recuerdo de daños muy leves en infraestructura y viviendas sin ninguna fatalidad***.

En general, los habitantes de Atlixco***, consideraron que sus localidades han quedado aisladas, al menos en alguna ocasión, a consecuencia del impacto de fenómenos naturales***.

Lla mayoría de los encuestados consideró que ***los habitantes del municipio identifican los peligros a los que están expuestos***, con excepción de las localidades rurales.

Los resultados de la pregunta 9 ponen de manifiesto la necesidad de ***difundir los programas, acciones y dependencias que inciden directamente en la disminución, mitigación y prevención de desastres, ya que en todos los municipios la mayoría de la población manifestó desconocerlos***. La enseñanza de temas relacionados con la gestión de riesgos en instituciones educativas es de gran importancia para concientizar a la población. En este sentido, ***la mayoría de los encuestados manifestó tener conocimiento de que en los centros educativos de su localidad se imparten estos tópicos***.

A pesar de la difusión que se da a través de diversos medios de comunicación, ***la población manifestó que no se han llevado a cabo campañas de información relacionadas con los peligros existentes en el municipio***. Esta situación representa un área de oportunidad, ya que probablemente los medios utilizados para hacer llegar la información a la población no están penetrando en todos los niveles, por lo que sería importante explorar otras alternativas de difusión. A pesar de lo anterior, ***la población que sí identificó acciones de difusión expresó haberse enterado por radio o televisión***. En este sentido, los medios de comunicación juegan un papel sustancial, principalmente las radiodifusoras y televisoras locales.

La mayoría de la población manifestó haber participado en un simulacro. Por lo que la condición de vulnerabilidad para esta variable fue Baja.

En caso de alguna emergencia la mayor proporción de los encuestados manifestaron saber a quién acudir, lo que se puede interpretar como una buena presencia de las autoridades, tanto en la zona urbana como en la rural. El hecho de que la población haya contestado afirmativamente, no quiere decir que acudirá a Protección Civil, ya que existen otras instituciones, como la Cruz Roja Mexicana o dependencias municipales, estatales o federales, en las cuales el encuestado pudo haber pensado.

El 79% de los encuestados manifestó no saber si ***existe un sistema de alerta temprana operando en el municipio***. Cabe destacar que desde hace varios años el CENAPRED monitorea la actividad del volcán Popocatépetl y cuenta con un Sistema de Alerta Temprana.

La pregunta 18, en la que se le pide a los encuestados que respondan si ***consideran que su comunidad está preparada para afrontar una situación de desastre***, el 58% de los encuestados consideró que no lo están.

La mayoría de los encuestados no pueden identificar organizaciones e instituciones que trabajen en la atención de desastres a nivel local, por lo que la tendencia generalizada en este sentido es hacia una condición de vulnerabilidad Muy Alta.

En general, ***la mayoría de la población conoce la existencia de protección civil municipal***, sin embargo, una alta proporción ***desconoce su ubicación***. Asimismo, por medio de los cuestionarios aplicados se observó que la población rural no está familiarizada con las funciones que desempeña protección civil.

Por último, en la pregunta 25, ***la mayoría de la población manifestó que estaría dispuesta a reubicarse si tuviera la certeza de que su vivienda se encuentra en zona de riesgo***.

Así, una vez procesados todos los cuestionarios, y valorados conforme a lo estipulado en la metodología del CENAPRED, el municipio de Atlixco presenta una condición de vulnerabilidad **Media** asociada a la percepción local del riesgo de sus habitantes.

- ## Obtención del grado de vulnerabilidad social

Una vez obtenidos los valores de los tres componentes de la vulnerabilidad social se obtuvo como resultado que el municipio de Atlixco presenta un grado de vulnerabilidad social Bajo, puesto que obtuvo un valor de 0.325 como resultado de la ponderación asignada a cada elemento que la conforma. (Ver Tabla 105)

Tabla 105 Cálculo del grado de vulnerabilidad social del municipio de Atlixco

Elemento	Puntaje asignado	Porcentaje	Puntaje final	
Características socioeconómicas	0.150	0.5	0.075	
Capacidad de respuesta	0.500	0.25	0.125	
Percepción local del riesgo	0.500	0.25	0.125	
Grado de vulnerabilidad social			**0.325**	

(Fuente: Elaboración Propia)

Vulnerabilidad física

Aunque regularmente los sistemas expuestos suelen asociarse únicamente a la cantidad de personas, bienes e infraestructura que son susceptibles a ser dañados por la ocurrencia de un evento, existen otros elementos que también forman parte de ellos y que son intangibles. La seguridad, el conocimiento, el prestigio o la imagen, las capacidades de satisfacer compromisos adquiridos, etc., son sólo algunos de estos.

En el presente apartado se identifican los principales sistemas expuestos que se encuentran en el municipio de Atlixco, Puebla, sin embargo, la estimación de la vulnerabilidad física de los mismos únicamente se realizó para la vivienda.

Entre la información con la que se cuenta sobre sistemas expuestos se encuentran las escuelas, vialidades, templos, tanques de agua, puentes, plazas, oficinas de gobierno, mercados, linderos, instalaciones deportivas o recreativas, monumentos o museos, centros de salud y hospitales, cementerios, camellones, hoteles, refugios temporales.

Es importante señalar que toda la información sobre los sistemas expuestos esta georeferenciada, aunque cada capa trae asociados datos en distinto nivel. En la siguiente tabla se puede observar la desagregación de atributos por cada capa de información. (Ver Tabla 106)

Tabla 106 Información sobre los sistemas expuestos incluidos en el Atlas de Atlixco Puebla

Sistema afectable	Atributos	Fuente
Escuelas	EL INEGI Y SEP, CCT, TIPO DE EDUCACIÓN, NIVEL, SUBNIVEL, NOMBRE CONDICIÓN, ENTIDAD, MUNICIPIO, LOCALIDAD, NOMBRE DE CENTRO DE TRABAJO, TURNO, DOMICILIO, TELEFONO, DIRECTOR, CORREO ELECTRONICO, PAGINA WEB, AULAS EN USO, AULAS EXISTENTES, LABORATORIOS, TALLERES, DOCENTEN TOTALES, PERSONAL ADMINISTRATIVO, ALUMNOS TOTALES.	INEGI
Vialidades	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO, DESTINO.	INEGI
Templos	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Tanques de agua	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Puentes	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Plazas	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Oficinas de gobierno	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Mercados	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Linderos	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Instalaciones deportivas o recreativas	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Monumentos	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Museos	NOMBRE ESTABLECIMIENTO, RAZON SOCIAL, NOMBRE ACTIVIDAD, NUMERO DE TRABAJADORES (PERSONAS OCUPADAS), DIRECCIÓN, TIPO Y NOMBRE DE CENTRO COMERCIAL, TELEFONO, E-MAIL, PAGINA WEB, TIPO UNIDAD ECONOMICA, FECHA DE ALTA.	INEGI
Hospitales y Centros de salud	NOMBRE ESTABLECIMIENTO, CÓDIGO Y NOMBRE ACTIVIDAD, NUMERO DE TRABAJADORES (PERSONAS OCUPADAS), DIRECCIÓN, TIPO Y NOMBRE DE CENTRO COMERCIAL, TELEFONO, E-MAIL, PAGINA WEB, TIPO DE UNIDAD ECONOMICA, FECHA DE ALTA.	INEGI
Cementerios	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Hoteles	NOMBRE ESTABLECIMIENTO, CÓDIGO Y NOMBRE ACTIVIDAD, NUMERO DE TRABAJADORES (PERSONAS OCUPADAS), DIRECCIÓN, TIPO Y NOMBRE DE CENTRO COMERCIAL, TELEFONO, E-MAIL, PAGINA WEB, TIPO DE UNIDAD ECONOMICA, FECHA DE ALTA.	INEGI
Camellones	CÓDIGO, CONDICIÓN, GEOGRÁFICO, FECHA DE ACTUALIZACIÓN, NOMBRE, TIPO.	INEGI
Refugios temporales		

(Fuente: Elaboración Propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geográfica)

6.1.4 Tipología de la vivienda para estimación de vulnerabilidad

La gestión integral de riesgos se define como un proceso en el que se reconocen y valoran el peligro, la vulnerabilidad y la exposición de la sociedad y sus bienes, para formular e implementar políticas y estrategias encaminadas a reducir el impacto de amenazas naturales y antropogénicas.

La vulnerabilidad física de las viviendas ante el impacto de diversos fenómenos resulta un elemento fundamental para emprender acciones de gestión integral de riesgos. Para efectos del Atlas Municipal de Riesgos de Atlixco Puebla se ha determinado realizar la estimación de la vulnerabilidad física de viviendas tanto en zonas urbanas como rurales.

El actual apartado tiene como objetivo explicar la metodología utilizada sin ahondar en los grados de vulnerabilidad para cada tipo de fenómeno, ya que esto se hará en cada uno de los capítulos correspondientes. Para efectos de este trabajo, se entiende como vulnerabilidad física de la vivienda a "la susceptibilidad que tiene ésta de presentar algún tipo de daño provocado por la acción de algún fenómeno natural o antrópico".[33]

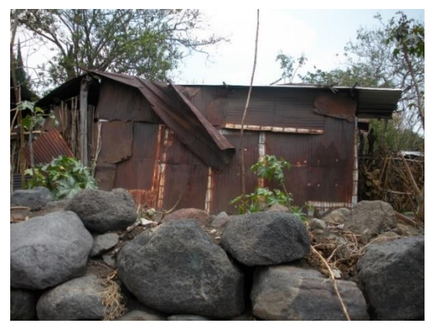
Para la zona urbana el detalle que se alcanzó fue a nivel manzana, analizando 1,697 manzanas de las cuales se descartaron 26 en donde no existía al menos una vivienda habitada.

Previo a la realización del trabajo de campo, se diseñó un listado que describe los tipos de vivienda de acuerdo a los materiales de construcción usados en la región (Ver Tabla 107).

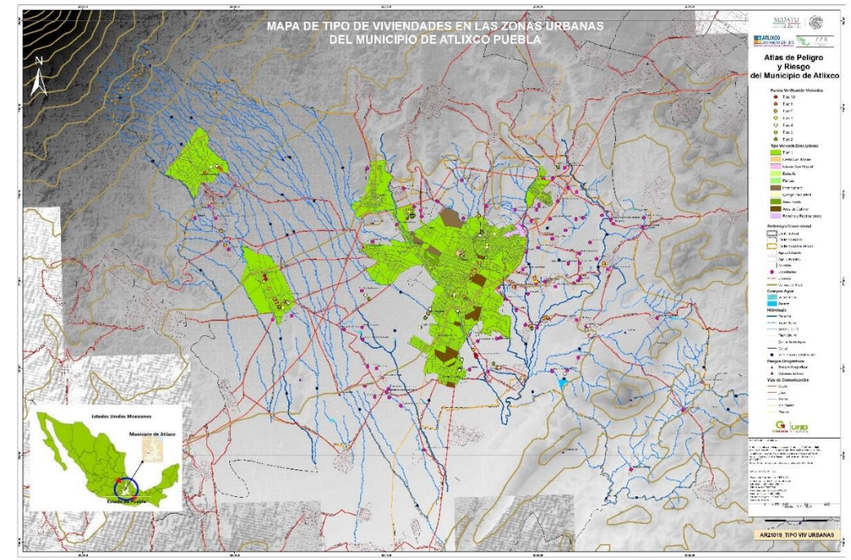
Tabla 107 Tipología de la vivienda para el Atlas de Atlixco Puebla

Tipo	Características de la Vivienda	Foto Representativa
1	**Muros:** Mampostería reforzada con castillo y dalas. Mampostería reforzada con castillo y dalas con malla y mortero. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior. **Techo:** Techo y entrepisos rígidos. **Cimentación:** Zapata corrida de concreto o mampostería. **Altura:** Uno a cinco niveles.	
2	**Muros:** Mampostería reforzada con castillo y dalas. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior. **Techo:** Flexibles. **Cimentación:** Zapata corrida de mampostería. **Altura:** Un nivel	
3	**Muros:** Mampostería deficientemente reforzada con castillo y dalas. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior insuficiente. **Techo:** Techo y entrepisos rígidos. **Cimentación:** Zapata corrida de mampostería. **Altura:** Uno a cinco niveles.	
4	**Muros:** Mampostería deficientemente reforzada con castillo y dalas. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior insuficiente. **Techo:** Flexible. **Cimentación:** Zapata corrida de mampostería. **Altura:** Un nivel.	
5	**Muros:** Adobe. **Techo:** Rígido. **Cimentación:** Cuando existe, de mampostería. **Altura:** Un nivel.	

[33] CENAPRED. Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social. Versión electrónica 2014

Tipo	Características de la Vivienda	Foto Representativa
6	**Muros:** Adobe. **Techo:** Flexible. **Cimentación:** Cuando existe, de mampostería. **Altura:** Un nivel.	
9	**Muros:** De madera con cubierta de lámina (asbesto, metálica o madera), Estructura metálica con cubierta de lámina (asbesto, metálica o madera). **Techo:** Flexible. **Cimentación:** Cuando existe, zapata de mampostería. **Altura:** Un nivel.	
10	**Muros:** Flexibles: Material de desecho, lámina de cartón, lámina de asbesto y metálica, palma, tejamanil, bajareque (enramado cubierto de arcilla). **Techo:** Flexible. **Cimentación:** Cuando existe, zapata de mampostería. **Altura:** Un nivel.	

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 109 Universo de manzanas urbanas trabajadas

(Fuente: Elaboración Propia)

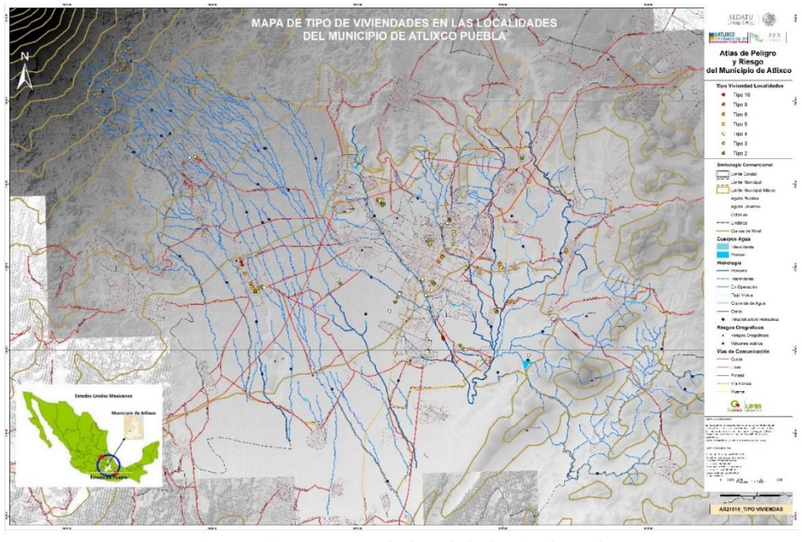
Con la información de la tabla anterior, a nivel urbano se identificó el material predominante, tanto en muros como en techos, en cada manzana con el fin de conformar una tipología con base en los parámetros sugeridos por el CENAPRED[34]. Es importante mencionar que en la mayoría de las manzanas predominaron las viviendas tipo 1, sin embargo, se identificaron varias viviendas con niveles de vulnerabilidad altos ante los distintos fenómenos analizados.

Para la zona urbana el detalle que se alcanzó fue a nivel manzana, analizando 1697 manzanas de las cuales se descartaron 26 en donde no existía al menos una vivienda habitada (Ver Mapa 109).

Para el caso de las localidades rurales únicamente se determinó el material predominante tanto en muros como en techos (de acuerdo a lo descrito en la tabla anterior: Tipo de Vivienda), asignándoles un grado de vulnerabilidad para cada fenómeno solicitado, con base en lo anterior, el número total de localidades en el Municipio de Atlixco Puebla sumó 131.

[34] CENAPRED. Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social. Versión electrónica 2014

Se eliminaron las localidades que no contaban con información referente a los tabulados básicos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. Cabe señalar que la mayoría de estos puntos no son localidades como tal, sino hoteles, atracciones turísticas, campamentos, ranchos particulares y ejidos, entre otros.



Mapa 110 Universo de localidades trabajadas

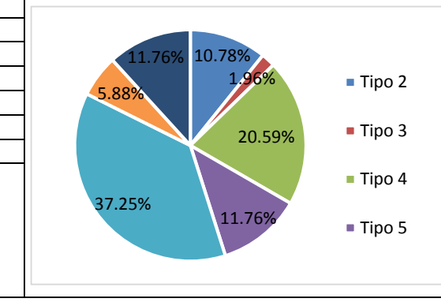
(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez realizado el ejercicio anterior, se determinó el universo de localidades a trabajar, que resultó en 102 (Ver Mapa 110). Con el fin de procurar darle un carácter dinámico al atlas, se realizó un análisis a partir del grado de marginación calculado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) para asociar este indicador, reflejo de diversas carencias socioeconómicas, con los niveles de vulnerabilidad observados en las viviendas y los procesos de urbanización directamente asociados a su edificación.

De las localidades trabajadas el 10.78% registraron una predominancia de viviendas tipo 2 (Es decir, mampostería reforzada con castillos y dalas y techos flexibles), el 1.96% tipo 3 (Mampostería deficientemente reforzada y techos rígidos), 20.59% tipo 4 (Mampostería deficientemente reforzada y techos flexibles), 11.76% tipo 5 (muros de adobe con repellado y techo rígido), 37.25% tipo 6 (muros de adobe con o sin repellado y techo flexible), el 5.88% tipo 9muros de madera con techo flexible) y el 11.76% como tipo 10 (materiales endebles tanto en techos como en muros). (Ver Tabla 108)

Tabla 108 Universo de localidades trabajadas y porcentaje según tipo de vivienda

Tipo de Vivienda	Cantidad	Porcentaje
Tipo 2	11	
Tipo 3	2	
Tipo 4	21	
Tipo 5	12	
Tipo 6	38	
Tipo 9	6	
Tipo 10	12	
Total	**102**	



(Fuente: Elaboración Propia)

En los apartados correspondientes a cada peligro se profundizará más con respecto a la condición de vulnerabilidad de los tipos de vivienda para cada uno de los fenómenos, así como en los criterios utilizados para determinar dicha condición.

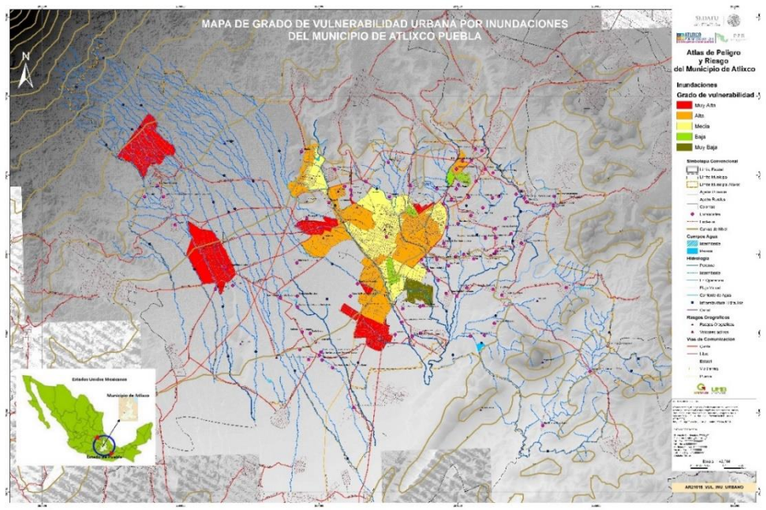
Es importante mencionar que los procesos de urbanización son muy variables en lo que se refiere a la temporalidad, sin embargo, es evidente que son cambiantes y que, por lo mismo, la actualización de la información es fundamental. Por tal motivo, es preciso dejar en claro que el levantamiento se realizó el mes de Abril de 2017, a partir de esas fechas se pudieron presentar algunos cambios en las variables utilizadas para este estudio, entre las más probables resalta el aumento en el número de viviendas o manzanas, la remodelación o reforzamiento de las mismas, o la aplicación de algún programa federal estatal o municipal para mejora de vivienda que pudiera incidir en la predominancia de algún material en la zona estudiada.

6.1.5 Vulnerabilidad física de la vivienda para inundaciones

Con el fin de estimar la vulnerabilidad física de la vivienda ante inundaciones en el municipio de Atlixco, se llevó a cabo un arduo trabajo de campo con el fin de reconocer el tipo de materiales predominantes en la región. Dicho ejercicio arrojó como resultado que los materiales predominantes en Atlixco son el Block en muros y losa de concreto o vigueta y bovedilla.

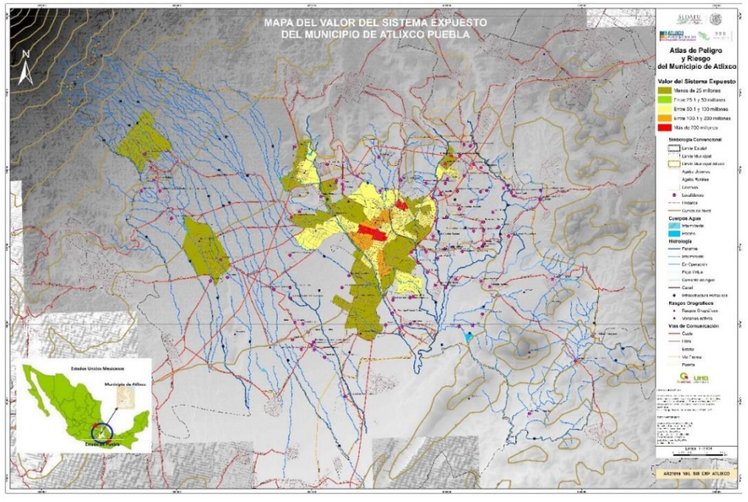
Con base en lo anterior, la metodología del CENAPRED sugiere realizar la evaluación de la vulnerabilidad con base en la cantidad de enseres domésticos por cada tipo de vivienda. Para ajustar los resultados del trabajo de campo, se utilizaron datos del Censo de población y Vivienda 2010 y se identificó aquellas áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs) en las cuales, las viviendas que las conforman, cuenten con refrigerador, internet, estufa, computadora, lavadora y radio.

A partir de dicha información y en combinación con el tipo de materiales predominantes se conformó un mapa a nivel AGEB con el grado de vulnerabilidad, así mismo, lo anterior permitió contar con un cálculo estimado del valor del sistema expuesto en cada AGEB. (Ver Mapa 111 y Mapa 112)



Mapa 111 Vulnerabilidad física ante inundaciones

(Fuente: Elaboración Propia)



Mapa 112 Valor del Sistema Expuesto

(Fuente: Elaboración Propia)

FASE IV.

7 Riesgo/Exposición

En apartados anteriores se ha mencionado la cantidad de infraestructura expuesta que existe en el municipio de Atlixco. Con el fin de estimar el valor del sistema expuesto, se decidió clasificar los tipos de vivienda de acuerdo con sus niveles de vulnerabilidad.

Derivado de lo anterior, se estimó que existen 5 niveles distintos de viviendas cuyo valor se asignó de acuerdo al valor promedio de enseres para cada tipo de vivienda. Quedando de la siguiente forma:

Las viviendas tipo 1, son las que se encuentran en una situación más precaria y el monto asignado fue de 12,500 pesos. Es importante mencionar que esto no incluye el valor de la construcción ni del terreno, sino únicamente de los contenidos de la vivienda.

A las viviendas tipo 2 se les asignó un valor de 50,000 pesos. Dichas cifras concuerdan con las utilizadas por el CENAPRED para estimar el riesgo por inundaciones costeras en la Guía Metodológica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Riesgo (CENAPRED 2006).

Para las viviendas tipo 3 el monto asignado fue de 150,000 pesos. El tipo 4 se les valoró en 300,000 pesos, y las de tipo 5 en 450,000 pesos.

Con base en lo anterior, se elaboró un mapa a nivel AGEB, con el valor del sistema expuesto a nivel Ageb. Para realizarlo simplemente se multiplicó el número de viviendas por el tipo de vivienda predominante (Ver Mapa 112)

Po otra parte, Con el fin de identificar el nivel de peligro para los principales tipos de fenómeno en el cual se encuentra la población, viviendas, escuelas y centros de salud, tanto en localidades rurales como urbanas, se realizó un análisis de bienes expuestos.

En lo que se refiere al peligro sísmico, el municipio de Atlixco tiene aproximadamente dos terceras partes de su territorio en la zona clasificada con peligro Alto y sólo el Noroeste del municipio se encuentra en la zona de peligro Medio.

En la Tabla 109, se puede observar la cantidad de bienes expuestos por cada nivel de peligro sísmico:

Tabla 109 Sistemas expuestos según nivel de peligro sísmico

Nivel de Peligro	Número de manzanas	Número de habitantes en zonas urbanas	Número de viviendas urbanas	Número de localidades rurales	Número de habitantes en localidades rurales	Número de viviendas en localidades rurales	Número de Escuelas	Número de Centros de Asistencia Médica
Baja	0	0	0	0	0	0	0	0
Media	0	0	0	2	3,978	887	4	1
Alta	1,389	86,690	27,798	96	36,138	8,385	118	25

(Fuente: Elaboración Propia)

En lo que se refiere a los peligros asociados al volcán Popocatépetl, se pudo identificar que aproximadamente el 83% de la población se encuentra dentro del área afectable por avalanchas. Además, todo el municipio se encuentra dentro de la zona con alta probabilidad de caída de ceniza, 16% de la población está asentada en la zona de peligro mayor por flujo de material volcánico, alrededor del 3% en zonas con peligro mayor por flujos gigantes y de lodo, entre otros peligros. (Ver Tabla 110 a la Tabla 116).

Tabla 110 Sistemas expuestos según nivel de peligro por caída de material volcánico

Nivel de Peligro	Manzanas Afectadas	Número de Habitantes Urbanos	Viviendas Totales Urbanas	Localidades Afectadas	Número de Habitantes Localidades	Viviendas Totales Localidades	Número de Escuelas	Número de Centros de Asistencia Médica
Mayor	0	0	0	5	6,346	1,346	4	1
Moderado	1,389	86,690	27,798	93	33,770	7,926	118	25
Menor	0	0	0	0	0	0	0	0

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 111 Sistemas expuestos según nivel de peligro por flujos

Nivel de Peligro	Manzanas Afectadas	Número de Habitantes Urbanos	Viviendas Totales Urbanas	Localidades Afectadas	Número de Habitantes Localidades	Viviendas Totales Localidades	Número de Escuelas	Número de Centros de Asistencia Médica
Mayor	181	9,775	2,748	7	12,998	2,764	9	2
Moderado	1,363	86,780	28,550	34	7,886	2,179	110	23
Menor	182	5,969	3,450	57	19,232	4,329	3	1

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 112 Sistemas expuestos según nivel de peligro por Flujos gigantes de lodo

Nivel de Peligro	Manzanas Afectadas	Número de Habitantes Urbanos	Viviendas Totales Urbanas	Localidades Afectadas	Número de Habitantes Localidades	Viviendas Totales Localidades	Número de Escuelas	Número de Centros de Asistencia Médica
Mayor	72	2,992	878	5	923	215	3	0
Moderado	39	1,998	945	16	4,685	1,040	0	0
Menor	0	0	0	0	0	0	0	0

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 113 Sistemas expuestos según nivel de peligro por flujos y oleadas piroclásticos

Nivel de Peligro	Manzanas Afectadas	Número de Habitantes Urbanos	Viviendas Totales Urbanas	Localidades Afectadas	Número de Habitantes Localidades	Viviendas Totales Localidades	Número de Escuelas	Número de Centros de Asistencia Médica
Flujo_Piroclásticos_Media	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo_Piroclásticos_Menor	1,256	85,120	26,241	29	14,804	3,180	108	24
Oleadas_Piroclásticas_Media	93	3,153	898	1	3,153	741	4	1
Oleadas_Piroclásticas_Menor	1,672	99,856	33,410	65	28,415	6,668	122	26

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 114 Sistemas expuestos según nivel de peligro por lahares

Nivel de Peligro	Manzanas Afectadas	Número de Habitantes Urbanos	Viviendas Totales Urbanas	Localidades Afectadas	Número de Habitantes Localidades	Viviendas Totales Localidades	Número de Escuelas	Número de Centros de Asistencia Médica
Mayor	27	770	210	0	0	0	0	0
Media	109	6,644	1,858	2	6,841	1,466	3	0
Menor	737	40,879	12,576	32	16,403	3,544	42	8

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 115 Sistemas expuestos según nivel de peligro por lavas

Nivel de Peligro	Manzanas Afectadas	Número de Habitantes Urbanos	Viviendas Totales Urbanas	Localidades Afectadas	Número de Habitantes Localidades	Viviendas Totales Localidades	Número de Escuelas	Número de Centros de Asistencia Médica
Mayor	0	0	0	0	0	0	0	0
Media	0	0	0	0	0	0	0	0
Menor	1,181	77,422	23,921	33	14,943	3,215	100	24

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 116 Sistemas expuestos según nivel de peligro por proyectiles balísticos

Nivel de Peligro	Manzanas Afectadas	Número de Habitantes Urbanos	Viviendas Totales Urbanas	Localidades Afectadas	Número de Habitantes Localidades	Viviendas Totales Localidades	Número de Escuelas	Número de Centros de Asistencia Médica
Mayor	0	0	0	0	0	0	0	0
Media	0	0	0	0	0	0	0	0
Menor	93	3,153	898	4	5,904	1,242	4	1

(Fuente: Elaboración Propia)

En relación con el fenómeno de inundaciones, se identificó que aproximadamente el 20% de la población se encuentra en zonas de riesgo alta y muy alta. Así mismo, 31 escuelas y 4 centros de asistencia médica se encuentran en dichas zonas. (Ver Tabla 117)

Tabla 117 Sistemas expuestos según nivel de peligro por inundaciones

Nivel de Peligro	Manzanas Afectadas	Número de Habitantes Urbanos	Viviendas Totales Urbanas	Localidades Afectadas	Número de Habitantes Localidades	Viviendas Totales Localidades	Número de Escuelas	Número de Centros de Asistencia Médica
Muy Baja	122	4,793	1,574	2	3,235	903	16	1
Baja	293	20,279	6,187	2	2,397	656	20	1
Media	89	5,261	1,473	2	5,590	2,051	12	3
Alta	258	22,162	6,868	0	0	0	21	3
Muy Alta	93	5,335	1,779	1	1,035	1,081	10	1

(Fuente: Elaboración Propia)

FASE V.

8 Recomendaciones Generales

Recomendaciones Sismos

Se debe de identificar el fenómeno al cual está expuesta la población, en este caso el sismo. Cómo se originan, las zonas generadoras de temblores y fundamentalmente las regiones de mayor afectación del municipio, con base en la densidad de población, tipo de construcciones, ubicación de hospitales, escuelas, refugios, museos, Palacio de Gobierno, etc.

Elaborar un catálogo de construcciones que se encuentren en las zonas de mayor peligro sísmico, identificando tipo de materiales en muros y techos, año de construcción y número de habitantes, identificando aquellos que por sus condiciones de movilidad, edad o situación económica pudieran considerarse más vulnerables.

Es preciso mantener actualizado el reglamento de construcción municipal, tomando en cuenta los últimos sismos registrados y percibidos en el municipio. Tener presente el manual de construcción de obras civiles, o normas sismorresistentes para la mitigación del fenómeno.

Se deben de considerar cursos de prevención para la mitigación del peligro sísmico dirigidos, tanto al personal de protección civil, como a la población en general.

Dar seguimiento a la actualización y revisión de la información del presente Atlas de Riesgo del municipio, con la finalidad de contar con una mejor preparación ante la presencia de dicho peligro.

- **Resiliencia**

Algunas medidas para la mitigación del riesgo sísmico, se llevarán a cabo únicamente con políticas públicas persistentes en el tiempo, más allá de los períodos de los gobiernos locales, con instituciones fuertes, bien coordinadas y con servidores públicos dispuestos a hacer cumplir las normas, es así como se puede realmente planear una ciudad con la resiliencia necesaria para afrontar un terremoto de gran magnitud.

- **Medidas preventivas para la mitigación de peligro ante un sismo**

Respetar el Reglamento de Construcciones del Municipio de Atlixco, las construcciones deberán ceñirse a lo dispuesto en el Capítulo VIII (Diseño por Sismo) de 1998. Se recomienda que se actualice dicho reglamento y se integren los siguientes temas para tener en cuenta los aspectos de construcción sismorresistente:

- Clasificación de las construcciones por su uso.
- Clasificación de las construcciones según su estructuración.

- Método simplificado de análisis.
- Estado límite por desplazamientos horizontales.
- Estado límite por una ruptura de vidrios.
- Muros de retención.
- Las obras de refuerzo en cimentaciones y estructuras de carga, deberán realizarse acorde al Reglamento de Construcciones del Municipio de Atlixco tomando en cuenta lo siguiente:
- Cimentaciones.
- Diseño de la cimentación.
- Asentamientos.
- Investigación del terreno de cimentación.
- Revisión y aprobación del diseño de cimentación.
- Obligaciones de cimentar.
- Investigación de las construcciones colindantes.
- Protección del suelo de cimentación.
- Resistencia
- Capacidad de carga de los suelos de cimentación.
- Análisis de la estabilidad de las cimentaciones.
- Memoria de diseño.

Realizar una evaluación sobre las condiciones que guarda la infraestructura para identificar las zonas de riesgo que pudieran resultar afectadas por un sismo y así mismo, informar a la población mediante los mapas integrados en el presente Atlas o bien a través de la realización de infografías.

Gestionar y ejecutar la demolición de edificios y casas dañadas y abandonadas que pudieran representar un riesgo para la población.

Es conveniente que se firmen convenios de colaboración con los colegios de arquitectos o ingenieros civiles con el fin de que después de un sismo se conformen brigadas de evaluación de daños que permitan dirigir los recursos a las zonas más afectadas de manera ágil.

Recomendaciones Volcanes

La comunidad necesita saber los riesgos a los que está expuesto, en el caso de Atlixco, el volcán Popocatépetl es parte de la cultura del municipio, sobre todo de aquellas localidades rurales que se encuentran ubicadas en las zonas más expuestas. La capacitación que se brinde a estas poblaciones tiene que realizarse de manera periódica y debe dirigirse también a los funcionarios municipales.

- **Medidas preventivas para la mitigación de peligro**

La Secretaría de Gobernación a través del Sistema Nacional de Protección Civil y de los gobiernos estatales, han implementado un Programa Operativo para evacuar a la población en caso de peligro y que cada ciudadano conozca las acciones a seguir respecto a la actividad volcánica. Dicho programa está basado en un Semáforo de Alerta Volcánica que consiste en lo siguiente:

Semáforo verde, etapa de normalidad:

El color verde indica que puedes desarrollar las actividades con normalidad, por lo que es una oportunidad para conocer la señalización de:

- Rutas de evacuación. Se deben de inspeccionar las rutas de evacuación ante alguna emergencia, ya que en malas condiciones de los caminos podría dificultar un posible desalojo, sobre todo en la temporada de lluvias ya que en caso de detectar algún daño podrá ser reparado.
- Sitios o centros de reunión. Informar a la población sobre los centros de reunión para poder concentrar a las personas en caso de un evento.
- Albergues. Informar a la población sobre los sitios que servirán de albergue ante una eventualidad para que se dirijan de manera adecuada y oportuna.
- Identificar las rutas de evacuación y dónde están los centros de reunión establecidos por las autoridades, para facilitar el posible traslado a lugares seguros, así como el refugio temporal o albergue que te corresponde.
- Asistir a los cursos de capacitación que te ofrezca la unidad de Protección Civil y sobre todo participa en los ejercicios y simulacros que se realicen en tu comunidad.
- Recuerda que las construcciones en las cañadas y riberas de los ríos son más propensas a sufrir daños, ya que generalmente los flujos de materiales volcánicos tomas esos cauces.
- Procura construir en las zonas más altas y que tu casa tenga techos fuertes y de preferencia inclinados.

Semáforo amarillo etapa de Alerta:

El color amarillo significa que tú debes estar alerta y pendiente de lo que te digan las autoridades y las noticias, y sobre todo seguir las indicaciones que te indiquen.

- Estar atento a la información oficial
- Estar preparado para una posible evacuación. Conozca su sitio de reunión
- Tener los documentos importantes a la mano. Prepara para cada miembro de tu familia, una tarjeta con su nombre y dirección.
- Si la vivienda tiene servicios de gas, luz y agua, asegúrate de saber cómo se cierran.

- Si puedes guardar: agua potable y alimentos, las medicinas que estés tomando tú o alguien de tu familia, así como tus documentos más importantes, como títulos de propiedad, actas de nacimiento o matrimonio, cartillas, etc.
- Procura tener a la mano un radio de pilas, linterna y las llaves de tu casa.
- Cubre los depósitos de agua y alimentos para evitar que se contaminen con las cenizas que puedan caer.
- Si tienes ganado o cualquier tipo de animales consulta en la unidad de Protección Civil qué debes de hacer con ellos.

Semáforo rojo etapa de Alerta:

El color rojo es la señal de alarma, cuando se presente atiende las recomendaciones de las autoridades. Si la instrucción es evacuar:

- Conserva la calma, reúne a tu familia, ponles una identificación, cuida que puertas y ventanas queden cerradas y coloca una sábana o tela blanca hacia la calle para comprobar que se trata de un domicilio evacuado.
- Acude inmediatamente a los centros de reunión. Lleva solo lo indispensable.
- Si puedes evacuar por tus propios medios, no dudes en hacerlo y dirígete al refugio temporal que te corresponde.
- Al llegar al refugio temporal regístrate y ubícate en el sitio que se te indique.
- Si requieres atención médica, acude a la instalación más cercana del Sistema de Salud. En el refugio temporal colabora en lo que se te pida, mantén contacto con las autoridades, ellas te indicarán las reglas a seguir durante tu estancia. Asimismo, te informarán sobre la evolución de la emergencia, hasta que esta termine.
- Si no puedes localizar el centro de reunión o no se presenta el medio de transporte para evacuarte, aléjate del volcán caminando por las partes altas hasta un lugar seguro.
- Después de la emergencia. Retorno a la Normalidad.
- Solo las autoridades indicarán cuándo será seguro regresar a las viviendas.
- Antes de entrar a las viviendas verificar las condiciones en que se encuentren, en caso de que se tengan dudas consultar con los Cuerpos de Emergencia, si el techo tiene ceniza, quitarla de inmediato cuidando que no se vaya al drenaje.
- No usar la electricidad ni el gas hasta estar seguro de que las instalaciones estén limpias de ceniza y en buen estado.
- No comer o beber nada que sospeche que está contaminado, si existen dudas consultar a las autoridades correspondientes.
- Mantenerse alerta al color del semáforo y seguir las recomendaciones del comité local de Protección Civil.
- Realizar junto con la familia las actividades cotidianas.
- Recomendaciones generales
- Si observamos algún cambio en el volcán, como nuevas fumarolas, fuentes termales, pozos secos, cenizas o deslizamientos, comuniquémoslo a las autoridades.
- Tener a la mano documentos importantes, de forma prioritaria aquellos irreemplazables.
- Tener agua potable y alimentos no perecederos que permitan abastecer a tu familia por un período de 3 días.
- Platicar con su familia y definir un plan de contingencia familiar.
- Si vives cerca de un volcán activo, prepara un kit de emergencia que incluya gafas de seguridad, una máscara, una linterna y una radio en buen estado que funcione con pilas.
- Elabora una ruta de evacuación y ten el depósito de gasolina del coche siempre lleno.
- Evacua siguiendo las recomendaciones de las autoridades para no encontrarte lava y barro, así como rocas y escombros que puede arrojar el volcán.
- Evita zonas de ríos y regiones bajas.
- Antes de abandonar tu casa, ponte una camisa de manga larga y pantalones largos; usa gafas de seguridad o normales, sin lentillas. Ponte una máscara de emergencia o envuélvete la cara con un paño húmedo.
- Si no vas a evacuar, cierra puertas y ventanas, y bloquea la chimenea y otros puntos de ventilación para evitar que la ceniza entre en la casa.
- Ten en cuenta que la ceniza puede sobrecargar el tejado y puedes necesitar retirarla. Durante la limpieza, lleva elementos de protección
- La ceniza puede dañar motores y piezas metálicas, así que evita conducir. Si debes conducir, no superes los 55 kilómetros por hora.

  Si bien todas las acciones descritas con anterioridad son de gran importancia, de nada sirven si no se difunden entre la población a través de diversos medios y de manera constante.

Inestabilidad de Laderas ***(CENAPRED, 2008)***

- **Medidas preventivas ante la inestabilidad de laderas**

Con el objetivo de disminuir el peligro por la inestabilidad de laderas se recomienda:

1.- Evitar cortar árboles ni destruir la vegetación natural existente en la región.

2.- No realizar excavaciones en las laderas de los cerros en forma de cortes y terrazas sin previa autorización.

3.- En los lugares en donde la superficie del terreno natural se encuentre inclinada y donde existan personas viviendo, es importante que no permitan que el agua de los drenajes domésticos se infiltre en el terreno.

4.- En caso de que detecte alguna fuga de agua, deberá dar aviso inmediato a las autoridades de protección civil, para que ellas se encarguen de agilizar los trabajos de reparación, con el fin de que no se reblandezca el terreno.

5. Es muy importante que los habitantes estén atento a las indicaciones de las autoridades de protección civil de su comunidad, sobre todo durante la temporada de lluvias.

6. Si existen viviendas que se encuentren ubicadas en la ladera de un cerro, los inquilinos deberán revisar constantemente las paredes, pisos y techos en busca de grietas o hundimientos.

7. Si existen personas que viven al pie o sobre una ladera en una región que pueda ser afectada por sismos intensos, se debe considerar la posibilidad de que la ladera se vuelva inestable. La única acción que permite reducir los efectos por inestabilidad de laderas es la detección oportuna y la toma inmediata de decisiones por parte de las autoridades, especialistas y público en general, a fin de poner en práctica los planes de evacuación y salvamento previamente diseñados para cada localidad.

Acciones previas a un proceso de inestabilidad

1. Los habitantes deben conocer o informarse sobre los antecedentes de los terrenos alrededor de su hogar. Averiguar si han ocurrido deslizamientos o flujos en el área, contactando a las autoridades locales.

2. Fomentar y apoyar las iniciativas de las autoridades locales para que se implanten y respeten las normas y reglamentos que regulan la planificación y construcción de estructuras en áreas susceptibles a movimientos de ladera. Toda estructura de vivienda debe de ser construida en áreas lejos de taludes empinados, arroyos y ríos, canales que estén secos durante ciertos periodos del año y en las desembocaduras de canales provenientes de las montañas.

3. Vigilar el drenaje en los taludes alrededor de su hogar. En especial observe aquellos lugares donde las corrientes de agua convergen causando que el flujo de agua sobre esos suelos aumente. Manténgase atento a cualquier rasgo que pueda indicar algún movimiento de suelo en las colinas que estén cerca de su hogar, tales como pequeños deslizamientos, flujos de escombros y / o múltiples árboles inclinados cuesta abajo.

4. Contacte a las autoridades locales para enterarse de los planes de evacuación en su área, en caso de emergencia. También desarrolle sus propios planes de emergencia para usted y su familia en caso de que tengan que evacuar el área.

Acciones durante una tormenta

1. ¡Manténgase despierto y alerta! Muchas de las muertes causadas por flujos o deslizamientos ocurren de noche cuando la gente está durmiendo. Manténgase atento a los avisos de tormenta por la radio. Tenga presente que lluvias intensas de corta duración son particularmente peligrosas, especialmente si ocurren después de periodos largos de lluvia.

2. Considere evacuar su hogar si vive en un área que es susceptible a movimientos de ladera, teniendo en cuenta que puede hacerlo sin peligro.

3. Esté atento a cualquier sonido producido por escombros en movimiento, tales como árboles derrumbándose o peñascos que chocan uno con otro. Usualmente los flujos y deslizamientos mayores son precedidos por movimientos pequeños. Si vive cerca de un canal o arroyo, debe de estar alerta a cualquier cambio súbito en los niveles y turbulencia del agua. Estos cambios pueden indicar que han ocurrido movimientos. Desaloje el área inmediatamente y no trate de salvar sus pertenencias. Usted y su familia son más importantes.

4. Cuando esté conduciendo un vehículo bajo condiciones de tormenta preste atención a los taludes de las carreteras ya que éstos son muy susceptibles a caídos, flujos y deslizamientos. Manténgase alerta por si ve lodo y rocas sobre la carretera, grietas o deformaciones del pavimento, ya que éstos pueden indicar la presencia de un movimiento de ladera.

Procedimientos

recomendables después de un movimiento de ladera

1. No asustarse, trate de mantener la calma y coordinarse con sus familiares, amigos y vecinos para tratar de salir de la zona de peligro e ir a un sitio seguro.

2. No precipitarse a “hincar (clavar) pilotes”, porque esto podría debilitar aún más al material térreo de la ladera, al incrementar la presión del agua que se encuentra dentro de dicho material.

3. Analizar el agua expuesta en el lugar y remover el agua libre.

4. Revisar la configuración de la superficie del terreno antes y después de ocurrido el deslizamiento, para lo cual resulta sumamente útil la recomendación siguiente.

5. Observar el sitio desde el aire, si es posible, y estudiar fotografías aéreas de la zona.

6. Estudiar los movimientos previos que se puedan localizar.

7. ¿Antes de buscar una solución, preguntarse? ¿Por qué ocurrió el movimiento?

8. Estudiar los registros existentes, antiguos y recientes, referentes al clima local y la sismicidad de la región.

9. Efectuar los estudios geotécnicos de exploración, muestreo, pruebas de laboratorio (para determinar las características de resistencia, deformabilidad y permeabilidad de los materiales térreos), efectuar los análisis de estabilidad necesarios.

10. Diseñar la solución de estabilización, basada en los cálculos de estabilidad correspondientes.

11. Instalar los sistemas de drenaje y / o estabilización necesarios.

12. Afinar y determinar los taludes y plantar una cubierta vegetal apropiada.

13. Preparar un expediente y registros que permitan documentar el problema. Asegurarse de que dichos documentos se depositen y mantengan en un sitio adecuado para ser usados regularmente en la inspección y el mantenimiento a lo largo de los trabajos enfocados a la estabilización, a mediano y largo plazo.

En el municipio de Atlixco existe una zona en particular que presenta niveles altos de riesgo por deslizamiento de laderas, este sitio se encuentra en la cabecera municipal y es el Cerro de San Miguel, el cual está densamente poblado y en el que ya se han presentado algunos eventos. Si bien el arraigo de la población que ahí habita es muy fuerte, es preciso realizar obras de mitigación para estabilizar los taludes y monitorear, incluso con la ayuda de la propia población, los movimientos que se presenten.

Recomendaciones Ondas Gélidas (Heladas) ***(CENAPRED, 2007)***

Las ondas gélidas tienen como consecuencia un aumento en la presencia de ciertas enfermedades como SON las Infecciones Respiratorias Agudas (IRA'S). Estas infecciones se transmiten fácilmente y pueden llegar a ocasionar en ciertos casos hasta la muerte. Sin embargo, de acuerdo con información histórica, el mayor número de muertes asociados a las bajas temperaturas se da por tres causas principales, la hipotermia, la intoxicación y las quemaduras, los dos últimos asociados al mal uso de calentadores y/o anafres cuyo fin es mantener caliente el interior de las viviendas.

Si bien todo el municipio de Atlixco está expuesto a este fenómeno, las localidades ubicadas al occidente son las más expuestas y en las que se presenta el mayor peligro por ondas gélidas, heladas y bajas temperaturas. Es importante señalar, que además de las afectaciones que estos fenómenos pueden tener sobre la población, el impacto en los sectores productivos agrícolas puede ser de igual forma significativo, ya que un alto porcentaje de los habitantes de Atlixco se dedican a esta actividad.

Medidas previas al fenómeno de la helada o presencia de bajas temperaturas

- Estar pendiente de la información sobre heladas y comunicados de las autoridades (Protección Civil, Secretaría de Salud, Secretaría de Educación, etc.) que se transmitan por los medios de comunicación.
- Informar a las autoridades sobre la localización de personas más vulnerables (indigentes, niños, ancianos o enfermos, discapacitados, personas en zonas de pobreza extrema).
- Procurar y fomentar, entre la familia y la comunidad, las medidas de autoprotección como:
- Vestir con ropa gruesa y calzado cerrado (chamarra, abrigo, bufanda, guantes, etc.) cubriendo todo el cuerpo.
- Comer frutas y verduras amarillas ricas en vitaminas A y C.
- La unidad de Protección Civil deberá Instalar refugios temporales en caso de ser necesario y difundir su ubicación entre la población.
- Almacenar agua, alimentos comestibles y productos de limpieza, en caso de emergencia.
- Disponer de un botiquín de primeros auxilios.
- Tener siempre a la mano un radio de pilas con repuestos suficientes para escuchar la información meteorológica.
- Lámpara con pilas y suficientes repuestos.
- Es preciso que el municipio cuente con una reserva de cobertores, agua embotellada y víveres antes del comienzo de la temporada invernal.
- La Unidad de Protección Civil debe llevar a cabo arduas campañas de prevención para el correcto uso de sistemas de calentamiento.

Medidas durante la helada

- Es importante tener cuidado con los sistemas de calentamiento para que no se respiren gases que provoquen la intoxicación de las personas.
- Recomendar a la población permanecer resguardado en el interior de su casa y procurar salir solamente en caso necesario.
- Instruir a la población que vive en casas con techos o paredes delgadas para que acuda a los refugios temporales cuando se avise de un frío intenso.
- Abrigarse con ropa gruesa de preferencia de algodón.
- Protegerse el rostro y la cabeza (gorro y guantes). Evitar la entrada de aire frío en los pulmones.
- Usar suficientes cobijas durante la noche y madrugada que es cuando desciende la temperatura.
- Siempre y cuando exista una ventilación adecuada, usar chimeneas, calentadores u hornillos, en caso de que el frío sea muy intenso y las cobijas no sean suficientes.
- Mantenerse seco pues la humedad enfría el cuerpo rápidamente. Cuando el cuerpo empieza a temblar, de inmediato regresar a un lugar con calefacción.
- Incluir alimentos ricos en vitaminas y grasas, a fin de incrementar la resistencia al frío.
- Asegurarse que las estufas de carbón, eléctricas y de gas estén alejadas de las cortinas.

Medidas de protección en cultivos

La preocupación de los agricultores para proteger sus cultivos de las heladas se debe a las fuertes pérdidas económicas y naturales que pueden presentarse durante el ciclo agrícola. Existen varios métodos para reducir los efectos de las heladas en cultivos, los cuales se agrupan en indirectos (o pasivos) y directos (o activos).

Los métodos indirectos disminuyen la afectación durante el periodo de helada, por la elección apropiada de las especies, variedades, épocas de cultivo y ubicación de las distintas plantas.

Los métodos directos se basan en acciones tomadas antes y durante el periodo de peligro de la helada. En algunos, se reduce la pérdida de calor del suelo protegiéndolo con cajones, cestos, entablillados de madera,

u otros elementos vegetales, o bien, produciendo nieblas o humos artificiales en la capa de aire adyacente a la superficie del suelo y reponen las pérdidas de calor agregando una cierta cantidad de él.

- **Métodos directos (activos)**

Entre otros métodos están los siguientes:

a). Protección o cubierta de los cultivos (plástico, fibra de vidrio, red, túneles, calentadores, aluminio pulverizado y aislador de espuma) y hasta barreras forestales. Por ejemplo, los abrigos de fibra de vidrio son grandes aisladores de calor para las plantas, presentan un tiempo de duración moderado, asimismo ayudan a una rápida regeneración en caso de ocurrir una helada y su costo es relativamente barato. Una desventaja es que propician que las hormigas se concentren, además de ser más difícil de instalar y manipular que otros abrigos.

b). Generación de humo y neblinas artificiales (nubes de humo desde un bote de combustible, combustión química, humo de caldera).

Para la generación de niebla, los agricultores usan ramas de árboles podados, estiércol, aserrín, paja, madera y pasto. Aunque no es recomendable por la contaminación ambiental y otros aspectos ecológicos, hoy en día hasta llantas de autos son quemadas. También se han utilizado sustancias químicas, como fósforo rojo, cloruro de amonio, cloruro de zinc, amoníaco, entre otros. Sin embargo, este tipo de substancias causan contaminación en el aire, incendios y algunos inconvenientes con la fauna nativa, por lo que resultan contraproducentes y deben ser prohibidos. Por ejemplo, en la producción de humo, al quemarse las sustancias de deshecho en los hornillos, éstas generan mucho hollín que refuerza el efecto invernadero, y con ello disminuye el enfriamiento. Así, el humo debe producirse antes de que la temperatura alcance los 0°C.

c) Calentamiento directo del aire y la planta (calentadores líquidos, calentadores sólidos, calentadores eléctricos).

El calentamiento consiste en generar el aire cálido en un cultivo momentos antes de que la temperatura sea crítica para las plantas. El objetivo del método es desprender más calor con menos humo.

Los calentadores de petróleo pueden agruparse en:

1) calentador sin chimenea
2) calefactor con chimenea a combustión lenta
3) calefactor con chimenea a combustión forzada por ventilación.
4) calefactor de combustión forzada por presión del combustible.

d). Irrigación y goteo. Inundación del terreno para liberar el calor latente. El uso del agua para contrarrestar las heladas es un método muy antiguo. Se conocen varias formas de riego: 1) inundación, 2) canales y 3) aspersión.

1) Riego por inundación. Consiste en utilizar el agua como aislante. Debido al calor específico que posee, puede ceder grandes cantidades de calor experimentando una leve variación de temperatura. No obstante, las posibilidades de riego son limitadas, debido a que no todos los cultivos toleran una inmersión prolongada y a la limitada disposición de grandes cantidades de agua.

2) Riego por canales. Tiende a modificar las condiciones térmicas del suelo, con lo cual se disminuye la probabilidad de helada.

3) Riego por aspersión. Consiste en aprovechar el calor latente de solidificación del agua. En algunos casos, provoca la modificación calórica del suelo. El agua, al caer sobre la planta se congela liberando una determinada cantidad de calor latente que recibirá el cultivo en el lugar donde la gota de agua cayó. En ese momento, la temperatura permanece muy próxima a 0°C. Por este motivo, es necesario que la provisión de agua sea continua, mientras la temperatura del aire circundante permanezca por debajo de 0°C.

Los sistemas más importantes del riego por aspersión son: riego por aspersión directo sobre el cultivo en el momento en que se produce la helada, riego por aspersión directo antes de la ocurrencia de la helada y riego por aspersión indirecto o fuera del cultivo a proteger.

e) Mezclado del aire (generación de viento artificial por medio de máquinas, como helicópteros). Retardan la pérdida de calor al cubrir las plantas con algún material no metálico como papel, plástico, paja o tela, que intercepte el calor irradiado por la tierra y por las plantas. El objetivo es no dejar escapar el calor de la planta por irradiación.

f) Mantenimiento de la temperatura sobre el punto de congelación por calentamiento artificial de las capas inferiores, por medio de hornillos o botes con petróleo o keroseno. Quemado de materia orgánica para producir humo cuyas partículas absorban el calor irradiado por la tierra.

Los combustibles sólidos pueden ser quemados en aparatos diseñados para ello o estar expuestos directamente al suelo. Existen calentadores que utilizan carbón fósil, como la hulla o lignito, así como conglomerados sólidos de sustancias inflamables. Otro combustible en calefactores es el gas, como metano, butano, etano o propano.

Las etapas principales en que el calor se transmite desde el calefactor hacia el exterior son dos: 1) transferencia convectiva y 2) radiación directa.

En resumen, determinadas prácticas agrícolas son utilizadas para reducir los efectos de las heladas, como las que se describen a continuación: las barreras forestales cuya finalidad es desviar el flujo de aire frío; la formación de espejos de agua, que producen una modificación en la radiación del lugar; utilización de plantas de corte alto; modificación calórica del suelo mediante el agregado de sustancias colorantes o de otros elementos como abonos naturales, turba o estiércol; por último el cubrimiento de plantas.

- **Métodos indirectos (pasivos)**

Son aquéllos que ayudan a prevenir el fenómeno de la helada sin necesidad de que ésta ya esté presente.

a). Escoger especies y variedades de cultivo resistentes a las heladas y de floración tardía.

b). Selección del terreno. Generalmente las depresiones son más propensas al frío y al fenómeno de la helada, por lo que se recomienda, en la medida de lo posible, no sembrar en el fondo de los valles cerrados, laderas y cuencas, que constituyen cauces naturales del flujo o masas de aire frío. En tanto, los cerros, lomas y montañas son sitios de dispersión del aire frío, que determinan condiciones poco favorables a la formación de las heladas. Así, se deberán preferir las colinas o cualquier elevación sobre el nivel ordinario del terreno para su plantación. También es importante tomar en cuenta, la orientación del terreno ya que las laderas dirigidas hacia el sur presentan menor probabilidad de heladas. Para la protección es necesario seleccionar aquellos lugares que manifiesten una mayor radiación durante el día, que sean más húmedos y con temperaturas altas (mayor cantidad de radiación solar y mayor reserva que durará toda la noche).

c). Métodos ecológicos. Se refieren al control de nutrientes, fertilizantes, rompevientos, entre otros. Al mismo tiempo que desfavorecen la formación de heladas, las técnicas ecológicas ayudan a la compactación y mejoramiento de suelos, así como a la rotación de cultivos. Mientras tanto, los suelos orgánicos o de turba presentan problemas cuando ocurren heladas nocturnas.

Recomendaciones Ondas Cálidas ***(CENAPRED, 2007)***

- **Medidas de mitigación contra sequías**

Se le recomienda a la población los siguientes puntos para mitigar los efectos de la onda u ola de calor:

- Evitar exponerse al solo entre el horario comprendido de las 11:00 am hasta las 16:00 hrs.
- Usar ropa suelta de colores claros y manda larga de preferencia.
- Evitar realizar actividades físicas intensas bajo o el sol o que requieren exposición de mucho tiempo al sol.
- Hidratarse constantemente tomando agua simple, aunque no se tenga sensación de sed.
- Consumir a alimentos frescos, frutas y verduras.
- Permanecer en la sombra y en lugares frescos.
- Usar protector solar (Recomendación mínima F15).
- Usar lentes de sol, gorra, o sombreros.
- No consumir bebidas alcohólicas.

Recomendaciones Sequías ***(CENAPRED, 2007)***

MEDIDAS DE MITIGACIÓN CONTRA SEQUÍAS

Las medidas de mitigación para disminuir los efectos negativos de las sequías se pueden dividir en dos grandes ramas: estructurales y no estructurales.

Medidas estructurales: Son las construcciones y obras de ingeniería que ayudan a controlar, almacenar, extraer y distribuir el agua, con el fin de optimar el uso del vital recurso en época de sequía. Entre estas obras de ingeniería están: presas, tanques de almacenamiento, sistemas de abastecimiento de agua potable, plantas de tratamiento de aguas negras, perforación de pozos, canales revestidos y sistemas de irrigación.

- Las presas son las obras de ingeniería de mayor importancia para almacenar agua. El diseño de estas obras debe estar en función de la hidrología del lugar y su topografía, así como de las actividades humanas cercanas a esta obra, como es la ganadería, la agricultura y la industria.
- Las plantas de tratamiento de aguas negras son un gran recurso que se puede usar en cierta clase de industria, riego, sanitario y en la jardinería son las aguas negras después de ser tratadas. En la ciudad de México, se desalojan alrededor de 40 m3/s de aguas negras y 4.5 m3/s de ellas son tratadas en plantas, de ellas, 2.5 m3/s se obtienen de la planta de tratamiento “La Estrella” y los restantes 2 m3/s de otras plantas de menor tamaño.

Debe mencionarse que un sistema de drenaje doble, uno sanitario (aguas negras) y otro pluvial (agua de lluvia), es lo más recomendable ya que un buen porcentaje del agua que se va por el drenaje es agua de lluvia, y ésta no necesita un tratamiento tan complicado como el de las aguas negras para depurarla, es más, en algunas ocasiones sin tratamiento se podrían inyectar al subsuelo para recargar los mantos acuíferos.

En general, todas las obras de ingeniería para mitigar las sequías son costosas y por sí solas no son la solución que evite las sequías, más bien son el complemento de otras medidas que en conjunto ayuden a contrarrestar los efectos negativos de este fenómeno.

Medidas no estructurales: Las medidas no estructurales o institucionales son aquellas acciones que se adoptan antes y durante la sequía para disminuir sus efectos negativos, sin involucrar la construcción de obra alguna. Estas medidas son socioeconómicas, legales, de planeación y se refieren principalmente a reglamentos sobre uso del agua.

Las medidas institucionales se pueden clasificar a su vez en dos grandes ramas, las cuales son: reactivas y preventivas, o prospectivas.

- Medidas reactivas: Son aquéllas que se adoptan durante el evento e implican que la comunidad actúe haciendo algo al respecto. Como ejemplo de este tipo de medidas son: limitar la dotación

de agua a la población y a la agricultura, implantar programas de emergencia que ayuden a los agricultores y ganaderos a disminuir las pérdidas económicas dentro de sus actividades, redistribuir el agua entre las diferentes actividades económicas dando prioridad a aquéllos de mayor importancia, teniendo en cuenta

que, en el escalafón de importancia, debe estar como primer lugar, el uso del agua para consumo doméstico de la población.

- Medidas preventivas o prospectivas: Son aquéllas que se implantan mucho antes de que suceda una sequía, como es crear una cultura en la población para cuidar el agua. Por ejemplo, se recomienda que en las escuelas de nivel básico se impartan clases sobre el uso adecuado de los recursos naturales; repartir folletos en los mercados, en la calle, en los centros de trabajo, en los lugares recreativos, etc., que hablen sobre el uso adecuado del agua. Otras medidas son la implantación de técnicas de irrigación para reducir la cantidad de agua en la agricultura y que las cosechas sean satisfactorias; introducir en el campo algún tipo de ganado o de cultivo que se adapte mejor al clima; poner en marcha programas de supervisión continua en las industrias para que no viertan desechos a los ríos, y cuidar que éstos no se contaminen, entre otras.

  El trabajo conjunto entre los diferentes sectores económicos (agricultura, ganadería e industria), así como con los centros de investigación, la Comisión Nacional del Agua, la población en general y los sectores gubernamentales será la clave del éxito de las acciones.

Medidas opcionales: Existen otras medidas para contrarrestar los efectos negativos de las sequías, éstas son:

- Obtener agua de sitios cada vez más alejados: En muchas áreas geográficas del país se están agotando los recursos hidráulicos de las cuencas y algunas poblaciones, como la ciudad de México, deben obtener el vital líquido de lugares cada vez más alejados; esto implica problemas tanto económicos como sociales, ya que el transporte del agua, debido a las distancias, es cada vez más caro y el agua de donde se obtiene es un recurso de los lugareños y, por tanto, se tienen disputas políticas por saber quién y cómo debe usarse.

- Lluvia artificial: Algunas veces la generación de lluvia artificial puede mitigar los efectos de las sequías; esta técnica consiste en esparcir sobre las nubes, por medio de avionetas, yoduro de plata, para provocar la condensación de las partículas de agua en suspensión en gotas suficientemente grandes para caer por su propio peso y, en su movimiento, dan lugar a una especie de reacción en cadena que causa la unión de más gotas. Esta medida es poco exitosa y no es aún un método firmemente establecido, puesto que se requieren de condiciones ambientales especiales para tener resultados satisfactorios; además, la lluvia obtenida puede causar la disminución de la precipitación en otra región.

Acciones para combatir las sequías

Existen modelos y/o métodos internacionales que pueden ser tomados en cuenta como acciones para combatir las sequías, mas sin embargo el costo de la implementación de los mismo resultaría una limitante para el municipio de Atlixco, estos modelos pueden ser consultado a detalle en **Fuente especificada no válida.**, tal es el caso:

- De los Modelos matemáticos para la planeación y manejo del agua en los Estados Unidos de América: Desde hace más de tres décadas se han elaborado por medio de programas de cómputo para la planeación y manejo del agua; éstos han sido complicados y costosos, además de tener un uso limitado.
- Plan Nacional contra sequías en Australia: Australia es un país que padece año con año de las sequías. Debido a su posición geográfica, es común encontrar regiones donde las lluvias son escasas y en la mayor parte del año el cielo está despejado. Debido a ello, desde 1992, se ha implantado un programa para combatir a las sequías. Este programa está orientado a tres objetivos fundamentales:
  - Se pretende motivar a los productores del sector agrícola y otros sectores rurales a la autoprotección ante el eminente riesgo por la presencia de una variabilidad climática.
  - El gobierno busca las formas de mantener y proteger el sector agrícola, así como los recursos naturales y el medio ambiente durante la presencia de una sequía implantando programas y políticas.
  - El gobierno apoya las políticas que faciliten la recuperación de la industria agrícola consistente en una producción sustentable a largo plazo.

- Plan de acción contra sequías en el oeste de los Estados Unidos de América: Los gobiernos de los estados del oeste de los Estados Unidos de América crearon un plan de acción para contrarrestar los efectos negativos de las sequías. El plan se basa en una respuesta integral para combatirlas, además de trabajar juntos para implantar medidas de control y manejo del agua en situaciones de emergencia. El plan contempla tres grandes acciones:
  - Coordinar, a nivel federal, las acciones sobre las necesidades de los estados para identificar rápidamente los problemas que se tienen por sequías y darles una solución efectiva.
  - Trabajar en conjunto tanto las entidades federativas como las asociaciones privadas para el establecimiento de criterios que indiquen las medidas de emergencia que se deben de adoptar para diferentes niveles de sequía, así como establecer convenios de ayuda mutua.
  - Compartir las soluciones y formas de ayuda que puedan ser implantadas dentro de sus propios estados y localidades.

- Programa Hidráulico de Gran Visión para el estado de Chihuahua, México: La Comisión Nacional del Agua, a través de la Subdirección General de Programación, Gerencia Regional Norte y el gobierno del estado de Chihuahua crearon, en junio de 1997, un Programa Hidráulico de Gran Visión para dicho estado. Este programa consta de dos grandes partes, la primera es una introducción sobre las características fisiográficas, económicas y sociales del estado de Chihuahua. En la segunda parte se desarrolla dicho programa.

Recomendaciones Tormentas de Granizo (Granizadas) ***(CENAPRED, 2010)***

Acciones ante granizadas

Debido a los efectos de las tormentas de granizo, es conveniente que la población aprenda a protegerse de estos fenómenos:

¿Qué hacer antes de una granizada?

1.- Asegurar los objetos del exterior de la vivienda que puedan desprenderse o causar daños, debido a los fuertes vientos que pueden acompañar a la tormenta de granizo.

2.- Cerrar las ventanas y correr las cortinas.

3.- Reforzar las puertas exteriores.

4.- Quitar las ramas o árboles muertos que puedan causar daño durante una tormenta.

5.- Estar atentos a los avisos de tormentas severas que emite el Servicio Meteorológico cada 6 horas (smn.conagua.gob.mx).

¿Qué hacer durante una granizada?

Como se mencionó anteriormente, la magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. Cuando el tamaño del granizo es muy grande o la granizada es muy copiosa y viene acompañada de un gran flujo de agua, puede provocar lesiones o poner en riesgo la vida de las personas. En tal caso, se recomienda:

Si la tormenta de granizo deposita espesores mayores a los 30 cm de granizo y/o existe escurrimiento:

1) En un edificio o casa:

- Permanecer adentro y de preferencia en la planta superior del inmueble.
- Manténgase alejado de tragaluces y ventanas, especialmente aquéllas golpeadas por el granizo.
- Si su vivienda tiene techo de lámina de cartón o asbesto, protéjase debajo de una mesa o dentro de un ropero. El granizo puede perforar el techo de lámina de cartón y golpear a las personas, también puede quebrar la lámina de asbesto, cuyos pedazos pueden provocar lesiones. El granizo grande puede perforar los techos de lámina de zinc y lámina de plástico.
- Por ningún motivo salga. El granizo grande puede causar graves lesiones, e incluso la muerte.

2) En el exterior:

- Si es sorprendido por una granizada, busque refugio inmediatamente. Si no puede encontrar protección para su cuerpo entero, al menos se debe de buscar algo para proteger su cabeza.
- Alejarse de las áreas donde la granizada es muy copiosa.
- Buscar un refugio para protegerse de la granizada y de las descargas eléctricas.
- Alejarse de las alcantarillas y de las zonas bajas para evitar ser arrastrado por el agua o por el gran volumen de granizo.
- Queda prohibido refugiarse bajo los árboles, debido a que se pueden desprender algunas ramas. Además, los árboles altos y aislados son uno de los principales atrayentes de descargas eléctricas.

3) En el automóvil:

- Evitar conducir en áreas con volúmenes grandes de granizo precipitado. El automóvil podría derrapar y ser arrastrado.
- Cerrar todas las ventanas y permanecer dentro del vehículo con el motor apagado. Es muy peligroso tratar de salir cuando hay flujo de agua acompañado de un gran volumen de granizo, porque puede ser arrastrado.
- Alejarse de las ventanas del automóvil. Cubrirse los ojos y en la medida de lo posible, permanecer boca abajo en el piso o inclinarse en el asiento dando la espalda a la ventana.
- Si se queda varado en un congestionamiento vehicular, apagar el automóvil y si lo debe de mantener encendido, abrir un poco las ventanas para que circule el aire, ya que ha habido casos en que han muerto personas al quedarse dormidas dentro de su vehículo por inhalar monóxido de carbono por un largo periodo.

Si el granizo en la tormenta tiene un diámetro mayor a 2 cm (tamaño de una uva):

- Dejar de conducir. Buscar si existe un lugar seguro cercano para estacionarse debajo de algún techo (por ejemplo, dentro de un garaje o estación de servicio con toldo) tan pronto como pueda. Asegúrese de quedar completamente fuera de la carretera. Nodeje el abrigo momentáneo de los puentes vehiculares o pasos a desnivel.
- No abandonar el vehículo hasta que deje de granizar. Su auto puede proporcionarle una protección razonable.
- Colocar a los niños debajo de un adulto y cubrir sus ojos.

¿Qué hacer después de una granizada?

Como en caso de la nieve, el peso del granizo sobre los techos de las casas puede provocar daños a techos endebles, por lo que se recomienda quitar el granizo de los techos de las casas. En el caso que esto no sea posible se debe evacuar la vivienda y dirigirse al refugio temporal más cercano establecido por las unidades de protección civil, además de atender todas las recomendaciones que se indican en el fascículo de Heladas, editado por el CENAPRED para salir al exterior de su vivienda.

Recomendaciones Tormenta de Nieve (Nevadas) ***(CENAPRED, 2014)***

- **Acciones preventivas ante nevadas**

Las tormentas de nieve (nevadas) producen un ambiente frío que puede congelar la superficie del cuerpo humano, aumentar la presión arterial, exigiendo un mayor esfuerzo al corazón. Este enfriamiento también reduce la resistencia a las infecciones, desde un simple resfriado a enfermedades como la gripe; además de que las enfermedades infecciosas se transmiten más fácilmente en el invierno, debido a que la gente se reúne en lugares cerrados. En el fascículo de Heladas, editado por el CENAPRED, se puede encontrar mayor información sobre las medidas preventivas para enfrentar la aproximación o presencia de una nevada.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta que cuando se presenta una nevada, el hielo y la nieve provocan un estado resbaladizo de los caminos que puede producir accidentes mortales, por lo que se debe conducir a baja velocidad con las luces e intermitentes encendidas y de ser posible, no transitarlos. Si la nevada es muy intensa, no se puede transitar y usted se encuentra dentro de un automóvil o camión, se recomienda:

1.- Esperar ayuda de los grupos de auxilio y las autoridades competentes.

2.- Permanecer dentro del automóvil o camión.

3.- Encender el motor aproximadamente cada 10 minutos para conseguir calor.

4.- Abrir la ventana para mantener ventilado el interior del automóvil y así evitar el envenenamiento por monóxido de carbono.

5- Llamar la atención de los cuerpos de rescate, tener la luz encendida cuando se tenga prendido el motor, amarrar una prenda roja a la antena o a la puerta del automóvil. El peso de la nieve sobre los techos de las casas también representa un riesgo, dado que puede provocar daños a estructuras endebles y derrumbes de techos precarios, por lo que se recomienda, en el caso de no tener una vivienda resistente, quitar la nieve de los techos de las casas. Si la vivienda está construida con materiales poco resistentes: cartón, lámina, etc., es necesario que se evacue y se dirija al refugio temporal más cercano establecido por las unidades de protección civil y atender todas las recomendaciones que se indican en el fascículo de Heladas, para salir al exterior de su vivienda.

Recomendaciones Tormentas Eléctricas ***(CENAPRED, 2010)***

Debido a los efectos de las tormentas eléctricas, es conveniente que la población aprenda a protegerse de estos fenómenos.

¿Qué hacer antes de la tormenta eléctrica?

1.- Asegurar los objetos del exterior de la vivienda que puedan desprenderse o causar daños debido a los fuertes vientos que pueden acompañar a la tormenta eléctrica.

2.- Cerrar las ventanas y correr las cortinas.

3.- Reforzar las puertas exteriores.

4.- Quitar las ramas o árboles muertos que puedan causar daño durante una tormenta eléctrica, ya que un rayo puede romper la rama de un árbol y golpear a una persona, e incluso, generar una explosión o un incendio.

5.- Mantenerse atento a los avisos de tormentas severas que emite el Servicio Meteorológico Nacional cada seis horas (smn.conagua.gob.mx).

6.- Instalar pararrayos en torres y antenas.

7.- Procurar la polarización correcta de todos los tomacorrientes incluyendo una tierra física en todo el sistema eléctrico (consultar a su proveedor de la Comisión Federal de Electricidad a un técnico especializado), véase Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, instalaciones eléctricas.

Evite daños en su construcción por el alcance de un rayo

Los pararrayos son una medida de protección para evitar daños, principalmente a los aparatos electrónicos, por el alcance de rayos. Consiste en una barra metálica preferentemente de cobre, de un metro de longitud que termine en punta, la cual se extiende por encima de la construcción, siguiendo una trayectoria con cable que la une a otra barra metálica del mismo material y de la misma longitud, la cual se encuentra enterrada con el propósito de transferir la carga eléctrica a la tierra, evitando el impacto directo del rayo.

¿Qué hacer durante una tormenta eléctrica?

1.- Alejarse de los lugares altos, tales como cumbres, cimas, lomas y refugiarse en zonas bajas, pero no propensas a inundarse o a recibir avenidas súbitas.

2.- Apartarse de terrenos abiertos, por ejemplo, praderas, cultivos, campos de golf, terrazas, azoteas y estacionamientos abiertos, ya que las personas pueden sobresalir por su tamaño y convertirse en pararrayos.

3.- Por ningún motivo se debe correr durante la tormenta, ya que resulta peligroso debido a que la ropa mojada provoca una turbulencia en el aire y una zona de convección que puede atraer un rayo.

4.- Deshacerse de todo material metálico (bastones, mochilas con armazón, botas con casquillos, paraguas, herramientas, utensilios agrícolas, etc.), ya que los metales resultan buenos conductores eléctricos.

5.- Jamás se deberá guarecerse debajo de un árbol o una roca, debido a que el primero por su humedad y verticalidad, aumenta la intensidad del campo eléctrico y en el segundo porque los rayos suelen caer sobre objetos sobresalientes. Tampoco se refugie en edificios pequeños o aislados como, graneros, chozas, cobertizos, tiendas de campañas, entre otros.

6.- Retirarse de objetos y elementos metálicos como vallas, alambradas, tuberías, líneas telefónicas e instalaciones eléctricas, rieles de ferrocarril, bicicletas, motocicletas y maquinaria pesada, puesto que la proximidad con éstos provoca una onda de choque generada por el rayo que, a su vez, calienta el aire y puede producir lesiones en los pulmones.

7.- Evite cualquier contacto con los cuerpos de agua, ríos, lagos, mar, albercas, así como zonas mojadas.

8.- En caso de haber un edificio o vehículo muy cerca, intentar llegar a él. De preferencia, no refugiarse en edificios pequeños o aislados como, graneros, chozas, cobertizos, tiendas de campañas, entre otros. Buscar una zona que se encuentre un poco más baja que el terreno circundante.

9.- No acostarse, ya que la tierra húmeda conduce muy bien la electricidad.

10.- Intentar agacharse lo más posible, pero tocando el suelo sólo con las plantas de los pies.

11.- Rehuir el refugio de una cueva o saliente rocoso, el rayo puede echar chispas a través de estas aberturas e, incluso, entrar por los canales naturales de drenaje para sus descargas, ya que se acumula el aire ionizado que aumenta la probabilidad de descarga.

12.- Apagar los instrumentos de localización y transmisión-recepción portátil (celulares, walkie-talkies y GPS) y demás aparatos electrodomésticos, ya que sus radiaciones electromagnéticas puedan atraer los rayos y/o causar graves daños provocados por la variación de voltajes.

13.- Desconectar los enseres electrodomésticos y otros aparatos eléctricos, como las computadoras. Las variaciones de voltaje que provocan los rayos pueden causar graves daños.

¿Cómo protegerse de las descargas eléctricas de la tormenta?

En el hogar:

1.- Cerrar puertas y ventanas para evitar corrientes de aire.

2.- No acercarse a las ventanas abiertas para observar la tormenta.

3.- No utilizar y alejarse de la chimenea ya que éstas permiten el ascenso de aire caliente cargado de iones, lo que aumenta la conductividad del aire, abriendo un camino para las descargas eléctricas que actúan como pararrayos.

4.- Desconectar los aparatos eléctricos, así como las antenas de televisión y cable, ya que el rayo puede entrar por el cableado y las tuberías e incluso, provocar daños a los mismos.

5.- Evitar el contacto con el agua, incluyendo bañarse durante la tormenta eléctrica.

6.- Mantenerse aislado, una forma es sentarse en una silla de madera, apoyando los pies en la mesa del mismo material. También se puede estar seguro, acostado sobre una cama que posea una base de madera. En el exterior:

7.- Si está en grupo y ocurre una tormenta, lo aconsejable es dispersarse unos metros y adoptar las posiciones y acciones recomendadas que a continuación se describen:

- En caso de estar con niños, y para evitar el pánico y/o posible extravío, es conveniente que se mantenga el contacto visual y verbal con ellos, no obstante, cada uno deberá estar separado de los demás.
- Si hay una sensación de cosquilleo en el cuerpo, se eriza el cabello y se observan chispas en un objeto de metal, colóquese en cuclillas apoyándose sobre la parte anterior de la planta de los pies, lleve las manos sobre las orejas y coloque la cabeza entre las rodillas. Hágase lo más pequeño posible y reduzca al mínimo su contacto con el suelo. NO se tienda en el suelo.

En el auto:

El mejor sitio para protegerse es dentro de un vehículo que tenga apagado el motor, sin antena de radio y cerradas las ventanas. Así pues, cuando caiga un rayo en el auto, éste será sólo por el exterior, mientras que el interior quedará exento, siempre y cuando no esté en contacto con algún objeto de metal; este procedimiento se llama Jaula de Faraday.

Si alguien es alcanzado por un rayo se debe:

1.- Pedir urgentemente asistencia médica.

2.- Si no respira o el corazón ha dejado de latir, intente reanimarla con los procedimientos habituales de primeros auxilios, como es la respiración artificial. Las tormentas eléctricas pueden generar efectos adversos en las personas, principalmente dentro de un radio de impacto de 120 m.

Los principales problemas relacionados con las tormentas eléctricas son los siguientes:

- Quemaduras en la piel
- Ruptura de tímpano
- Lesiones en la retina

- Caída al suelo por onda expansiva
- Caída al suelo por agarrotamiento muscular debido a una tensión de paso ligera.
- Lesiones pulmonares y lesiones óseas
- Estrés-pos-traumático
- Muerte por:
    - Paro cardíaco,
    - Paro respiratorio y
    - Lesiones cerebrales.

Sin embargo, los rayos también pueden producir daños en el sistema nervioso, ruptura de huesos, así como la pérdida de visión y audición (FEMA, 2008).

Recomendaciones Inundaciones (Fluviales, Pluviales, Costeras y Lacustres) ***(CENAPRED, 2007)***

- **Mitigación de daños por inundaciones**

Para llevar a cabo acciones en contra de los daños causados por inundaciones, es indispensable emprender acciones de protección. Éstas pueden ser de dos tipos: medidas estructurales (construcción de obras), o medidas no estructurales (indirectas o institucionales).

El objetivo de las medidas estructurales es evitar o mitigar los daños provocados por una inundación, mediante la construcción de obras (usualmente realizadas por las dependencias gubernamentales, ya que se requiere de fuertes inversiones). Por ejemplo, para proteger una zona urbana surcada por un río se pueden proponer como medidas estructurales la retención, almacenamiento y derivación del agua, hacer modificaciones al cauce (canalizarlo o entubarlo), construir bordos o muros de encauzamiento y modificar puentes o alcantarillas.

Por otra parte, entre las medidas no estructurales se encuentran aquéllas cuya finalidad es informar oportunamente a las poblaciones ribereñas de la ocurrencia de una posible avenida, para que no haya muertes y se minimicen los daños. En este rubro se incluyen los reglamentos de usos del suelo, el Alertamiento y los programas de comunicación social y de difusión.

Desde el punto de vista económico, tanto las medidas estructurales como las no estructurales tienen aplicación en las zonas que ya están desarrolladas; mientras que en las áreas poco desarrolladas las segundas muchas veces tienen el mismo o un mayor impacto que las estructurales.

Por ejemplo, en una comunidad con pocos habitantes la construcción de una presa (medida estructural) resulta mucho más oneroso que la reubicación (medida no estructural) de la población.

Concluyendo, se puede mencionar que las acciones estructurales tienden a minimizar los daños de las inundaciones con la construcción de obras, mientras que las no estructurales tratan de hacerlo sin la construcción de éstas.

Medidas estructurales

Dentro de este grupo está cualquier obra de infraestructura hidráulica que ayude a evitar o, al menos, mitigar inundaciones (Salas, 1999). Este objetivo se puede alcanzar de dos maneras:

- Mantener el agua dentro del cauce del río
- Evitar que el agua, que ha salido de los cauces, alcance poblaciones o zonas de interés.

Obras de regulación

Existen obras que interceptan directamente el agua de lluvia o la que escurre por los cauces, para almacenarla en un área previamente seleccionada y, posteriormente, descargarla en forma controlada, es decir, sin provocar o minimizando las inundaciones aguas abajo. Este grupo de estructuras está integrado fundamentalmente por: presas de almacenamiento, presas rompe-picos, cauces de alivio, etc.

Más aún, en los últimos años, las llamadas “obras para el mejoramiento de las cuencas”, han cobrado importancia (Frunce, 1998). Su objetivo es propiciar una mejor infiltración del agua de lluvia disminuyendo y regulando el escurrimiento superficial para atenuar los efectos negativos de la urbanización. Entre ellas se destacan las siguientes: reforestación, taraceo, presas pequeñas para retención de azolves, etc.

Obras de rectificación

Su función es facilitar la conducción rápida del agua por su cauce, dragando los ríos para conservar o incrementar su capacidad. Algunas de las estructuras que forman parte de este grupo de obras son: la rectificación de los cauces (por medio de la canalización o el entubamiento de los ríos, o bien, el incremento de la pendiente (mediante el corte de meandros).

Obras de protección

Confinan el agua dentro del cauce del río, o bien evitan que la inundación alcance poblaciones o zonas de importancia (bordos perimetrales).

Medidas no estructurales o Acciones Institucionales

Este tipo de medidas se basa en la planeación, organización, coordinación y ejecución de acciones que buscan disminuir los daños causados por las inundaciones. Pueden ser de carácter permanente o aplicable sólo durante la contingencia. Las principales acciones por desarrollar dentro de este tipo de medidas se relacionan con la conservación y cuidado de las cuencas, la elaboración de mapas de riesgo y reordenamiento territorial, la vigilancia y alerta, la operación de la infraestructura hidráulica, los planes de protección civil, la difusión de boletines de alerta y la evacuación de personas y bienes afectables.

Acciones permanentes

En el caso de las inundaciones en zonas urbanas, en la mayoría de los casos la situación se agrava por la basura que tapa las coladeras. Una de las principales acciones con resultados inmediatos es concientizar a la población y a los visitantes del municipio sobre la importancia de colocar la basura en los sitios asignados para ello.

Contar con un buen servicio municipal de recolección y manejo de residuos sólidos también es prioritario.

Monitoreo

Una de las tareas diarias que debiera realizar la Unidad de Protección Civil es revisar los boletines del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de identificar si se pronostican lluvias que pudiesen ocasionar afectaciones en el municipio.

La Unidad del Servicio Meteorológico Nacional es el organismo oficial encargado de proporcionar la información referente al estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país, depende de la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Antes

- Identifique los lugares más altos de la región, que no puedan ser inundados, así como las rutas de acceso a los refugios temporales.
- Tenga a la mano un botiquín de rimeros auxilios, lámpara de mano, radio portátil y las baterías respectivas.
- Guarde sus documentos personales cartilla del Servicio Militar Nacional, Certificado de estudios, acta de Nacimiento, etc.) en una bolsa de plástico, para evitar su pérdida o destrucción.
- Tenga a la mano un directorio con teléfonos de emergencia.
- Evite dejar solos a los niños, personas enfermas o con capacidades diferentes durante la época de lluvias. i lo hace, infórmelo a algún vecino.
- En la temporada de lluvias mantenga na reserva de agua potable, alimentos enlatados y ropa en lugares bien resguardados.
- Si vive en zonas bajas, casa de palma, arrizo o adobe, es preferible refugiarse en lugares más seguros, como la escuela, la iglesia o el palacio municipal (si están fuera de peligro).
- Permanezca bien informado por las autoridades y los medios de comunicación.
- Cuando sea avisado de que una inundación puede afectar la zona donde usted vive, desconecte los servicios de electricidad y gas.
- ¡Si la evacuación de la zona es necesaria! ¡Prepárese y hágalo! Lleve consigo sólo lo indispensable. Vite caminar y cruzar por sectores inundados. Aunque el nivel del agua sea bajo, puede aumentar rápidamente y desarrollar velocidades peligrosas, por lo que usted puede ser arrastrado por la corriente o golpeado por árboles, piedras, o animales muertos que lleva la corriente.
- No salga ni trate de manejar a través de caminos inundados.
- Si el vehículo se atasca al intentar cruzar una corriente, debe abandonarlo inmediatamente y buscar la parte más alta en los alrededores.
- Ser precavido especialmente durante la noche, ya que es más difícil identificar el incremento del nivel del agua en el cauce.

Después

Pasado el peligro, manténgase informado y siga las indicaciones de las autoridades.

- Manténgase alejado de la zona de desastre. Su presencia podrá entorpecer el auxilio y la asistencia para las personas que han sido afectadas.
- Regrese a la zona afectada hasta que las autoridades indiquen que no hay peligro, ni habite su casa hasta estar lentamente seguro de que las condiciones en las que se encuentra son las adecuadas.
- Evite corrientes de agua.
- Se acerque a bardas o casas en peligro de derrumbarse. aléjese de lugares donde puedan ocurrir deslaves.
- Tome agua ni consuma alimentos que hayan estado en contacto directo con agua de la inundación. Utilice sus reservas de agua potable y alimentos previamente almacenados.
- Pise ni toque cables eléctricos caídos.
- Limpie inmediatamente y con cuidado las sustancias inflamables, tóxicas, medicamentos u otros materiales que se hayan derramado.
- Mueva heridos. Reporte a las autoridades las emergencias que lo ameriten.
- Desaloje el agua que haya quedado estancada para evitar plaga de mosquitos

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Abatimiento del nivel freático. Es la diferencia entre el nivel inicial y final del nivel de agua contenida en una formación geológica o depósito de suelos y/o rocas en un lapso de tiempo determinado. Dicha diferencia se debe principalmente al proceso de extracción del agua del subsuelo mediante bombeo en una zona o región determinada y se mide en metros.

Aceleración del ter reno (gales). De acuerdo con el SI, (sistema internacional de unidades) la magnitud de aceleración del terreno, se mide en unidades de cm/s2, en algunas ocasiones se puede presentar en m/s2, aunque también es común encontrarla expresada en gales. El gal es llamado así en honor a Galileo Galilei. 1 Gal = 1 cm/s2 = 0,01 m/s2. Existen equipos de medición que registran la aceleración del medio ante la ocurrencia de un sismo, conocidos como acelerómetros. El sistema triaxial del acelerómetro permite conocer las aceleraciones del medio en las tres direcciones ortogonales del movimiento.

Aceleración máxima esperada en 50 años. Valor de la aceleración espectral máxima esperada ante un sismo (o familia de sismos) con un periodo de retorno de 50 años o equivalente, correspondiente al sismo de servicio.

Aceleración máxima esperada en 150 años. Valor de la aceleración espectral máxima esperada ante un sismo (o familia de sismos) con un periodo de retorno de 150 años o equivalente, correspondiente al sismo de diseño.

Aceleración máxima esperada en 500 años. Valor de la aceleración espectral máxima esperada ante un sismo (o familia de sismos) con un periodo de retorno de 500 años o equivalente, correspondiente al sismo de supervivencia.

Acuífero. Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.

Adiabático. Enfriamiento o calentamiento de una masa de aire sin adquirir la temperatura del medio

ambiente.

Advección. Transporte de las propiedades de una masa de aire producido por el campo de velocidades de la atmósfera. Por lo general este término es referido al transporte horizontal en superficie de propiedades como temperatura, presión y humedad.

Afectación ambiental. La pérdida, menoscabo o modificación de las condiciones químicas, físicas o biológicas de la flora y fauna silvestres, del paisaje, suelo, subsuelo, agua, aire o de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y la afectación a la integridad de la persona es la introducción no consentida en el organismo humano de uno o más contaminantes, la combinación o derivación de ellos que resulte directa o indirectamente de la exposición a materiales o residuos y de la liberación, descarga, desecho, infiltración o incorporación ilícita de dichos materiales o residuos en la atmósfera, en el agua, en el suelo, en el subsuelo y en los mantos freáticos o en cualquier medio o elemento natural.

AGEB. Áreas Geoestadísticas Básicas

Alcance de los derrumbes del edificio volcánico. Distancia máxima recorrida por el material volcánico procedente del colapso parcial de un volcán.

Alcance de los flujos piroclásticos. Distancia máxima recorrida por un flujo piroclástico a partir del cráter.

Alcance de los lahares. Distancia máxima recorrida por un lahar desde su fuente de origen.

Alud de rocas. Tienen lugar cuando los bloques de rocas recientemente desprendidas (pequeñas), se desplazan cuesta abajo por el frente de un acantilado o peña viva vertical. Son frecuentes en áreas montañosas y durante la primavera los meses de la primavera, cuando hay congelación y derretimiento repentinos.

Altura de la columna eruptiva. Es la distancia vertical medida con respecto al nivel del cráter de la columna de gases, cenizas y material fragmentado que se lanza a la atmósfera durante una erupción. Si ese material tiene suficiente energía. y volumen, la columna puede llegar a medir varios kilómetros.

Altura máxima de marea de tormenta (m). Es la elevación más alta que alcanza el nivel del mar en la costa, por un ciclón tropical, y se mide en metros.

Ambiente. El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados;

Amenaza. Evento físico potencialmente perjudicial, natural o derivado de la actividad humana, que puede causar pérdida de vidas o lesiones, daños materiales, grave perturbación de la vida social y económica o degradación ambiental. Las amenazas incluyen condiciones latentes susceptibles de materializarse en el futuro. Pueden tener diferentes orígenes: natural (geológico, hidrometeorológico) o antropogénico (químico-tecnológico, sanitario-ecológico o socioorganizativo).

Análisis sinóptico. Estudio y deducción del estado actual de la atmósfera utilizando para ello la información meteorológica generada en una determinada región y aplicando conceptos de masas de aire, frentes, ciclones, etcétera.

Ancho de fractura. Es la abertura de la fractura en un depósito de suelo o roca y se mide en milímetros, centímetros o metros. Ancho de grieta. Es la abertura de la grieta en un depósito de suelo o roca y se mide en milímetros, centímetros o metros.

Barlovento. Costado de las montañas hacia donde llegan los vientos con cierto grado de humedad.

Boletín meteorológico. Es un informe periódico que contiene las condiciones meteorológicas más

recientes, su elaboración se basa en las observaciones sinópticas realizadas en cierta región o país. Los elementos incluidos dependen del propósito requerido.

Caída de detritos. El material cae desde un acantilado o farallón vertical o sobresaliente, por lo que, son comunes a lo largo de las márgenes socavadas de los ríos.

CAPE. Unidad de medida, Joules por kilogramo. (J/kg)

Clasificación granulométrica. Procedimiento para la determinación de los distintos tamaños de partículas que forman un suelo.

Colapso o asentamientos. No tienen lugar a lo largo de una superficie libre, sino que es el asentamiento hacia debajo de material con poco movimiento horizontal (Thornbury, 1966). La causa más común es la remoción lenta de material debajo de la masa que se hundirá.

Consolidación. Es la disminución del volumen de una masa de suelo, debido a la expulsión del agua contenida en su interior, por la aplicación de sobrecargas, en un lapso determinado. Dicha disminución de volumen también puede ser producida por extracción de agua mediante bombeo. El efecto de la disminución volumétrica se manifiesta mediante deformaciones verticales en la superficie del terreno y se mide en unidades de longitud sobre tiempo.

Consolidación diferencial. Es la diferencia de deformación volumétrica, en una zona o región, entre capas de suelo debido a las características físicas y mecánicas de las unidades geológicas que constituyen el subsuelo y se mide en unidades de longitud sobre tiempo.

Corrientes de barro. Se mueven rápido, por lo tanto, son perceptibles a simple vista, tienen un contenido mayor de agua que las corrientes terrosas. Blackwelder (1928) catalogo como condiciones favorables a su formación las siguientes: materiales no consolidados en la superficie, que al humedecerse se tornara resbaladiza; pendientes empinadas; abastecimiento abundante pero intermitente de agua; y vegetación rala.

Corrientes terrosas. A menudo están acompañadas por desmoronamiento, no hay rotación hacia atrás de la masa, son lentas, rara vez perceptibles a simple vista, no están confinadas a canales; y se forman sobre terrazas y laderas donde los materiales terrosos son capaces de fluir cuando se saturan con agua.

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

Daño en bienes expuestos: Pérdida o menoscabo del patrimonio del ciudadano. Densidad de dolinas. Es la cantidad de dolinas que se encuentran en la superficie del suelo por cada kilómetro cuadrado.

Daño estructural. Estado manifiesto de pérdida de resistencia de la edificación.

Derrumbamientos de detritos. El volumen de la masa está constituido por detrito rocoso, contienen más agua que los deslizamientos de detritos.

Desastre. Al resultado de la ocurrencia de uno o más agentes perturbadores severos y o extremos, concatenados o no, de origen natural o de la actividad humana, que cuando acontecen en un tiempo y en una zona determinada, causan daños y que por su magnitud exceden la capacidad de respuesta de la comunidad afectada.

Deslizamiento de detritos. Son movimientos terrosos o resbalamiento de suelos, no muestran rotación hacia atrás. La cantidad de agua generalmente es poca.

Deslizamientos de rocas. Son masas de substrato que se deslizan o resbalan a lo largo de lo que, en general, son superficies de estratificación diaclasas o fallas.

Deslizamientos. El término fue empleado por Sharpe (1938; en Thornbury, 1966) como una denominación genética para varios tipos de movimiento en masa de detritos de rocas. Se reconocen cinco tipos de deslizamientos.

Desmoronamiento. Es provocado por un movimiento intermitente de masas de tierra o de rocas en una distancia corta, e involucra una rotación hacia atrás de la masa o las masas en cuestión, como resultado de la cual la superficie de la masa desmoronada muestra a menudo un declive inverso.

Desprendimientos o volcaduras de rocas. Son más rápidos, y por lo común fluyen a lo largo de valles. Aquí el agua actúa como agente preparador del proceso al aumentar el tamaño de las grietas, lo que permite la separación y caída del bloque; ocurren en pendientes muy abruptas, casi verticales.

Distancia de la caída de material balístico. Distribución espacial de los fragmentos de tamaño mayor que 64 mm lanzados en trayectoria parabólica durante una erupción.

Erosión eólica. Trabajo destructivo del viento que se manifiesta tanto por el arrastre de cómo por la dispersión de material arenoso y arcilloso.

Erosión fluvial. Destrucción de las rocas por procesos fluviales que junto con los movimientos gravitacionales conduce a la formación de valles, rebajamiento de la superficie. El proceso incluye además de la destrucción mecánica de las rocas el lavado y laminación de los valles de los ríos, y la alteración química de las rocas.

Erosión kárstica. Se produce por el proceso de disolución de las rocas carbonatadas. La acción química que se genera debido al ácido carbónico genera formas erosivas como las dolinas, cavernas y otras más, las cuales pueden formarse debido a colapsos y la combinación con procesos de disolución.

Erosión marina. Proceso de destrucción de las costas por acción del oleaje, las mareas y las corrientes de deriva litoral.

Escurrimiento superficial. Parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo.

Espesor de caída de ceniza. Es el ancho de la capa de ceniza que se forma en el suelo debido a una erupción volcánica. El espesor por la acumulación de ceniza varía desde algunos metros en la zona cercana al cráter hasta cm a distancias mayores.

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.

Fenómeno o agente perturbador/amenaza: Evento físico potencialmente perjudicial, natural o derivado de la actividad humana, que puede causar pérdida de vidas o lesiones, daños materiales, grave perturbación de la vida social y económica o degradación ambiental. Las amenazas o peligros incluyen condiciones latentes susceptibles de materializarse en el futuro. Pueden tener diferentes orígenes: natural (geológico, hidrometeorológico) o antropogénico (químico-tecnológico, sanitario-ecológico o socioorganizativo).

Fenómeno Antropogénico: Agente perturbador producido por la actividad humana.

Fenómeno Natural Perturbador: Agente perturbador producido por la naturaleza.

Fenómeno Geológico: Agente perturbador que tiene como causa directa las acciones y movimientos de la corteza terrestre. A esta categoría pertenecen los sismos, las erupciones volcánicas, los tsunamis, la inestabilidad de laderas, los flujos, los caídos o derrumbes, los hundimientos, la subsidencia y los agrietamientos.

Fenómeno Hidrometeorológico: Agente perturbador que se genera por la acción de los agentes atmosféricos, tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías; ondas cálidas y gélidas; y tornados.

Fenómeno Sanitario-Ecológico: Agente perturbador que se genera por la acción patógena de agentes biológicos que afectan a la población, a los animales y a las cosechas, causando su muerte o la alteración de su salud. Las epidemias o plagas constituyen un desastre sanitario en el sentido estricto del término. En esta clasificación también se ubica la contaminación del aire, agua, suelo y alimentos.

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

Frente frío. Se produce cuando una masa de aire frío avanza hacia latitudes menores y su borde delantero se introduce como una cuña entre el suelo y el aire caliente. Al paso de este sistema, se pueden observar nubes de desarrollo vertical (Sc, Cu, Cb), las cuales podrían provocar chubascos o nevadas si la temperatura es muy baja. Durante su desplazamiento la masa de aire que viene desplazando el aire más cálido provoca descensos rápidos en las temperaturas de la región por donde pasa.

Geohidrología (Hidrogeología). Rama de la Geología que se encarga del estudio de los cuerpos de agua en el subsuelo, conocidos como acuíferos.

Geología. Ciencia que se encarga del estudio del origen, evolución y estructura de la Tierra, su dinámica y de la búsqueda y aprovechamiento de los recursos naturales no renovables asociados a su entorno.

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

GPS. Sistema de posicionamiento global (global positioning system)

Gradiente térmico. La razón del cambio de la temperatura por unidad de distancia, muy comúnmente referido con respecto a la altura. Se tienen dos gradientes, el adiabático de 10.0 C/Km (en aire seco) y el pseudoadiabático (aire húmedo) es 6.5 C/Km.

Grado de Exposición. se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados. Por lo general se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los daños, aunque no siempre es traducible a dinero. En ocasiones pueden emplearse valores como porcentajes de determinados tipos de construcción o inclusive el número de personas que son susceptibles a verse afectadas.

HEC-RAS. Modelo de dominio público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU, surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interfase gráfica de usuario que facilita las labores de preproceso y postproceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-geoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

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

Hidrometeoro. Sistema formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas y que caen

de la atmósfera.

Hundimiento Diferencial. Es la diferencia entre la deformación vertical que experimentan dos puntos o sitios y se mide en centímetros o metros.

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.

Impacto ambiental. Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza;

Índice de explosividad volcánica. Es una escala compuesta que toma en cuenta diversas características de una erupción como son: volumen de magma emitido, altura de columna eruptiva y duración de la erupción. La escala de explosividad volcánica toma valores enteros entre cero y ocho.

Índice de exposición: Fenómeno asociado principalmente a factores de erosión, clima y precipitación, principalmente, y en la zona de contacto asociado en zonas de arrastre, desprendimientos y en zonas topográficas accidentadas.

Índice de Severidad de la Sequía de Palmer. Índice de sequía usado para evaluar el impacto de ésta en la agricultura.

Intensidad: es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado.

Intensidad de la Agencia Meteorológica de Japón (IJMA). Es una escala usada en Japón y Taiwan para medir la intensidad de los sismos. La escala describe el debido a un sismo, y en un punto definido de la superficie de la tierra. La escala está representada con números romanos, del I al VII. Existe una expresión que permite relacionar la escala subjetiva de intensidades de Mercalli, con el valor de aceleración máxima probable del terreno:

IJMA = 2.0log a + 0.94

donde:

a - es el promedio de aceleraciones máximas horizontales del terreno

Intensidad de Ciclón Tropical. Es una escala para clasificar la intensidad de un ciclón tropical de acuerdo con las velocidades de sus vientos, y los daños que pudiera ocasionar (escala Saffir-Simpson). Se mide con números enteros que van del uno al cinco. Intensidad de la lluvia. Es la lámina de agua que se mide en un pluviómetro entre el tiempo que tarda en acumularse. Normalmente se mide en milímetros sobre hora.

Intensidad Modificada de Mercalli (IMM). Fue desarrollada por Giuseppe Mercalli con el fin de representar mejor los efectos de los sismos en un sitio determinado. La escala fue posteriormente adaptada para California, conociéndose como Escala Modificada. Ésta emplea números romanos del I (No sentido) al XII (Destrucción total). Existe una expresión que permite relacionar la escala subjetiva de intensidades de Mercalli, con el valor de aceleración máxima probable del terreno:

IMM = (log a 0.014)/0.30

donde:

a - es el promedio de aceleraciones máximas horizontales del terreno

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.

Isotaca: Línea que une puntos con igual valor de velocidad regional de viento.

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.

Lámina de suelo perdido anualmente. Es la disminución del ancho del espesor del suelo debido a la erosión hídrica, costera o eólica.

Lecho de crecidas máximas. Corresponde a un lecho que se encuentra por encima de los anteriores; en ocasiones no se encuentra bien configurado, pero si el agua rebasa este nivel, entonces se presenta un proceso de desbordamiento del río.

Lecho de inundación. Es la zona que el río inunda durante la época de lluvias; de manera general sobre este lecho se depositan sedimentos redondeados a los cuales de manera individual se les denomina con el conjunto de ellos recibe el nombre de

Lecho mayor o de crecidas. Es el que se inunda cuando el nivel del agua rebasa al lecho de inundación; sobre éste se depositan aluviones, pero en general es un área que en ocasiones no resulta inundado durante la época de lluvias, situación que lo hace peligroso ante la percepción del hombre como una zona segura, motivo por el cual construye y por consiguiente, es afectado.

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.

Lluvia Acumulada. Es la lámina de agua acumulada registrada en un punto del espacio durante un lapso determinado.

Magnitud: es una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructivo y de la energía que libera.

Magnitud de momento sísmico (Mw). La magnitud de momento es una forma de medida cuantitativa de la energía liberada por un sismo. Está definida por el momento sísmico como:

$Mo = DA\mu$

donde:

D - es el desplazamiento

promedio en el plano de falla

A.- es el área en la superficie

de falla

μ - es el promedio de rigidez

en las rocas de la falla

El momento sísmico está directamente relacionado con la

energía liberada y tamaño de la fuente sísmica, la magnitud Mw es calculada por medio de la fórmula:

$Mw = 2/3 \log Mo\ 10.7$

donde:

Mw - es la magnitud de

momento

Mo - es el momento sísmico

Es una magnitud empleada para sismos grandes, debido a que no presenta problemas de saturación que otras escalas si tienen.

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.

MIKE 11. Es una aplicación informática comercial desarrollada por el departamento de software del Danish Hydraulic Institute de Dinamarca para la modelación unidimensional de flujos en lámina libre y régimen variable. El modelo resuelve las ecuaciones de Saint Venant mediante diferencias finitas y el esquema implícito.

Niño. Sistema oceánico-atmosférico, es de intensidad variable y ocurre en el Pacífico. Durante su ocurrencia provoca cambios en la temperatura y en los sistemas de presión en l región tropical del Océano Pacífico afectando los climas del mundo entero.

Nivel freático. Corresponde al nivel superior del nivel del agua contenida en una formación geológica, donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica.

Número de días que se presenta el fenómeno al año. Es el número de días que se presenta una tormenta de polvo, una tormenta eléctrica, un tornado, una helada, una granizada o un remolino en la zona de estudio en un lapso de un año.

Número de días que se rebasa el umbral de temperatura al año. Número de días en los que se rebasan los umbrales para las altas y bajas temperaturas en el lapso de un año.

NOAA. National Oceanographic and Atmospheric Administration. Es la dependencia gubernamental estadounidense que administra todos los recursos oceanográficos y atmosféricos de ese país.

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.

Onda del Este. Perturbación de escala sinóptica en la corriente de los vientos alisios y viaja con ellos hacia el oeste a una velocidad media de 15 Km/h. Produce fuerte convección sobre la zona que atraviesa.

Peligro o peligrosidad. Probabilidad de ocurrencia de un agente perturbador potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo y en un sitio determinado.

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.

Regionalización Hidrológica. Procedimientos que permiten la estimación de una variable hidrológica (habitualmente el caudal) en un sitio donde no existe (o existe poca) información a partir de otros sitios que cuentan con dicha información

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

Reptación o arrastre. Es un movimiento lento, de partículas de suelo y/o de fragmentos de rocas también se denomina deflucción o creep.

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. Daños o pérdidas probables sobre un sistema afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador.

Run-up. Altura del punto de penetración máxima de un tsunami

SCS. Soil Conservación Service de la USDA de los EE.UU. Este servicio desarrolló varios métodos

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.

SIG. Sistema de información geográfica.

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

Solana. Lado de las montañas hacia donde inciden mayormente los rayos solares a lo largo del día o durante el año.

Subsidencia. Es el movimiento descendente (deformación) lento o repentino de la superficie natural del terreno y es sinónimo de hundimiento. Dependiendo de su origen y de la forma en que ocurre puede ser local o regional, y se mide en centímetros o metros.

Susceptibilidad: Las interacciones ambientales entre factores como el clima, la topografía y la geología son importantes como mecanismos detonantes de procesos de remoción, y determinar las propiedades geotécnicas de los materiales en movimiento.

SWMM (Storm Water Management Model). Modelo hidrológico de la Agencia del Medio

Ambiente norteamericano (EPA) para el análisis de cuencas urbanas y redes de alcantarillado. El modelo permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos.

Talweg o canal de estiaje. Ocupa la parte más profunda del cauce de un río y es la que lleva agua en la época de estiaje. La línea que forma el talweg (término con reconocimiento internacional) es la que se utiliza para representar los sistemas de drenajes en los mapas.

Tamaño del material balístico. Diámetro medio de los productos balísticos.

Tamaño de las par tículas de ceniza. Diámetro medio de las partículas de ceniza que se expulsan durante una erupción volcánica.

Tamaño del material balístico. Diámetro medio de los productos balísticos.

Tasa de Excedencia. Definida como el número medio de veces, en que por unidad de tiempo, ocurre un evento que exceda cierta intensidad.

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.

Temperatura. Propiedad intensiva de un cuerpo que refleja la cantidad de calor, y que se asocia con qué tan frío o caliente se encuentra un cuerpo. Para los fines de los atlas municipales de riesgos, dicho parámetro estará especificado en grados centígrados.

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

Tirante de Inundación. Es la diferencia entre la cota de la superficie libre del agua y la cota del terreno de una superficie inundada, la cual se mide en metros.

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

Tránsito de avenidas. El tránsito de avenidas brinda un conjunto de métodos para describir y predecir el movimiento del agua de un punto a otro a lo largo de un río.

Tsunami (o maremoto). Ola con altura y penetración tierra adentro superiores a las ordinarias, generalmente causada por movimientos del suelo oceánico en sentido vertical, asociado a la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud con epicentro en una región oceánica.

Umbría. Costado del relieve hacia dónde llega la radiación solar generalmente de manera indirecta.

VEI. Índice de explosividad volcánica (volcanic explosivity index)

Velocidad de deformación. Es la deformación vertical que experimenta un suelo por unidad de tiempo, y se mide en centímetros por año.

Velocidad de movimiento de un proceso de inestabilidad de laderas. Es la velocidad con la que se mueve el volumen desplazado y se mide en metros sobre segundo, metros sobre minuto, o kilómetros sobre hora.

Velocidad de un Fluido. Es el cambio de la posición de una masa de agua con respecto al tiempo. Su variación se desarrolla en las tres dimensiones del espacio y se mide en m/s.

Velocidad máxima sostenida (km/h). El viento máximo sostenido, representado como el viento medio más grande registrado durante un minuto, a una altura aproximada de 10 m sobre la superficie.

Velocidad regional. Es la velocidad máxima del viento que se presenta a una altura de 10 m sobre el lugar de desplante de la estructura, para condiciones de terreno plano con obstáculos aislados. Los valores de ésta velocidad se obtienen incluyendo el efecto de ráfaga, que corresponde a tomar el valor máximo de la velocidad media durante un intervalo de tres segundos. El valor de estas velocidades regionales, generalmente indicadas en m/s o km/h, se presentan en los mapas de isotacas (de iso-velocidades) de los diferentes documentos normativos relativos al diseño Eolo-resistente.

Velocidad del Viento. Velocidad registrada en un anemómetro, generalmente se mide en metros sobre segundo, aunque también se puede medir en km/h, frecuentemente dicha velocidad se mide a 10 metros sobre la superficie del terreno.

Volumen desplazado de un proceso de inestabilidad de laderas. Es el volumen que se desplaza o se mueve ladera abajo cuando existe un flujo, deslizamiento, caído o reptación y se mide en metros cúbicos.

Volumen de los der rumbes del edificio volcánico. Cantidad de material volcánico procedente del colapso parcial de un edificio volcánico.

Volumen de lahares. Cantidad de la mezcla de fragmentos de rocas, cenizas y agua que fluye pendiente abajo por las faldas de un volcán.

Volumen de los flujos piroclásticos. Cantidad de gases calientes, cenizas y fragmentos en una mezcla turbulenta que descienden a velocidades cercanas a 200 km/h y temperaturas superiores a 700°C por los flancos del volcán debido a una erupción volcánica.

Volumen de roca karstificada. Es la cantidad de roca sujeta al proceso de karstificación medido en metros cúbicos.

Volumen de suelo perdido anualmente. Es la cantidad de suelo medido en metros cúbicos que se pierde en una cuenca en el lapso de un año debido a la erosión hídrica, costera o eólica.

Vulnerabilidad. Susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador, determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales Se define como la susceptibilidad.

Vulnerabilidad física: consiste en la evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas expuestos, los que, en la mayoría de los casos, son obras construidas por el hombre; sin embargo, también se cubren los casos de formaciones geológicas naturales, como laderas que pueden deslizarse o mantos de suelo blando que pueden agrietarse y que pueden ocasionar algún tipo de daño.

Vulnerabilidad social: conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad; en conjunto con la capacidad de prevención y respuesta de la misma frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo.

Zonificación. El instrumento técnico de planeación que puede ser utilizado en el establecimiento de las áreas naturales protegidas, que permite ordenar su territorio en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, la vocación natural del terreno, de su uso actual y potencial, de conformidad con los objetivos dispuestos en la misma declaratoria. Asimismo, existirá una subzonificación, la cual consiste en el instrumento técnico y dinámico de planeación, que se establecerá en el programa de manejo respectivo, y que es utilizado en el manejo de las áreas naturales protegidas, con el fin de ordenar detalladamente las zonas núcleo y de amortiguamiento, previamente establecidas mediante la declaratoria correspondiente

BIBLIOGRAFÍA

Aceves-Quesada, J.F., 1998, Evaluación del riesgo volcánico en el Nevado de Toluca (Mapas de riesgo volcánico basados en Sistemas de Información Geográfica), en Primer Simposio del Posgrado en Ciencias de la Tierra: México DF., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 98-101.

Aki K., 1984. Asperities, Barriers, Characteristic Earthquakes and Strong Motion Prediction. Journal of Geophysical Research. 89. No.B7. 5867-5872. Bak, P., 2002. Unified Scaling Law for Earthquakes. Physical Review Letters. 8(17).

Bormann, P., 2002. New Manual of Seismological Observatory Practice (New Manual of Seismological Observatory Practice). Volume 1 and 2. International Association of Seismology and Physics of the Earth´s Interior. GeoForschungsZentrum Potsdam

Esteva, L., 2006. Earthquake Engineering Challenges and Trends. Honoring.

Gutenberg, B., and Richter, C. F., 1942. “Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration”. Bulletin of the Seismological Society of America. 32. No. 3. 163- 191.

G.J. González Pomposo, J.A. De Gante González, P.G. Juárez Serrano y A.E. Posada. Registro de la sismicidad del estado de Puebla. (diciembre de 1985 a junio de 1991). Escuela de Ingeniería Civil y tecnológicas. Universidad Autónoma de Puebla.

Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatalesy Municipales de Peligros y Riesgos. CENAPRED. 2006.

Instituto de Ingeniería, UNAM-CENAPRED (2003) “Guía Metodológica para el Análisis del Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo y Pérdidas Causadas por Desastres Naturales o Antropogénicos y su Reducción y Prevención” (Documento preliminar).

Instituto de Ingeniería, UNAM-CENAPRED (2003) “Guía Metodológica para el Análisis del Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo y Pérdidas Causadas por Desastres Naturales o Antropogénicos y suReducción y Prevención”

López-Blanco, J., 2005, Sistemas de información geográfica en estudios de geomorfología ambiental y recursos naturales: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Serie Seminarios, 187 p.

Medina, F., 2000, Sismicidad y Volcanismo en México. La ciencia/151

Mendoza, C. and Hartzell, S.H., 1988. Aftershock patterns and main shock faulting. Bulletin of the Seismological Society of America. 78. No. 4. 1438-1449.

National Land Agency, Government of Japan, 1992, Guidelines for preparing Volcanic Hazard Maps: Tokio, Government of Japan, National Land Agency, Disaster Prevention Bureau, Earthquake Disaster Countermeasures Division, 58 p. Newhall, C., Self, S., 1982, The volcanic

PSM “Mapas de peligro sísmico en México”, Programa elaborado por el Instituto de Ingeniería, UNAM; CENAPRED, CFE y el IIE. México D.F., 1996 - 2017.

Secretaría de Gobernación, Dirección General de Protección Civil, “Atlas Nacional de Riesgos”, noviembre de 1993.

Valdés C., G. González-Pomposo, 1994, "SISMICIDAD DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL, NOVIEMBRE 1993 A MARZO 1994", Instituto de Ingeniería, UNAM, Reporte 94-2.

UNAM 2001. Métodos alternos para la estimación del efecto de sitio mediante el uso de arreglos de microtremores.

Programas:

Programa de Diseño Sísmico PRODISIS v.4.1 de la Comisión Federal de Electricidad, (CFE) 2015.

Environmental Systems Research Institute (ESRI), Software ArcGis 10.3.1

Páginas de Internet:

http://enunlugardelared.files.wordpress.com/2011/03/epicentroehipocentro1.png

Servicio Geológico Mexicano: https://www.gob.mx/sgm

Centro Nacional de Prevención de Desastres: http://www.gob.mx/cenapred

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2017. http://www.inegi.org.mx/

Servicio Geológico de Estados Unidos: https://gobierno.usa.gov/agencias-federales/servicio-geologico-de-estados-unidos

Protección Civil del estado de puebla; http://www.proteccioncivil.gob.mx/en/ProteccionCivil/Puebla1

Protección Civil del municipio de Atlixco, Puebla; http://atlixco.gob.mx/proteccion-civil

Environmental Systems Research Institute

Bibliografía volcanes

Aceves-Quesada, J.F., 1998, Evaluación del riesgo volcánico en el Nevado de Toluca (Mapas de riesgo volcánico basados en Sistemas de Información Geográfica), en Primer Simposio del Posgrado en Ciencias de la Tierra: México DF., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 98-101.

Capra L., 2000, Colapsos de edifi cios volcánicos; Transformación de avalanchas de escombros en fl ujos de escombros cohesivos: Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de doctorado, 176 p.

Carey S. y H. Sigurdsson. 1982. "The 1982 eruptions of El Chichón volcano Mexico (2) Obsevations and numerical modelling of tephra-fall distribution." Buul. Vulcanol. 48(2/3): 127-142.

Casadevall, Thomas, J. “The 1989-1990 eruption of Redoubt Volcano, Alaska: impacts on aircraft operations”. Journal of Volcanology and Geothermal Research No. 62, pp 301-316, 1994.

Cenapred, Revista Prevención Núm. 11, 1995, "RESUMEN CRONOLÓGICO DE LA ACTIVIDAD DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL 1993-1995", Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres. pp. 06-07, julio.

Cruz G. M. A., 1995, "MAPA DE PLANEACIÓN DE EMERGENCIAS PARA EL VOLCÁN POPOCATÉPETL", Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Revista Prevención Núm. 11, pp. 24-25.

Cruz-Reyna S. de la, J.L. Quezada, C. Peña, O. Zepeda, T. Sánchez, 1996, Capítulo I, Antecedentes Históricos, "HISTORIA DE LA ACTIVIDAD RECIENTE DEL POPOCATÉPETL 1354-1995", en el libro Volcán Popocatépetl, Estudios Realizados Durante la Crisis de 1994-1995, Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 03-22.

Cruz G. M.A. 1998, Riesgo Volcánico 1, "ACTUALIZACIÓN DE LOS PLANES OPERATIVOS VIGENTES DEL PROGRAMA DE PROTECCIÓN CIVIL DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL", Memorias Sexta Reunión Internacional Volcán de Colima, Universidad de Colima, pp. 12, enero.

Fournier d’Albe, E.M., 1979, Objectives of volcanic monitoring and prediction: Journal of the Geological Society of London, 136, 312-326.

Gasca P. A., 1997, "PLAN OPERATIVO DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL", Revista de Ingeniería Civil, Núm. 341, Colegio de Ingenieros Civiles A.C., pp. 15-26, septiembre.

Gómez-Fernández, F., 1995, Los sistemas de información geográfi ca (GIS) en la evaluación del riesgo volcánico, en Ortiz, R. (ed.), Riesgo Volcánico: Cabildo de Lanzarote, Serie Casa de los Volcanes, 5, 123-153.

González-Pomposo G., C. Valdés, 1998, Sismología Volcánica 3, "VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES DE SISMICIDAD EN EL VOLCÁN POPOCATÉPETL", Memorias Sexta Reunión Internacional Volcán de Colima, Universidad de Colima, pp. 52, enero.

Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatalesy Municipales de Peligros y Riesgos. CENAPRED. 2006.

Grupo de trabajo para la actualización para el Mapas de peligros del volcán Popocatépetl. Instituto de Geofísica, UNAM Tilling R.I. (1995) Mapa de peligros del volcán Popocatépetl. Instituto de Geofísica, UNAM.-CENAPRED

Instituto de Ingeniería, UNAM-CENAPRED (2003) "Guía Metodológica para el Análisis del Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo y Pérdidas Causadas por Desastres Naturales o Antropogénicos y su Reducción y Prevención" (Documento preliminar).

Instituto de Ingeniería, UNAM-CENAPRED (2003) "Guía Metodológica para el Análisis del Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo y Pérdidas Causadas por Desastres Naturales o Antropogénicos y suReducción y Prevención"

López-Blanco, J., 2005, Sistemas de información geográfica en estudios de geomorfología ambiental y recursos naturales: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Serie Seminarios, 187 p.

Macías, J.L., Carrasco, G., Delgado, H., Martin del Pozo, A.L., Siebe, C., Hoblitt, R.P., Sheridan, M.F., y Tilling, R.I., 1995, Mapa de Peligros del Volcán Popocatépetl: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 1 mapa. Macías, J.L., García, A., Arce, J.L., Siebe C., Espíndola J.M., Komorowski

Macías J.L., Carrasco-Núñez G., Delgado-Granados H., Martín Del Pozzo A.L., Siebe C., Hobblit R.P., Sheridan M.F.,

Martin del Pozzo, A.L., Sheridan, M.F., Barrera, D., Lugo-Hubp J., Vázquez-Selem, L., 1995, Mapa de Peligros del Volcán de Colima: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 1 mapa.

Martin del Pozo A.L., Espinasa-Pereña, R., Armienta, M. A., Aguayo, A., Reyes, M., Sánchez, G., Cruz, O., Lugo-Hubp, J., González, V., Butrón, M. A., Villarreal, M. 1995 "La emisión de cenizas y variaciones geoquímicas durante diciembre-marzo en el volcán Popocatépetl". CENAPRED, UNAM: 285-294

Martín del P. A.L., R. Espinasa-Pereña, Ma. A. Armienta, A. Aguayo, M. Reyes, G. Sánchez, O. Cruz, N. Ceniceros, 1995, "RECENT ERUPTIONS AT POPOCATEPETL AND THEIR EFFECT ON THE HEAVILY POPULATED AREAS NEARBY", Periódico di Mineralogía, Cristallografia Geochimica GIAC, Minerari Mineralogía Petrografia Vulcanología, Núm. 64, pp. 223-224, Roma, 27-30 de septiembre.

National Land Agency, Government of Japan, 1992, Guidelines for preparing Volcanic Hazard Maps: Tokio, Government of Japan, National Land Agency, Disaster Prevention Bureau, Earthquake Disaster Countermeasures Division, 58 p. Newhall, C., Self, S., 1982, The volcanic

Ortiz, R., Araña, V., 1995, Daños que pueden producir las erupciones, en Ortiz, R. (ed.), Riesgo Volcánico: Cabildo de Lanzarote, Serie Casa de los Volcanes, 5, 37-67.

Pérez-Villegas, G., 1990, Viento dominante durante el año (IV. 4.2): Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Atlas Nacional de México, IV. Naturaleza, 4. Clima, escala: 1: 4,000,000, 1 mapa.

Secretaría de Gobernación, Dirección General de Protección Civil, "Atlas Nacional de Riesgos", noviembre de 1993.

Scott, W.E. 1993(a). "Los Peligros Volcánicos.". Los Peligros Volcánicos. Apuntes para un curso breve sobre Peligros Volcánicos. Tilling, R.I. Ed., B. Beate. Trad Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos. Asociación Internacional de Vulcanología y Química del Interior de la Tierra. WOVO. IAVCEI p. 9-24.

Valdés C., G. González-Pomposo, 1994, "SISMICIDAD DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL, NOVIEMBRE 1993 A MARZO 1994", Instituto de Ingeniería, UNAM, Reporte 94-2.

Valdés C., G. González-Pomposo, 1994, "POPOCATEPETL (MEXICO). HIGH SO2 FLUX ON 1 FEBRUARY (1,200± 400 metric tons/day), Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Vol. 19, Núm. 1, pp. 9-10.

"Volcanic Ash and Airports", Reporte Especial del United States Geological Survey, Open File Report 93-518. 1993.

Zamorano J.J., 1998, Geología 8, "CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA DEL CRÁTER DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL A ESCALA 1:10 000, MAYO DE 1989-AGOSTO DE 1997", Memorias Sexta Reunión Internacional Volcán de Colima, Universidad de Colima, pp. 109, enero.

Bibliografía Recomendaciones

Campos Aranda, D. F. (1984). *Procesos del ciclo hidrológico.* San Luis Potosí.

CENAPRED. (2005). *Fascículo de Tsunamis.* Ciudad de México.

CENAPRED. (2007). *Fascículos Heladas.* Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CENAPRED. (2007). *Fascículos Inundaciones.* Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CENAPRED. (2007). *Fascículos Sequías.* Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CENAPRED. (2008). *Fascículos Inestabilidad de Laderas.* Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CENAPRED. (2010). *Fascículos Tormentas Severas.* Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CENAPRED. (2014). *Fasículo de Tormentas Severas.* Ciudad de México.

CONAPO. (2010). *Índice de Marginación por Entidad Federativa y Municipio .* Ciudad de México.

CONAPO. (2010). *Índice de Marginación Urbana .*

CONEVAL. (2010). *Medición de la pobreza en México* . Ciudad de México.

CONEVAL. (9 de Abril de 2017). *Medición de la pobreza*. Obtenido de Glosario: http://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Glosario.aspx

Desastres, C. N. (06 de 07 de 2017). *¡Que onda con el calor!* Obtenido de CENAPRED: http://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/buscar_buscaSubcategoria;jsessionid=6D769F683B4CA2A14608E9A7359B061D?categoria=RIESGOS+HIDROMETEOROL%26Oacute%3BGICOS+%2F&subcategoria=SEQU%26Iacute%3BAS&palabraClave=Sequ

Servicio Meteorológico Nacional. (11 de 04 de 2017). *Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=47

Páginas de Internet

Centro Nacional de Prevención de Desastres: http://www.gob.mx/cenapred

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2017. http://www.inegi.org.mx/

Protección Civil del estado de puebla; http://www.proteccioncivil.gob.mx/en/ProteccionCivil/Puebla1

Protección Civil del municipio de Atlixco, Puebla; http://atlixco.gob.mx/proteccion-civil

Servicio Geológico Mexicano: https://www.gob.mx/sgm

Servicio Geológico de Estados Unidos: https://gobierno.usa.gov/agencias-federales/servicio-geologico-de-estados-unidos

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 TOPOGRAFÍA 17
FIG. 2 CRECIMIENTO POBLACIONAL DE ATLIXCO 1990-2015 29
FIG. 3 TASA DE CRECIMIENTO QUINQUENAL PARA EL ESTADO DE PUEBLA Y EL MUNICIPIO DE ATLIXCO EN EL PERIODO 1990-2025 CON BASE EN LAS PROYECCIONES DE POBLACIÓN DE CONAPO 29
FIG. 4 POBLACIÓN SEGÚN GÉNERO DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 30
FIG. 5 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN 30
FIG. 6 PIRÁMIDE DE EDADES DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA 31
FIG. 7 POBLACIÓN DE 3 AÑOS Y MÁS QUE HABLAN ALGUNA LENGUA INDÍGENA SEGÚN GÉNERO 34
FIG. 8 POBLACIÓN DERECHOAHABIENTE A SERVICIOS DE SALUD EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 34
FIG. 9 PORCENTAJE DE POBLACIÓN DERECHOHABIENTE SEGÚN CONDICIÓN DE AFILIACIÓN A SERVICIOS DE SALUD 34
FIG. 10 VIVIENDAS EN CONDICIONES DE HABITACIÓN 37
FIG. 11 VIVIENDAS POR NÚMERO DE CUARTOS 37
FIG. 12 MATERIAL EN PISO 37
FIG. 13 MATERIAL EN PAREDES 38
FIG. 14 MATERIAL EN TECHO 38
FIG. 15 SERVICIOS BÁSICOS 39
FIG. 16 BIENES EN VIVIENDAS 39
FIG. 17 DISPONIBILIDAD DE TECNOLOGÍA 39
FIG. 18 POBLACIÓN OCUPADA Y SU DISTRIBUCIÓN SEGÚN SECTOR DE ACTIVIDAD ECONÓMICA 40
FIG. 19 TIPOS DE VOLCANES 46
FIG. 20 TIPOS DE ERUPCIONES 47
FIG. 21 ZONAS VOLCÁNICAS DE MÉXICO (TMVB), ALGUNOS VOLCANES CONSIDERADOS COMO PELIGROSOS ESTÁN INDICADOS CON TRIANGULO Y NOMBRES, LOS NÚMEROS CORRESPONDEN A:1. CEBORUCO, 2. COLIMA, 3. JORULLO, 4. JOCOTITLÁN, 5. CITLALTÉPETL, 6. SAN MARTÍN TUXTLA, 7. TACANÁ (TOMADO DE USGS/CVO, 2003) 48
FIG. 22 PELIGROS VOLCÁNICOS. ESTE DIBUJO SIMPLIFICADO MUESTRA UN VOLCÁN DEL TIPO AL QUE PERTENECE LA MAYORÍA DE LOS VOLCANES MÁS GRANDES Y PELIGROSOS DEL MUNDO. REDUCIENDO EL RIESGO DE LOS PELIGROS VOLCÁNICO 50
FIG. 23 MAPA DE PELIGRO DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL 2016 PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO PUEBLA, COLABORACIÓN CENAPRED Y UNAM 52
FIG. 24 DISTRIBUCIÓN DE ESPESORES DE CENIZAS ALCANZADOS EN ERUPCIONES RECIENTES DE TIPO PLINIANO 52
FIG. 25 DISTANCIA ALCANZADA POR LA CENIZA DESDE EL CENTRO DE EMISIÓN DE ACUERDO AL PORCENTAJE DE FRAGMENTACIÓN Y TIPO DE ERUPCIÓN 53
FIG. 26 EPICENTRO E HIPOCENTRO DE UN SISMO 59
FIG. 27 VISUALIZACIÓN DE LAS PLACAS TECTÓNICAS EN LOS CONTINENTES 60
FIG. 28 EPICENTROS DE LA SISMICIDAD GLOBAL 60
FIG. 29 PLACAS TECTÓNICAS: MOVIMIENTO CONVERGENTE, DIVERGENTE Y TRANSCURRENTE 60
FIG. 30 INTERACCIÓN DE LAS PLACAS TECTÓNICAS EN LA REPÚBLICA MEXICANA 61
FIG. 31 MAPA DE LAS REGIONES SÍSMICAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA 62
FIG. 32 PARÁMETROS DE ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 67
FIG. 33 PARÁMETROS DE ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 68
FIG. 34 PARÁMETROS DE ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO. 68
FIG. 35 VISTA GENERAL DEL CERRO DE SAN MIGUEL, LOCALIZADO EN LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE ATLIXCO, PUEBLA 69

FIG. 36 BLOQUE DE ROCA QUE CAYÓ SOBRE LA VIVIENDA UBICADA EN EL TERCIO MEDIO DE LA LADERA DEL CERRO DE SAN MIGUEL. EL BLOQUE DESTRUYÓ LA BARDA DE UN CUARTO UBICADO EN LA PARTE TRASERA DE LA VIVIENDA. NÓTESE EL HUECO DEJADO POR EL CAÍDO 70
FIG. 37 PRESENCIA DE ARBUSTOS Y ÁRBOLES CUYAS RAÍCES EJERCEN UN EFECTO DE CUÑA QUE FAVORECE LA FORMACIÓN DE BLOQUES Y EL DESPRENDIMIENTO DE LOS MISMOS 70
FIG. 38 BLOQUE SUSCEPTIBLES DE PRESENTAR VUELCOS Y DESPLOMES EN EL CERRO ALEDAÑO A LA COMUNIDAD DE SANTA MARÍA COSAMALOAPAN 71
FIG. 39 ESQUEMA DE VARIABLES A CONSIDERAR EN EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD 72
FIG. 40 ESQUEMA DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DEL TERRENO 72
FIG. 41 CARTA GEOLÓGICO- MINERA (E14-16) DEL SGM, ESCALA 1:250 000 74
FIG. 42 INFLUENCIA DE LAS FORMA DEL BASAMENTO EN LA DISTRIBUCIÓN DE HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES 81
FIG. 43 TIPOS DE DOLINAS, LAS ORIGINADAS POR DISOLUCIÓN Y LAS DE SUBSIDENCIA O COLAPSO 82
FIG. 44 LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 84
FIG. 45 CONDICIONES NORMALES DEL PACÍFICO TROPICAL Y CONDICIONES DEL PACÍFICO TROPICAL DURANTE “EL NIÑO” 89
FIG. 46 GRANIZO 91
FIG. 47 PARTEAGUAS DE LA CUENCA DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 102
FIG. 48 VUELO LIDAR DE INEGI 103
FIG. 49 SUBCUENCA 1 104
FIG. 50 SUBCUENCA 2 104
FIG. 51 SUBCUENCA 3 104
FIG. 52 SUBCUENCA 4 104
FIG. 53 SUBCUENCA 5 104
FIG. 54 SUBCUENCA 6 104
FIG. 55 SUBCUENCAS A ANÁLIZAR 104
FIG. 56 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS CON INFLUENCIA EN LA CUENCA DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 110
FIG. 57 POLÍGONOS DE THIESSEN PARA LAS 6 SUBCUENCAS DE ESTUDIO, LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN EN MILÍMETROS 110
FIG. 58 SUBCUENCA 1 111
FIG. 59 SUBCUENCA 2 111
FIG. 60 SUBCUENCA 3 111
FIG. 61 SUBCUENCA 4 111
FIG. 62 SUBCUENCA 5 111
FIG. 63 SUBCUENCA 6 111
FIG. 64 COEFICIENTE DE KUISHLING (E) 111
FIG. 65 RELACIÓN ENTRE Z Y TC/TR 114
FIG. 66 CARACTERÍSTICAS DEL HUA 115
FIG. 67 HIDRÓGRAMA SUBCUENCA 1 117
FIG. 68 HIDRÓGRAMA SUBCUENCA 2 117
FIG. 69 HIDRÓGRAMA SUBCUENCA 3 117
FIG. 70 HIDRÓGRAMA SUBCUENCA 4 117
FIG. 71 HIDRÓGRAMA SUBCUENCA 5 117
FIG. 72 HIDRÓGRAMA SUBCUENCA 6 117
FIG. 73 SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN HEC-RAS 119
FIG. 74 NÚMERO DE PERFILES QUE SERÁN SIMULADOS 119
FIG. 75 PANTALLA PARA DEFINIR LAS CONDICIONES DE FRONTERA 119
FIG. 76 MUESTRA DE LA SELECCIÓN DE LAS CONDICIONES DE FRONTERA PARA DIFERENTES ARREGLOS 120
FIG. 77 RESULTADO GRÁFICO DE LA SIMULACIÓN 1 120
FIG. 78 RESULTADO GRÁFICO DE LA SIMULACIÓN 2 120
FIG. 79 RESULTADO GRÁFICO DE LA SIMULACIÓN 4 121
FIG. 80 SIMULACIÓN 1 TRAMO 121
FIG. 81 SIMULACIÓN 2 TRAMO 121
FIG. 82 PERFIL HIDRÁULICO DE LA SIMULACIÓN 4 123
FIG. 83 SECCIÓN HIDRÁULICA DE LA SIMULACIÓN 4 123

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 ENCOLVENTE DE HIDROGRAMA PARA EL TR=100 122
ILUSTRACIÓN 2 ZONA DE INUNDACIÓN PRODUCTO DE LA SIMULACIÓN 1, PR=100 125
ILUSTRACIÓN 3 ZONA DE INUNDACIÓN DE LA SIMULACIÓN 2, PR=100 125
ILUSTRACIÓN 4 ZONA DE INUNDACIÓN DE LA SIMULACIÓN 3, PR=100 125
ILUSTRACIÓN 5 ZONA DE INUNDACIÓN DE LA SIMULACIÓN 4, PR=100 125
ILUSTRACIÓN 6 VULNERABILIDAD Y TABLA PARA VIVIENDA DEL TIPO 1 128
ILUSTRACIÓN 7 VULNERABILIDAD Y TABLA PARA VIVIENDA DEL TIPO 2 128
ILUSTRACIÓN 8 VULNERABILIDAD Y TABLA PARA VIVIENDA DEL TIPO 3 128
ILUSTRACIÓN 9 VULNERABILIDAD Y TABLA PARA VIVIENDA DEL TIPO 4 128
ILUSTRACIÓN 10 VULNERABILIDAD Y TABLA PARA VIVIENDA DEL TIPO 5 128

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 CRONOLOGÍA DE PRINCIPALES EVENTOS OCURRIDOS EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA 10
TABLA 2 FENÓMENOS PERTURBADORES 11
TABLA 3 ZONAS DE RIESGO DEL MUNICPIO DE ATLIXCO 14
TABLA 4 TIPOS DE SUELO 19
TABLA 5 UNIDAD LITOLÓGICA 19
TABLA 6 CUENCA RÍO ATOYAC 21
TABLA 7 POBLACIÓN TOTAL 1990-2015 29
TABLA 8 PROYECCIONES DE POBLACIÓN DE LAS LOCALIDADES URBANAS DE ATLIXCO 29
TABLA 9 CARACTERÍSTICAS EDUCATIVAS DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 32
TABLA 10 POBLACIÓN CON LIMITACIONES EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO SEGÚN TIPO DE LIMITACIÓN 32
TABLA 11 POBLACIÓN CON LIMITACIONES EN LOCALIDADES URBANAS SEGÚN TIPO DE LIMITACIÓN 32
TABLA 12 POBLACIÓN CON LIMITACIONES EN LOCALIDADES RURALES SEGÚN TIPO DE LIMITACIÓN 32
TABLA 13 PRINCIPALES CAUSAS DE MORTALIDAD EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 35
TABLA 14 INDICADORES DE SALUD DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 35
TABLA 15 POBLACIÓN EN SITUACIÓN DE POBREZA DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 35
TABLA 16 GRADO DE MARGINACIÓN POR LOCALIDADES 36
TABLA 17 GRADO DE MARGINACIÓN URBANA A NIVEL AGEB 37
TABLA 18 NÚMERO DE PLANTELES SEGÚN NIVEL EDUCATIVO 41
TABLA 19 ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (VEI, POR SUS SIGLAS EN INGLÉS). 47
TABLA 20 TIPOS DE ERUPCIONES Y NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA. CENAPRED 48
TABLA 21 ETAPAS DE LA ACTIVIDAD DEL POPOCATÉPETL 49

TABLA 22 SISTEMAS EXPUESTOS POR CAÍDA DE CENIZA DE 1 MM 53
TABLA 23 SISTEMAS EXPUESTOS POR CAÍDA DE CENIZA DE 10 CM 54
TABLA 24 SISTEMAS EXPUESTOS POR PROYECTILES BALÍSTICOS 55
TABLA 25 ÁREA AFECTABLE POR FLUJOS Y OLEADAS PIROCLÁSTICAS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 56
TABLA 26 SISTEMAS EXPUESTOS POR FLUJOS Y OLEADAS PIROCLÁSTICAS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 56
TABLA 27 SISTEMAS EXPUESTOS POR PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 57
TABLA 28 SISTEMAS EXPUESTOS POR AVALANCHAS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO. 58
TABLA 29 SISTEMAS EXPUESTOS POR LAVAS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO. 58
TABLA 30 ESCALA RICHTER. 62
TABLA 31 HISTORIA SÍSMICA DE LA REGIÓN (SINGH ET AL. 1999) 65
TABLA 32 GUÍA BÁSICA PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS ESTATALES Y MUNICIPALES DE PELIGROS Y RIESGOS. CENAPRED. 2006 67
TABLA 33 GRADO DE INFLUENCIA DE LAS VARIABLES A CONSIDERAR EN LOS ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, CON BASE LOS VALORES PROPUESTOS POR EL CENAPRED 72
TABLA 34 INTERVALOS O CATEGORÍAS DE PENDIENTE Y SUS CORRESPONDIENTES VALORES RELATIVOS DE SUSCEPTIBILIDAD PROPUESTAS EN LA GUÍA BÁSICA PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS ESTATALES Y MUNICIPALES DE PELIGROS Y RIESGOS. 73
TABLA 35 INTERVALOS O CATEGORÍAS DE PENDIENTE Y SUS CORRESPONDIENTES VALORES RELATIVOS DE SUSCEPTIBILIDAD 74
TABLA 36 RELACIÓN DE UMBRALES DE LLUVIA QUE DETONAN DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN DIFERENTES REGIONES DEL MUNDO 76
TABLA 37 INTERVALOS DE LLUVIA PARA DEFINIR LOS RANGOS DE PELIGRO DE DESLIZAMIENTOS DETONADOS POR LLUVIA EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 77
TABLA 38 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS PARA TEMPERATURAS MÁXIMAS QUE TIENEN INFLUENCIA EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO (ₒC) 84
TABLA 39 TEMPERATURAS MÁXIMAS ASOCIADAS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO [°C] 84
TABLA 40 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS PARA TEMPERATURAS MÍNIMAS QUE TIENEN INFLUENCIA EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 86
TABLA 41 TEMPERATURAS MÍNIMAS POR ESTACIÓN PARA CADA UNO DE LOS PERIODOS DE RETORNO 87
TABLA 42 CALCULANDO EL ÍNDICE DE SEVERIDAD EN CADA UNO DE LOS AÑOS DE REGISTRO 90
TABLA 43 CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD 90
TABLA 44 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS PARA TORMENTAS DE GRANIZO QUE TIENEN INFLUENCIA EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 91
TABLA 45 DÍAS CON GRANIZO ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO 92
TABLA 46 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS PARA DÍAS CON TORMENTAS ELÉCTRICAS QUE TIENEN INFLUENCIA EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 97
TABLA 47 DÍAS CON TORMENTAS ELÉCTRICAS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO 97
TABLA 48 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS PARA DÍAS CON TORMENTAS ELÉCTRICAS QUE TIENEN INFLUENCIA EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 100
TABLA 49 LLUVIAS MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO 100
TABLA 50 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DE CADA SUBCUENCA 104
TABLA 51 VALORES DE LA SUBCUENCA 1 105
TABLA 52 VALORES DE LA SUBCUENCA 2 106
TABLA 53 VALORES DE LA SUBCUENCA 3 106
TABLA 54 VALORES DE LA SUBCUENCA 4 107
TABLA 55 VALORES DE LA SUBCUENCA 5 108
TABLA 56 VALORES DE LA SUBCUENCA 6 110
TABLA 57 PERÍODO DE RETORNOS (AÑO) POR ESTACIÓN 110
TABLA 58 SUBCUENCA 1 112
TABLA 59 SUBCUENCA 2 112
TABLA 60 SUBCUENCA 3 112
TABLA 61 SUBCUENCA 4 112
TABLA 62 SUBCUENCA 5 112
TABLA 63 SUBCUENCA 6 112
TABLA 64 SUBCUENCA 1 112
TABLA 65 SUBCUENCA 2 112
TABLA 66 SUBCUENCA 3 112
TABLA 67 SUBCUENCA 4 112
TABLA 68 SUBCUENCA 5 112
TABLA 69 SUBCUENCA 6 112
TABLA 70 SUBCUENCA 1 114
TABLA 71 SUBCUENCA 2 114
TABLA 72 SUBCUENCA 3 114
TABLA 73 SUBCUENCA 4 114
TABLA 74 SUBCUENCA 5 114
TABLA 75 SUBCUENCA 6 114
TABLA 76 HUA 115
TABLA 77 HUA SUBCUENCA 1 115
TABLA 78 HUA SUBCUENCA 2 115
TABLA 79 HUA SUBCUENCA 3 116
TABLA 80 HUA SUBCUENCA 4 116
TABLA 81 HUA SUBCUENCA 5 116
TABLA 82 HUA SUBCUENCA 6 116
TABLA 83 RESULTADOS SIMULACIÓN TRAMO POR TIEMPO DE RETORNO 121
TABLA 84 RESULTADOS SIMULACIÓN TRAMO POR TIEMPO DE RETORNO 122
TABLA 85 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN MUROS 126
TABLA 86 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN TECHOS 126
TABLA 87 COMBINACIONES POSIBLES TECHOS/MUROS 126
TABLA 88 TABLA DE DESCRIPCIÓN DE LAS COMBINACIONES POSIBLES 127
TABLA 89 VULNERABILIDAD PRESENCIA DE AGUA 127
TABLA 90 DESCRIPCIÓN DE LAS COMBINACIONES DEL TIPOS DE VIVIENDA TECHOS/MUROS 127
TABLA 91 FUNCIÓN DE PELIGRO 130
TABLA 92 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS 130
TABLA 93 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS 131
TABLA 94 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS 131
TABLA 95 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 20 AÑOS 132
TABLA 96 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS 132
TABLA 97 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 133
TABLA 98 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO Y CONDICIÓN DE VULNERABILIDAD 136
TABLA 99 GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL A NIVEL AGEB CON BASE EN EL ANÁLISIS DE LOS INDICADORES SOCIOECONÓMICOS 136
TABLA 100 GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL POR LOCALIDAD CON BASE EN EL ANÁLISIS DE LOS INDICADORES SOCIOECONÓMICOS 136

TABLA 101 CUESTIONARIO DE CAPACIDAD DE RESPUESTA 137
TABLA 102 MUESTRA REQUERIDA 138
TABLA 103 CUESTIONARIO DE PERCEPCIÓN LOCAL DE RIESGOS 138
TABLA 104 CONDICIÓN DE VULNERABILIDAD SOCIAL 139
TABLA 105 CÁLCULO DEL GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 140
TABLA 106 INFORMACIÓN SOBRE LOS SISTEMAS EXPUESTOS INCLUIDOS EN EL ATLAS DE ATLIXCO PUEBLA 140
TABLA 107 TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA PARA EL ATLAS DE ATLIXCO PUEBLA 141
TABLA 108 UNIVERSO DE LOCALIDADES TRABAJADAS Y PORCENTAJE SEGÚN TIPO DE VIVIENDA 143
TABLA 109 SISTEMAS EXPUESTOS SEGÚN NIVEL DE PELIGRO SÍSMICO 145
TABLA 110 SISTEMAS EXPUESTOS SEGÚN NIVEL DE PELIGRO POR CAÍDA DE MATERIAL VOLCÁNICO 145
TABLA 111 SISTEMAS EXPUESTOS SEGÚN NIVEL DE PELIGRO POR FLUJOS 145
TABLA 112 SISTEMAS EXPUESTOS SEGÚN NIVEL DE PELIGRO POR FLUJOS GIGANTES DE LODO 145
TABLA 113 SISTEMAS EXPUESTOS SEGÚN NIVEL DE PELIGRO POR FLUJOS Y OLEADAS PIROCLÁSTICOS 145
TABLA 114 SISTEMAS EXPUESTOS SEGÚN NIVEL DE PELIGRO POR LAHARES 145
TABLA 115 SISTEMAS EXPUESTOS SEGÚN NIVEL DE PELIGRO POR LAVAS 145
TABLA 116 SISTEMAS EXPUESTOS SEGÚN NIVEL DE PELIGRO POR PROYECTILES BALÍSTICOS 145
TABLA 117 SISTEMAS EXPUESTOS SEGÚN NIVEL DE PELIGRO POR INUNDACIONES 146

INDICE DE MAPAS

MAPA 1: MAPA GLOBAL DE INTENSIDADES PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO PUEBLA 7
MAPA 2: MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO PUEBLA 7
MAPA 3: MAPA DE PELIGROS POR LAHARES DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL 8
MAPA 4: MAPA DE PELIGRO POR INUNDACIONES PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO TR= 10 AÑO 8
MAPA 5: MAPA DE PELIGRO POR INUNDACIONES PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO TR= 100 AÑO 9
MAPA 6: MAPA DE INESTABILIDAD DE LADERAS EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 9
MAPA 7: MAPA DE VULNERABILIDAD DE POBLACIÓN 11
MAPA 8: MAPA BASE DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 12
MAPA 9: MAPA DE ZONA URBANA 12
MAPA 10 PROVINCIAS FISIOGRÁFICAS DE MÉXICO 14
MAPA 11 SUB-PROVINCIAS FISIOGRÁFICAS 15
MAPA 12 CLASE DE ROCAS PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA 15
MAPA 13 CLASE DE GEOMORFOLOGÍA PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA 16
MAPA 14 EDAFOLOGÍA DEL MUNICIPIOS DE ATLIXCO, PUEBLA 18
MAPA 15 CUENCA RÍO ATOYAC 20
MAPA 16 MAPA DE HIDROLOGÍA 21
MAPA 17 TIPOS DE CLIMA ATLIXCO, PUEBLA 22
MAPA 18 TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE ATLIXCO, PUEBLA 23
MAPA 19 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN 23
MAPA 20 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS 25
MAPA 21 ÁREA NATURAL PROTEGIDA DEL CERRO DE TENTZO 25
MAPA 22 DENSIDAD DE POBLACIÓN DE LAS ZONAS URBANAS 31
MAPA 23 GRADO DE MARGINACIÓN RURAL 36
MAPA 24 MARGINACIÓN URBANA 36
MAPA 25 PISO EN VIVIENDAS POR LOCALIDAD 38
MAPA 26 CENTROS DE SALUD 41
MAPA 27 ESCUELAS 41
MAPA 28 INFRAESTRUCTURA 42
MAPA 29 INSTALACIONES DE SEGURIDAD 42
MAPA 30 EQUIPAMIENTO URBANO DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO PUEBLA 43
MAPA 31 EXPANSIÓN DE LA CIUDAD 44
MAPA 32: MAPA DE PELIGRO POR FLUJO DE MATERIAL VOLCÁNICO PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 50
MAPA 33: MAPA DE PELIGRO POR FLUJOS DE LODO E INUNDACIONES PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 51
MAPA 34: MAPA DE PELIGRO POR CAÍDA O LLUVIA DE MATERIAL VOLCÁNICO PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 51
MAPA 35: MAPA DE PELIGRO DE CAÍDA DE CENIZA DE MAYOR PROBABILIDAD PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA. 53
MAPA 36: MAPA DE PELIGRO DE CAÍDA DE CENIZA DE PROBABILIDAD INTERMEDIA PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA. 54
MAPA 37: MAPA DE PELIGRO DE CAÍDA DE CENIZA DE PROBABILIDAD MENOR PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA. 54
MAPA 38: MAPA DE PELIGRO POR PROYECTILES BALÍSTICOS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA. 55
MAPA 39: MAPA DE PELIGRO POR FLUJOS Y OLEADAS PIROCLÁSTICAS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA 56
MAPA 40: MAPA DE PELIGRO POR LAHARES PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA. 57
MAPA 41: MAPA DE PELIGRO POR AVALANCHAS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA. 57
MAPA 42: MAPA DE PELIGRO POR LAVAS PARA EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA. 58
MAPA 43 CLASIFICACIÓN DE ZONAS SÍSMICAS DEL ESTADO DE PUEBLA 63
MAPA 44 EPICENTROS DE LOS SISMOS REGISTRADOS DE 1911 A JUNIO DE 2016 64
MAPA 45 EPICENTROS DE SISMOS 1911-2016, ATLIXCO, PUEBLA 64
MAPA 46 SISMOS DE MAGNITUD MAYOR O IGUAL A 5, PARA EL ESTADO DE PUEBLA 65
MAPA 47 EPICENTROS DE LOS SISMOS CON MAGNITUD MAYOR A 6.5 DE LA REGIÓN DEL SISMO DE TEHUACÁN. (HISTORIA SISMOLÓGICA DE LA REGIÓN, SINGH ET AL. 1999) 65
MAPA 48 MODIFICADO DE CURVAS DE ISOACELERACIÓN, CM/S2 (SINGH ET AL., 1999) 66
MAPA 49 PENDIENTES A NIVEL MUNICIPAL CON LOS VALORES DE RECLASIFICACIÓN EN PORCENTAJE DE LAS DIFERENTES CATEGORÍAS DE INCLINACIÓN. 73
MAPA 50 GEOLÓGICO ACTUALIZADO PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD (MODIFICADO DEL SGM, 2005) 74
MAPA 51 DE SUSCEPTIBILIDAD RELATIVA CORRESPONDIENTE A LA VARIABLE DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN (MODIFICADO DEL MAPA NACIONAL DE DENSIDAD FORESTAL) 75
MAPA 52 DE SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE LADERAS (DESLIZAMIENTOS) DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 76
MAPA 53 PELIGRO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS 77
MAPA 54 PELIGRO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS 77
MAPA 55 PELIGRO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS 77
MAPA 56 PELIGRO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 20 AÑOS 78
MAPA 57 PELIGRO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS 78
MAPA 58 PELIGRO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 78
MAPA 59 INESTABILIDAD LADERAS (DESLIZAMIENTO) 79
MAPA 60 SUSCEPTIBILIDAD A FLUJOS DE LODO EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 79
MAPA 61 SUSCEPTIBILIDAD A CAÍDOS Y/O DERRUMBES DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 80
MAPA 62 ZONIFICACIÓN DE SUELOS VOLCANOSEDIMENTARIOS, DONDE PODRÍAN ORIGINARSE LOS PRIMEROS CASOS DE HUNDIMIENTOS REGIONALES O DIFERENCIALES DEBIDO A LA EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO 82
MAPA 63 ZONA SUSCEPTIBLE AL FENÓMENO DE HUNDIMIENTO POR KARSTICIDAD 82
MAPA 64 PELIGRO POR ONDAS CÁLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS 85
MAPA 65 PELIGRO POR ONDAS CÁLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS 85
MAPA 66 PELIGRO POR ONDAS CÁLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS 85

MAPA 67 PELIGRO POR ONDAS CÁLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 20 AÑOS 85
MAPA 68 PELIGRO POR ONDAS CÁLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS 86
MAPA 69 PELIGRO POR ONDAS CÁLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 86
MAPA 70 PELIGRO POR ONDAS GÉLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS 87
MAPA 71 PELIGRO POR ONDAS GÉLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS 87
MAPA 72 PELIGRO POR ONDAS GÉLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS 88
MAPA 73 PELIGRO POR ONDAS GÉLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 20 AÑOS 88
MAPA 74 PELIGRO POR ONDAS GÉLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS 88
MAPA 75 PELIGRO POR ONDAS GÉLIDAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 88
MAPA 76 DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE DE PELIGROS POR SEQUÍA EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 90
MAPA 77 PELIGRO POR SEQUÍA DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO 91
MAPA 78 PELIGRO POR CAÍDA DE GRANIZO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS 92
MAPA 79 PELIGRO POR CAÍDA DE GRANIZO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS 92
MAPA 80 PELIGRO POR CAÍDA DE GRANIZO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS 93
MAPA 81 PELIGRO POR CAÍDA DE GRANIZO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 20 AÑOS 93
MAPA 82 PELIGRO POR CAÍDA DE GRANIZO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS 93
MAPA 83 PELIGRO POR CAÍDA DE GRANIZO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 93
MAPA 84 PELIGRO POR TORMENTAS DE NIEVE EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO 94
MAPA 85 TRAYECTORIAS DE CICLONES TROPICALES 95
MAPA 86 PELIGRO POR TORMENTAS ELÉCTRICAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS 97
MAPA 87 PELIGRO POR TORMENTAS ELÉCTRICAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS 98
MAPA 88 PELIGRO POR TORMENTAS ELÉCTRICAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS 98
MAPA 89 PELIGRO POR TORMENTAS ELÉCTRICAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 20 AÑOS 98
MAPA 90 PELIGRO POR TORMENTAS ELÉCTRICAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS 98
MAPA 91 PELIGRO POR TORMENTAS ELÉCTRICAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 99
MAPA 92 PELIGRO POR LLUVIAS EXTREMAS CON ISOYETAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS 101
MAPA 93 PELIGRO POR LLUVIAS EXTREMAS CON ISOYETAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS 101
MAPA 94 PELIGRO POR LLUVIAS EXTREMAS CON ISOYETAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 20 AÑOS 101
MAPA 95 PELIGRO POR LLUVIAS EXTREMAS CON ISOYETAS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS 101
MAPA 96 PELIGRO POR INUNDACIÓN (TIRANTES) PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS 123
MAPA 97 PELIGRO POR INUNDACIÓN (TIRANTES) PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS 123
MAPA 98 PELIGRO POR INUNDACIÓN (TIRANTES) PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS 124
MAPA 99 PELIGRO POR INUNDACIÓN (TIRANTES) PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 20 AÑOS 124
MAPA 100 PELIGRO POR INUNDACIÓN (TIRANTES) PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS 124
MAPA 101 PELIGRO POR INUNDACIÓN (TIRANTES) PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 124
MAPA 102 VULNERABILIDAD FÍSICA EN EL MUNICIPIO DE ATLIXCO, POR AGEB 129
MAPA 103 RIESGO POR INUNDACIÓN DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 2 AÑOS 133
MAPA 104 RIESGO POR INUNDACIÓN DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS 133
MAPA 105 RIESGO POR INUNDACIÓN DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS 134
MAPA 106 RIESGO POR INUNDACIÓN DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 20 AÑOS 134
MAPA 107 RIESGO POR INUNDACIÓN DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS 134
MAPA 108 RIESGO POR INUNDACIÓN DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 134
MAPA 109 UNIVERSO DE MANZANAS URBANAS TRABAJADAS 142
MAPA 110 UNIVERSO DE LOCALIDADES TRABAJADAS 143
MAPA 111 VULNERABILIDAD FÍSICA ANTE INUNDACIONES 144
MAPA 112 VALOR DEL SISTEMA EXPUESTO 144