



Atlas de Riesgo Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco, 2011



10 de Febrero de 2011

Versión final

Número de obra: 114006PP033298

Número de expediente: PP11/14006/AE/1/091

Municipio de Ameca, Estado de Jalisco

Servicios Ambientales Profesionales S.C.

Ingenieros Sur, No. 1095

Colonia Chapalita de Occidente, Zapopan, Jalisco

Tel: 24002659

e-mail: sap@gmail.com.mx

ÍNDICE

CAPÍTULO I. Antecedentes e Introducción

Introducción

Antecedentes

Objetivo

Alcances

Metodología General

Contenido del Atlas de Riesgo

CAPÍTULO II. Determinación de la zona de estudio

2.1. Determinación de la Zona de Estudio

CAPÍTULO III. Caracterización de los elementos del medio natural

3.1. Fisiografía

3.2. Geología

3.3. Geomorfología

3.4. Edafología

3.5. Hidrología

3.6. Climatología

3.7. Uso de suelo y vegetación

3.8. Áreas naturales protegidas

3.9. Problemática ambiental

CAPÍTULO IV. Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos

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

4.2. Características sociales

4.3. Principales actividades económicas en la zona

4.4. Características de la población económicamente activa

4.5. Estructura urbana

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

5.1. Peligros ante fenómenos de origen Geológico

5.1.1. Fallas y Fracturas

5.1.2. Sismos

5.1.3. Tsunamis o maremotos

- 5.1.4. Vulcanismo
- 5.1.5. Deslizamientos
- 5.1.6. Derrumbes
- 5.1.7. Flujos
- 5.1.8. Hundimientos
- 5.1.9. Erosión

5.2. Peligros ante fenómenos de origen Hidrometeorológico

- 5.2.1. Ciclones (Huracanes y ondas tropicales)
- 5.2.2. Tormentas eléctricas
- 5.2.3. Sequías
- 5.2.4. Temperaturas máximas extremas
- 5.2.5. Vientos Fuertes
- 5.2.6. Inundaciones
- 5.2.7. Masas de aire (heladas, granizo y nevadas)

5.3. Vulnerabilidad y riesgo ante fenómenos de origen geológico e hidrometeorológico.

- 5.3.1. Introducción.
- 5.3.2. Vulnerabilidad física
- 5.3.3. Vulnerabilidad social
- 5.3.4. Riesgo

5.4. Acciones y obras para mitigar el riesgo



CAPÍTULO I. Antecedentes e Introducción

1.1. Introducción

Debido al interés de que los municipios del país tengan las herramientas necesarias para el diagnóstico, ponderación y detección precisa de riesgos, peligros y/o vulnerabilidad a través de cartografía y documentos metodológicos que tienen como objetivo fundamental el desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del territorio. La Secretaría de Desarrollo Social, a través del Programa Habitat y el Centro Nacional de Prevención de Desastres se han enfocado a apoyar la política de prevención desastres, a través de la elaboración de Atlas Municipales de Riesgos, y su vinculación con la regulación y ocupación del suelo, con el propósito de reducir al máximo la vulnerabilidad de la población ante los efectos destructivos de los fenómenos naturales.

Según el Sistema Nacional de Protección Civil, SINAPROC, 2010, el marco legal que regula la elaboración de los Atlas Municipales de Riesgos, está contemplado en la Ley General de Protección Civil, además, cada estado cuenta con su propia normatividad que sigue los lineamientos contemplados por la ley general. En el estado de Jalisco, se cuenta con la Ley Estatal de Protección Civil, UEPCyB, 2010, en donde se enuncian la estructura y responsabilidades de las dependencias involucradas en la protección civil. También se establece que, como instrumento de sistematización y de apoyo a la protección civil se deberá elaborar un Atlas de Riesgos.

En el estado de Jalisco la dependencia responsable de la protección civil es la Unidad de Protección Civil y Bomberos de Jalisco que depende de la Secretaría General de Gobierno encargada de “ejecutar acciones de prevención, auxilio y recuperación o restablecimiento de las condiciones normales de la sociedad ante la presencia de un desastre ocasionado por los diferentes fenómenos perturbadores” UEPCyB, 2010.

1.2. Antecedentes

De acuerdo con el Sistema Nacional de Protección Civil, el análisis de riesgos naturales incluye tanto los fenómenos Geológicos, como las Hidrometeorológicos. Respecto a los primeros, en el Atlas Estatal de Riesgos del Estado de Jalisco, la problemática abordada para el municipio de Ameca refiere que la cabecera municipal de Ameca es una de las poblaciones con mayores problemas de hundimientos diferenciales y formación de grietas. UEPCyB, 2007.

Los primeros registros de grietas se presentan en la población de Ameca a principios de los años setentas, en la calle de Toluquilla. El fenómeno repercutió en las viviendas, los moradores pensaron que era una cuestión relacionada con la cimentación de la construcción. El fenómeno paulatinamente se fue incrementando, hasta que se convirtió en un serio problema a mediados de los años noventa. El fenómeno de agrietamiento se



incrementa por los sismos particularmente el de 1995. Actualmente el proceso esta activo, monitoreándose un desplazamiento de 0.5 a 1.5 en varios sectores del sistema (particularmente en el centro y sur de la población).

El Atlas Estatal de Riesgos, reporta la presencia de sismos para el municipio de Ameca, por ejemplo señala que durante el sismo de 1568, se cayeron muchas casas en Ameca. Teuchitlán de Corona, en Zacoalco se cayó el convento. Posteriormente, en 1579, se registró un sismo en Ameca, donde hubo muchas pérdidas de vidas humanas, se cayeron muchas casas, cerca del pueblo se formó una grieta con una extensión de 13 a 14 leguas. UEPCyB, 2007.

El Atlas Estatal reporta que en 1932, se presentó otro sismo cuyo epicentro es de mayor magnitud (8.2) registrado instrumentalmente ocurrió en las costas jaliscienses en el año de 1932, de acuerdo con Severo Díaz (1932) fue de larga duración ocasionando daños desde Manzanillo hasta Tepic. Atenguillo y Juchitlán prácticamente quedaron destruidos, Autlán el 10%, Cocula varias de sus fincas se vieron dañadas. En Zapotlán el Grande se dañaron 200 viviendas, además hubo muertos en Ameca, Mascota, La Hacienda El Cabezón quedó dañada, en Autlán hubo varios muertos así como en San Gabriel y Ocotlán.

Tanto el Atlas Estatal de Riesgos como el Inventario de Peligros del municipio de Ameca reportan que en 2003, el 21 de enero; se presentó un fenómeno sísmico, causando daños en 5,271 viviendas en 32 municipios sobre todo localizados en el sur del estado y en menor medida en el centro y la región Valles.

De acuerdo al Atlas Estatal, en el año de 1567, hizo erupción del Volcán Ceboruco, se cayeron muchas casas en Ameca. Teuchitlán de Corona, en Zacoalco se cayó el Convento. Por su parte, el inventario de peligros del municipio de Ameca, registra deslizamiento y colapso de suelo en las localidades el Magistral y las Raíces. UMPCyB Ameca, 2006. Respecto a los deslizamientos, el inventario de peligros municipal, reporta un evento de deslizamiento en laderas de la localidad de las Pilas, señalando que hubo 45 personas afectadas. Esta misma fuente de información señala que se han registrado áreas de inundación en la cabecera municipal de Ameca; en la localidad de Hacienda del Cabezón; en las Pilas; el Arco; el Magistral; el Tezcalame; la Huerta de San Javier; San Antonio Matute, la Nueva Cantería (Pochote) y la Higuera. UMPCyB, Ameca, 2006.

Sobre los fenómenos Hidrometeorológicos, según el Atlas Estatal de Riesgos, se tiene que es el tipo de peligros naturales menos estudiado, y con menos referencias de afectaciones en Ameca. Se cuenta con el registro de 1923. En esa ocasión se desbordó el Río Ameca, cuya afectación fue de grandes dimensiones, ya que la mitad del pueblo se inundó, y con ello, la población quedó aislada por varios días, este fenómeno tuvo como origen la presencia de lluvias durante una semana.

Posteriormente, en el año de 1937, cayó una tromba, en la localidad de San Nicolás, Municipio de Ameca, que trajo como consecuencia el desbordamiento del Arroyo Borrachos, incluso hubo varios muerto y heridos, a causa de la presencia del fenómeno.



Afortunadamente según el Atlas de Estatal, las inundaciones que están asociadas con los desbordes del río Ameca son extensas en daños, tanto en superficie como la magnitud económica, pero son menos letales para la vida de las poblaciones.

Respecto a otros fenómenos, el Atlas Estatal de Riegos informa que en 1957 una tromba azoto el poblado de Ameca, los daños fueron severos, ya que levanto techos, dos personas sufrieron daños.

Otro tipo de peligros registrados en el inventario municipal son incendios locales, explosiones, derrames de hidrocarburos, detonaciones de municiones, contaminantes, concentraciones masivas de población por actos religiosos y artísticos. UMPCyB, Ameca, 2006.

1.3. Objetivo

Objetivo general

Realizar el inventario de los peligros en el municipio de Ameca, Jalisco, que permitan contar con un sistema de información geográfico y un documento que aporten los lineamientos básicos para diagnosticar, ponderar y detectar los peligros, la vulnerabilidad y los riesgos en el espacio geográfico, a través de criterios estandarizados, catálogos y bases de datos homologadas, compatibles y complementarias con fines de prevención de riesgos.

Objetivos específicos

- Identificar y describir los peligros naturales en apego a los lineamientos de SEDESOL.
- Generar, validar y representar cartográficamente la información temática de las zonas vulnerables.
- Identificar y representar cartográficamente los niveles de riesgo por causas naturales y definir las medidas de prevención y mitigación a implementar.
- Hacer posible la consulta y análisis de la información de los diferentes peligros de origen natural que afecta al territorio de Ameca para que las autoridades competentes puedan definir esquemas de prevención, planeación y gestión del riesgo, con el fin de garantizar que el desarrollo no se asentará en zonas inseguras o que presenten alguna amenaza a la integridad de los habitantes y a la infraestructura.
- Obtener instrumentos de información confiables y capaces de integrarse a una base de datos nacional.

1.4. Alcances

Elaboración de un Atlas de Riesgos de los fenómenos naturales que afectan al municipio de Ameca, Jalisco. La población total beneficiada con este proyecto será de 57,340 habitantes de todo el municipio. INEGI, (2010).



1.5. Metodología General

La base fundamental para un diagnóstico adecuado de riesgo, es el conocimiento científico de los fenómenos (peligros o amenazas) que afectan a una región determinada, además de una estimación de las posibles consecuencias del fenómeno; estas dependen de las características físicas de la infraestructura existente en la zona, así como de las características socioeconómicas de los asentamientos humanos en el área de análisis.

Así, la metodología para la elaboración del Atlas de Riesgos del Municipio de Ameca, puede resumirse en los siguientes pasos:

- 1.- Identificación de los fenómenos naturales que pueden afectar a la zona en estudio.
- 2.- Determinación del peligro asociado a los fenómenos identificados.
- 3.- Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad.
- 4.- Evaluación de los diferentes niveles de riesgo asociado al tipo de fenómeno natural.
- 5.- Integración de la información sobre los fenómenos naturales, peligro, vulnerabilidad y riesgo considerando los recursos técnicos y humanos.

Para la realización del inventario y descripción de fenómenos peligrosos, la metodología utilizada es la que se denomina como “jerarquía de complejidad de métodos de estudio”, SEDESOL, (2011) en ella se considera desde lo más simple hasta lo más complejo. De esta forma, el “Método 1” representa el nivel más básico de estudio y obtención de información; el cual de manera progresiva aumenta la complejidad de acuerdo a las características de la zona de estudio, aumentando también la numeración del mismo; es decir, el “Método 2” será más complejo que el número 1, el 3 más que el número 2 y así sucesivamente. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

No	Fenómeno	Tipo	Complejidad de métodos de estudio de peligro	Escala de representación.
1	Fallas y fracturas	Geológico	4	Municipal escala 1:50,000 y Cabecera municipal 1:8,000.
2	Sismos	Geológico	5	Municipal escala 1:50,000 y Cabecera municipal 1:8,000.
3	Tsunamis o maremotos	Geológico	1	Municipal escala 1:50,000
4	Vulcanismo	Geológico	2	Municipal escala 1:50,000
5	Deslizamientos	Geológico	4	Municipal escala 1:50,000
6	Derrumbes	Geológico	4	Municipal escala 1:50,000
7	Flujos	Geológico	1	Municipal escala 1:50,000
8	Hundimientos	Geológico	1	Cabecera municipal 1:8,000.
9	Erosión	Geológico	3	Municipal escala 1:50,000
10	Huracanes	Hidrometeorológico.	1	Municipal escala 1:50,000
11	Ondas tropicales	Hidrometeorológico.	2	Municipal escala 1:50,000
12	Tormentas Eléctricas	Hidrometeorológico.	2	Municipal escala 1:50,000
13	Sequías	Hidrometeorológico.	2	Municipal escala 1:50,000
14	Temperaturas máximas extremas	Hidrometeorológico.	2	Municipal escala 1:50,000
15	Vientos	Hidrometeorológico.	1	Municipal escala 1:50,000
16	Inundaciones	Hidrometeorológico.	3	Municipal escala 1:50,000 y Cabecera municipal 1:8,000
17	Heladas	Hidrometeorológico.	2	Municipal escala 1:50,000

Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco.



Una vez identificado y descrito cada fenómeno peligroso, se establece la vulnerabilidad de la población y la infraestructura ante los peligros. Para ello se recogerán evidencias en campo, además, se recogerá la percepción e información que los habitantes tienen con respecto a la presencia del proceso perturbador, el origen, actividad, eventos detonadores de movimientos.

Así mismo para la vulnerabilidad social se desarrollaron análisis de información geoestadística básica del municipio de Ameca, incluyendo indicadores de El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) a partir de los datos del Censo de Población y Vivienda. INEGI (2010).

Par detectar, describir y cartografiar las zonas y niveles de riesgo, debe considerarse que el riesgo es la convolución del peligro y la vulnerabilidad. De ahí que una de las herramientas de mayor utilidad para la toma de decisiones es la construcción de escenarios en los que se detectan las zonas con niveles de riesgo elevados, en términos, por ejemplo de las pérdidas monetarias derivadas de las consecuencias ocasionadas por la ocurrencia de un fenómeno. Otras medidas de riesgo pueden ser, los metros cuadrados perdidos de construcción, el número de vidas humanas perdidas, etc.

La integración de la información sobre los fenómenos naturales, peligro, vulnerabilidad y riesgo se realizará en un sistema de información geográfica que haga posible la consulta y análisis de la información de los diferentes peligros de origen natural que afectan al territorio del municipio de Ameca, de manera que sea posible de integrarse a una base de datos nacional.

1.6. Contenido del Atlas de Riesgo

El Atlas se integra por dos elementos principales, un documento y un sistema de información geográfica (SIG). El documento se conforma de cinco capítulos y un anexo. El capítulo uno contempla la introducción y los antecedentes.

El capítulo dos contiene la determinación de la zona de estudio, en este apartado se describe la poligonal que identifica al municipio a estudiar, acompañado del documento que explica las principales características de su localización física, acompañado del mapa base con la información general del municipio.

El apartado o capítulo tres es la caracterización de los elementos del medio natural, en este se analizan los elementos que conforman el medio físico del municipio a partir de los siguientes temas de fisiografía, plasmándolos en un mapa cada uno:

- **Geomorfología;** principales formas del relieve.
- **Geología;** litología (geología superficial), estratos geológicos, fallas, sismicidad.
- **Edafología;** tipos de suelos.
- **Hidrología;** recursos hídricos superficiales y subterráneos, ciclos de recarga.
- **Climatología;** clima, temperatura media, vientos dominantes y locales, precipitación, fenómenos climatológicos regionales locales que inciden en el municipio.



• **Uso de Suelo y Vegetación.**

- **Áreas Naturales Protegidas.**
- **Problemática Ambiental;** grado de deterioro de los elementos del medio natural.

En el capítulo cuatro es la caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos.

En este apartado se presenta la caracterización general de la situación demográfica, social y económica del municipio, a partir de indicadores básicos, que revelen las condiciones generales del estado que guarda el municipio, en el que se describe lo siguiente:

- Dinámica demográfica.
- Distribución de la población.
- Pirámides de edades.
- Mortalidad.
- Densidades de población.
- Características sociales.
- Actividades económicas del municipio.
- Estructura urbana.

En el capítulo cinco se identifican los peligros, la vulnerabilidad y el riesgo ante fenómenos perturbadores de origen natural.

Se analizan cada uno de los fenómenos perturbadores de origen natural, identificando su periodicidad, área de ocurrencia y nivel de impacto sobre el sistema afectable para crear zonas de vulnerabilidad a amenazas, de acuerdo con lo siguiente:

Fenómeno	Tipo
Fallas y fracturas	Geológico
Sismos	Geológico
Tsunamis o maremotos	Geológico
Vulcanismo	Geológico
Deslizamientos	Geológico
Derrumbes	Geológico
Flujos	Geológico
Hundimientos	Geológico
Erosión	Geológico
Huracanes	Hidrometeorológico.
Ondas tropicales	Hidrometeorológico.
Tormentas Eléctricas	Hidrometeorológico.
Sequías	Hidrometeorológico.
Temperaturas máximas extremas	Hidrometeorológico.
Vientos Fuertes	Hidrometeorológico.



Inundaciones	Hidrometeorológico.
Heladas	Hidrometeorológico.



CAPÍTULO II. Determinación de la zona de estudio

2.2. Determinación de las zonas de estudio.

2.2.1. Nivel municipal

A nivel municipal se realizaron los análisis a una escala de 1:50,000 de los fenómenos siguientes:

En el componente de fenómenos geológicos se abordarán los temas de fallas y fracturas; sismos; vulcanismo; deslizamientos; derrumbes; flujos; hundimientos; erosión hídrica. En los fenómenos del grupo hidrometeorológicos se incluyeron los fenómenos de huracanes; ondas tropicales; tormentas eléctricas; sequías; temperaturas máximas extremas; vientos fuertes; inundaciones; heladas y granizo.

La zona de estudio abarca una superficie de 838.64 Km cuadrados, esta superficie corresponde al Marco Geoestadístico Municipal de INEGI, elaborado en el año 2009. De acuerdo a esta delimitación, el municipio de Ameca colinda al norte con los municipios de Etzatlán, Ahualulco de Mercado y Teuchitlán. Al este con el municipio de San Martín Hidalgo, al Sur con los municipios de Tecolotlán y Mixtlán, y al oeste con el municipio de Guachinango y con el municipio de Amatlán de Cañas, Estado de Nayarit.

Los linderos en su mayoría son artificiales a excepción de un tramo de 6 kilómetros a lo largo del Río Ameca en el extremo noroeste con el estado de Nayarit.

Según la regionalización del Comité de Planeación del Estado de Jalisco, (COPLADE), el municipio de Ameca pertenece a la región 11 Valles. El municipio de Ameca se encuentra en la parte centro-oeste del estado de Jalisco, entre las coordenadas 20° 21'45", 20° 38'52" de latitud norte y 103° 52'07", 104° 16'49" de longitud oeste, aproximadamente a 83 kilómetros de la ciudad de Guadalajara.

El municipio se conforma al norte por la Sierra del Águila, al sur, el municipio es limitado por una sierra formada por los cerros: Prieto, Las Piedras, el Zapote, las Carboneras, la Aguja, la Cruz, la Tetilla, el Espinazo del Diablo, la Cuchilla del Aguacero, los Picachos, la Telaraña, el Cuis, Bola Alta, San Antonio y el Cerro del Obispo.

En medio de estas dos sierras se ubica un extenso valle agrícola dividido por el río Ameca. En el municipio se conserva el agua superficial a través de cuatro presas, siendo estas la Crucecita, el Texcalame, San Ignacio y el Palomar. El río Ameca es alimentado por una gran cantidad de arroyos siendo algunos de los más relevantes, los conocidos como la Atarjea, los Llanitos, Jalolco, arroyo Zacapoaxtla, los Laureles, la Angostura, la Piedra de Amolar, el Agua Buena y el Santiago.

Infraestructura productiva

En cuanto a infraestructura, el municipio cuenta con una red eléctrica de 182.644 kilómetros lineales, INEGI, 2000. Según el Atlas de Caminos y carreteras, elaborado por el Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco. IITEJ, 2009, el municipio de Ameca cuenta con 280.69 kilómetros lineales de caminos y carreteras, de los que 1.64 son brechas, 46.37 son carreteras estatales, 41.38 kilómetros son de carreteras federales,



15.01 de carreteras municipales, 11.06 kilómetros son terracerías empedradas y 165.25 kilómetros son terracerías revestidas.

En territorio del municipio se encuentran “20.78 kilómetros de vías férreas de tipo sencillo, en operación, que parten de la cabecera municipal y se conectan con la vía del tren que va al norte del país”. INEGI, 2000.

En el municipio de Ameca se encuentra uno de los distritos de riego más importantes del estado de Jalisco, para ello se tienen acueductos y canales que en conjunto suman una red de distribución de agua de 251.105 kilómetros”. INEGI, 2000.

Siendo el municipio de Ameca uno de los principales productores de caña de azúcar, en su territorio se encuentra uno de los cinco ingenios azucareros de la entidad, llamado Ingenio San Francisco. Además del Ingenio, en la localidad de Ameca y en la localidad del Cabezón, existen 2,346 negocios registrados en 257 giros distintos, según el Directorio Estadístico Nacional de Unidades económicas” INEGI, 2010.

Por su número, las unidades que destacan son las relacionadas con el comercio al por menor de artículos de papelería, de carnes rojas, de cerveza, de ropa, excepto de bebe y lencería, el comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas, los consultorios dentales del sector privado, los restaurantes con servicio limitado, la reparación mecánica en general de automóviles y camiones, los restaurantes de comida para llevar, los salones y clínicas de belleza y peluquerías.

Infraestructura de servicios

Ameca cuenta con 11 casas de salud, 8 centros de salud y un hospital general. En el territorio municipal se distribuyen 165 escuelas desde nivel preescolar hasta nivel superior y se ubican cinco instalaciones de telecomunicaciones, dos unidades deportivas y una plaza de toros. Se encuentran en el municipio cinco gasolineras ubicadas en las cercanías de la cabecera municipal.

En Ameca se tienen registrados como patrimonio cultural y turístico, los templos: “La Esperanza, El Santuario, Santo Santiago, Capilla de La Conchita. Los cascos de hacienda El Cabezón (1844), Santa María de la Huerta (s. XVI), San Antonio Matute (1911), y la Esperanza. Otros sitios de Interés son el Museo y la Casa de la Cultura, el Palacio Municipal y el Monumento a la Fe”. Ayuntamiento de Ameca, 2006.

El territorio del municipio de Ameca se conforma por importantes recursos naturales y productivos, así como una amplia red de caminos, carreteras, vías férreas, red eléctrica, de telecomunicaciones y de distribución de agua que son vulnerables ante fenómenos geológicos e hidrometeorológicos cuya vulnerabilidad los pone en distintos niveles de riesgo.

2.2.2. Nivel de la cabecera municipal de Ameca.

A este nivel se realizarán estudios a detalle de 1:8000, abordándose los fenómenos de hundimientos, sismos e inundaciones.

La localidad de Ameca se ubica en las coordenadas extremas siguientes:



Límite de coordenadas (UTM, WGS 84, 13N)	
Coordenadas limite al oeste	597000
Coordenadas limite al este	603000
Coordenadas limite al norte	2274000
Coordenadas limite al sur	2269000

La ciudad de Ameca se encuentra a una altitud de 1,239 msnm. La población total de la ciudad de Ameca es de 36,156 habitantes, de los que 17,609 son hombres y 18,547 son mujeres. INEGI. 2010. En esta localidad se concentra la actividad comercial del municipio, habiéndose registrado en el 2010 una cantidad de 2237 negocios de todo tipo.

2.2.3. Nivel de la localidad El Cabezón.

A este nivel se realizarán estudios a detalle de 1:8,000 particularmente, a solicitud del municipio de Ameca, el fenómeno de inundaciones. Esta localidad es la segunda en importancia comercial del municipio, habiéndose registrado en el 2010 una cantidad de 106 negocios de todo tipo. DENUE. INEGI. 2010.

El Cabezón se ubica 1,266 msnm y registra una población total de 2,683 habitantes en total, de los que 1,312 son hombres y 1,371 son mujeres. La localidad del Cabezón se ubica en las coordenadas extremas siguientes:

Límite de coordenadas (UTM, WGS 84, 13N)	
Coordenadas limite al oeste	609352
Coordenadas limite al este	610445
Coordenadas limite al norte	2267345
Coordenadas limite al sur	2265989

Véase la tabla 2.2.1. (Anexo) con el nivel de análisis para cada uno de los territorios antes descritos.



CAPÍTULO III. Caracterización de los elementos del medio natural

3.1. Fisiografía

La fisiografía desde el punto de vista del estudio de los suelos, persigue en principio los mismos objetivos de la geomorfología en lo relativo al estudio de las formas del terreno, pero difiere de ella, ya que clasifica dichas formas en un sentido práctico, teniendo en cuenta no solo su morfología, origen y edad, sino considerando además aspectos de clima actual, geología, hidrología e indirectamente aspectos bióticos, en la medida que estos pudiesen influir en el origen de los suelos y/o en la aptitud y uso de los mismos.

Una de las ventajas que ofrece el enfoque fisiográfico es la facilidad de estructurar los datos espaciales de una manera jerárquica, de tal manera que pueden ser representados en diferentes escalas de acuerdo al nivel de detalle requerido.

En el caso del estudio llevado a cabo en el municipio de Ameca, desde el punto de vista fisiográfico se utilizó como unidad de análisis el Paisaje, subdividiéndolas en unidades fisiográficas menores (Subpaisajes), con base en aspectos morfométricos, particularmente el grado de la pendiente. En el cuadro No. 3.1.1 se presenta un resumen de todas las unidades presentes en el área de estudio.

En el municipio de Ameca, las formas del terreno se agruparon en dos grandes paisajes, a saber: Sierra de Jalisco y la Provincia de Chapala. Dichas formas han sido determinadas principalmente, por dos grandes factores, de una parte el vulcanismo, el cual explica el origen y formación de los grandes depósitos de lava que conforman los relieves montañoso y colinado volcánico; de otra parte están los procesos de sedimentación aluvial, que explican el origen de la Planicie de Piedemonte y planicie aluvial. Un tercer elemento no menos importante, que ha contribuido a moldear el paisaje en el municipio de Ameca, es el tectonismo, manifiesto en varias fallas y fracturas.

La fisiografía comprende la climatología, geomorfología y la geología regional y estructural. En cuanto a la climatología, el Municipio de Ameca presenta un régimen de precipitación continua en verano y parte del otoño y escasa lluvia en invierno y primavera. Los valores máximos de precipitación corresponden a las partes altas de los cerros. La temperatura media anual es de alrededor de 18 grados centígrados, presentándose variaciones propias de las altitudes, mas frío en las partes altas de las sierras y más calor hacia la población de Ameca, donde se han registrado temperaturas extremas de 35 grados durante los meses cálidos.

La zona geohidrológica de Ameca se caracteriza por presentar una alineación oriente-poniente, con una longitud aproximada de 70 km y una anchura máxima de 40 km en su porción más amplia. En medio y hacia el poniente se presenta intersectando la zona, el cerro Grande de Ameca que corta ese gran valle, seccionándolo parcialmente para diferenciar dos valles fisiográficos bien definidos, el de Tala-Ahualulco y el de Ameca-Cocula.

Inicialmente dentro de esta región, pero formando un valle aparte, se encuentra la zona de Magdalena que se orienta de norte a sur. Las montañas que rodean esta zona se encuentran en una etapa juvenil de su



desarrollo y los arroyos que corren hacia el valle llegan a formar pequeñas lagunas como la de Palo Verde, La Colorada y la de Magdalena.

Todo el Municipio se encuentra ubicado en la Faja Neo volcánica Transversal, aunque al sur se presentan intersecciones con la sierra Madre del sur y hacia el noroeste se cruza con el inicio de la Sierra Madre Occidental. Las principales estructuras geológicas presentan orientación NW-SE, aunque de forma local se manifiestan fallas de orientación E-W que dan lugar a la formación de los valles principales.

En el Municipio predominan las rocas volcánicas, y en los valles se presentan algunos materiales formados mediante procesos sedimentarios. Las rocas ígneas más antiguas afloran en el flanco sur del cerro Grande de Ameca y en las estribaciones de la sierra de Quila, son de composición ácida y textura granítica.

Con el transcurso del tiempo se formaron las zonas montañosas de Quila, de San Marcos y del cerro Grande de Ameca de composición riolítica, representadas por brechas, tobas y flujos parcialmente cubiertos por basaltos en algunos sitios.

Las siguientes rocas en aparecer y de amplia distribución, son las rocas basálticas que forman el volcán de Tequila al norte, porción occidental del cerro Grande de Ameca y sur y sureste del valle de Ameca. Aunque no todas estas rocas presentan un centro de erupción común, si parecen ser contemporáneas y originadas por procesos volcánicos de edad Terciario inferior. Estas rocas presentan alineaciones de orientación SE-NW, aunque los aparatos de dimensión pequeña tienen una orientación NW-SE.

Las rocas más recientes de edad cuaternaria están representadas por rocas riolíticas de la sierra La Primavera, que representan la última etapa eruptiva de una cadena volcánica que forma parte del eje neo volcánico.

3.2. Geología

La geología en la región donde se encuentra ubicado el Municipio de Ameca comprende eventos volcánicos sedimentarios, sedimentarios e ígneos intrusivos y extrusivos, que representan un tiempo geológico que va del Jurásico al Reciente, en un registro de más de 140 millones de años. Las rocas más antiguas se encuentran rodeando por el oeste al Municipio, al norte en Cerro Grande de Ameca y al sur en Cerro Prieto y corresponden a depósitos sedimentarios y volcánicos sedimentarios continentales y marinos del Jurásico, cubiertos por rocas sedimentarias continentales y marinas del Cretácico en la porción central del Municipio. Las rocas ígneas intrusivas y extrusivas del Paleoceno y las rocas ígneas extrusivas del Neógeno representan eventos volcánicos intensos y muy extendidos dentro de la Cuenca del río Ameca, donde está ubicado gran parte del Municipio. Las rocas con mayor expresión superficial corresponden al Eje Neo volcánico Transversal (ENT) de edad Pleistoceno, en la porción oeste-sur del Municipio. En cuanto a las estructuras geológicas, el mesozoico presenta en el Jurásico una fase de deformación dúctil y para el Cretácico una fase ductil-frágil representado por rocas foliadas, plegadas y fracturadas. En el Paleoceno se registro una fase de deformación distensiva que contribuyó al desarrollo y emplazamiento de un gran volumen de rocas ígneas extrusivas de la Sierra Madre Occidental (SMO) y fallas normales orientadas principalmente norte-sur. En el Neógeno se



registro una fase distensiva norte-sur que dio origen a un gran sistema de fallas normales de orientación este-oeste y otra fase distensiva de orientación noroeste, que favoreció el desarrollo de un sistema de fracturamiento cortical paralelo, regular y sistemático, que favoreció el desarrollo de grandes domos, conos, mesas y otras estructuras volcánicas del campo Volcánico del Cerro Grande de Ameca y Cerro Prieto que representan al Pleistoceno y Holoceno y son parte del ENT.

El Jurásico, en la parte media del Mesozoico, está representado por rocas volcano sedimentarias compuestas por toba andesítica, arenisca caliza, limonita, lutita y filita, en estratos y capas delgadas, cortadas por cuerpos irregulares de piroxenita y gabro. Otras rocas ígneas intrusivas son diques y mantos de diorita, tonalita y basalto. Las rocas jurásicas se encuentran plegadas en forma de anticlinales y sinclinales de orientación noroeste en Cerro Grande de Ameca y representan un tiempo geológico que va de 163 a 144 millones de años antes del presente. El cretácico en la parte superior del Mesozoico, está representado por rocas sedimentarias detríticas y carbonatos, compuestos por arenisca, conglomerado y toba andesítica, en estratos y capas delgadas de origen continental y rocas de caliza, arenisca lutita, limonita y yeso, de origen marino, que se encuentran en Cerro Grande y Cerro Prieto. Las rocas cretácicas se presentan deformadas en pliegues amplios y paralelos orientados noroeste-sureste, afectadas por fallas normales de orientación norte-sur y representan un intervalo de tiempo de 144 a 66 millones de años antes del presente.

El registro geológico del Pleistoceno, en la base del Cuaternario está representado por basalto, andesita y en menor proporción de riolita, en geoformas de conos aislados, conos sobrepuestos, estratovolcanes, lomeríos y sierras longitudinales. Se encuentran en la región norte-oeste-sur que favorecieron el desarrollo de un gran sistema de fracturas corticales y contribuyeron al emplazamiento de un gran volumen de rocas ígneas extrusivas basálticas. El Pleistoceno comprende un tiempo geológico que va de 1.8 a 0.01 millones de años.

El Holoceno o Reciente está representado por rocas de basalto y andesita que son los últimos eventos volcánicos del ENT y por los materiales sedimentarios sin consolidar, como grava, arena, limo y arcilla así como los suelos derivados de todas las rocas preexistentes que se encuentran en el centro del Municipio, representa un tiempo que va de 10,000 años antes del presente y hasta nuestros días (Tabla 3.2.1).

Respecto a hundimientos, el municipio de Ameca, presenta una línea de aproximadamente 2 km de hundimiento en la zona urbana, posiblemente debida a una consecuencia de abundancia de agua, sobre todo en época de lluvias, ya que esta región es una zona de recarga, sobre todo de la que viene de las montañas aledañas. También se presentan hundimientos expansivos regionales.

Por otro lado, existe la presencia de flujos de derrames volcánicos localizados en las orillas del ENT, en donde también se presentan aparatos volcánicos aislados pero formando parte importante del Eje.



3.2. Geomorfología

La Geomorfología como parte de la Geografía se encarga del estudio de las formas del relieve y de su evolución. En esta breve definición se presentan dos términos responsables de la dualidad aparente de esta disciplina: *formas* y *relieve*. Las formas son consecuencia de los procesos externos morfo climáticos y el relieve es el resultado de procesos internos geológicos.

Por su ubicación geográfica, el Municipio de Ameca se encuentra en el centro del Estado de Jalisco, donde hay una región de compartimentos, de alternancia montañas volcánicas o bloques de montañas y de valles o llanos de poca extensión. El Municipio se encuentra situado en la Cuenca del río Ameca, la cual tiene una superficie de 12,220 km² aproximadamente, nace en la Sierra de la Primavera, al SW de Guadalajara para desembocar en el extremo NW de Jalisco (Bahía de Banderas). Se encuentra influenciado por tres provincias geomorfológicas: al norte, la Sierra Madre Occidental, formando filos, cañones y mesas, en el centro del Municipio se encuentra la faja volcánica transversal (ENT) y al sur la Sierra Madre del Sur. El clima en la región es tropical semihúmedo con lluvias de 900 a 800 mm anuales.

Clima, relieve y litología se conjugan para dar lugar a una variedad de suelos cuya distribución se resume con consideración a las formas del relieve o las unidades geomorfológicas. Los litosoles predominan en las vertientes de la Montaña, en cambio los regosoles se distribuyen sobre las planicies de piedemonte, principalmente de las montañas graníticas. En los llanos y valles del centro se desarrollan los andosoles y fluvisoles.

Las estructuras del relieve

Montañas graníticas: Se consideran montañas graníticas aquellos cordones montañosos y macizos formados por cuerpos intrusivos de rocas macro cristalinas ácidas y meso silíceas, es decir, granitos, granodioritas y sienitas. Por lo general estas rocas plutónicas están acompañadas por metamórficas jurásicas, formadas a expensas de sedimentos del Mesozoico Medio marino y continental, por sedimentos marinos diagenizados del Mesozoico Superior (Cretácico) y por rocas volcánicas del Terciario Inferior y Medio (Andesitas, ignimbritas, riolitas y tobas andesíticas y riolitas. A pesar de ello, el cuerpo principal de cada unidad topográfica (cerro o cordón montañoso) está constituido por plutones intrusivos correspondientes a Cretácico Superior y al Terciario Inferior.

Las Montañas graníticas se ubican en la parte sur del Municipio en Cerro Prieto, perteneciente a la Sierra Madre del Sur.

Montañas graníticas mixtas: Se trata de montañas graníticas en las cuales la proporción de rocas sedimentarias marinas mesozoicas y de rocas volcánicas del Cenozoico es mayor que la de rocas plutónicas, de modo que el cuerpo intrusivo representa una escasa porción de la Montaña. Se consideran montañas graníticas mixtas a la Sierra de Ameca al norte del Municipio.



Cuencas sedimentarias: Constituyen en su mayoría depresiones tectónicas que han servido de nivel de base de la red de drenaje local en un momento de su evolución geológica. El Municipio presenta en la Sierra de Ameca este tipo de Cuencas sedimentarias, en lo que se conoce como la Cuenca Tala-Ameca. Hacia el norte también se extiende la Cuenca de Etzatlan-San Marcos, entre la Sierra de Ameca y la de San Marcos.

Montaña mixta de bloques: Se asemejan a los bloques basálticos, por el predominio en superficie de basaltos, pero también existen entre sus componentes rocas volcánicas ácidas de la serie riolita del Mioceno, rocas intrusivas y sedimentarias marinas del Mesozoico Superior. Este tipo de montañas se encuentran en la Sierra de Ameca.

La región del Municipio de Ameca, está dominado por los compartimentos geográficos donde alternan montañas y bloques de montañas volcánicas de materiales básicos o ferromagnéticos, de valles y llanos de escasa extensión.

3.3. Edafología

Las diferentes condiciones climáticas y geomorfológicas de un lugar a lo largo del tiempo, condicionan la formación de numerosas clases de suelos, los cuales pueden presentar diferentes tipos de aptitud, función y vulnerabilidad. Al respecto, se muestra la información edáfica para el municipio de Ameca proveniente de la serie I de INEGI (FAO-UNESCO, 1998) escala 1:250,000.

Los suelos de tipo Feozem ocupan el 32.3% del territorio municipal, estos se distribuyen en la sección centro y oeste sobre los pies de monte, así como en la parte suroeste, asociados a las laderas montañosas. La característica principal de estos suelos es una capa superficial oscura, rica en materia orgánica y en nutrientes. Por su parte, los suelos de tipo Vertisol abarcan un 23.9% y se localizan sobre las llanuras de la sección este y centro del municipio. Se caracterizan por presentar grietas anchas y profundas que parecen en la época de sequía, son suelos muy arcillosos y, pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando están secos.

Los suelos de tipo Leptosol se presentan en un 22.9% del municipio y se encuentran en la parte más alta de la sección noreste, sobre la serranía principalmente. Son suelos con menos de 25 cm de profundidad y se relaciona generalmente con paisajes accidentados de sierras. Los suelos de tipo Cambisol comprenden un 13.4% del territorio municipal y se presentan hacia la sección oeste y noroeste sobre las zonas más altas que comprenden las serranías. Los cambisoles se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa que parece más suelo que roca, en donde se forman terrones, además pueden presentar acumulación de arcilla, carbonato de calcio, hierro, manganeso, etc. Respecto a los suelos menormente representados, los de tipo Luvisol ocupan un 3.9% de la región y se distribuyen en las zonas altas de las secciones noroeste y sur del municipio, sobre la serranía, en este tipo de suelos las arcillas de alta actividad se acumulan al subsuelo y están frecuentemente asociados con tierras planas o ligeramente inclinadas. Así mismo, los suelos de tipo Regosol abarcan un 1.9% de la extensión municipal, estos se presentan en la parte noroeste sobre laderas de



la serranía y, la zona oeste, sobre lomeríos de partes bajas. Estos suelos se caracterizan por no presentar capas distintas, son claros y parecidos a la roca que los subyace, cuando no son profundos; frecuentemente son someros. Finalmente, los suelos de tipo Fluvisol abarcan únicamente el 0.6% del territorio, y se distribuyen en la parte centro oeste del municipio, sobre las zonas bajas que conforman una llanura por donde corre el Río Ameca. Los fluvisoles se distinguen por estar formados siempre por materiales acarreados por agua, se constituyen por materiales disgregados que no presentan estructura en terrones, es decir, son suelos poco desarrollados.

3.4. Hidrología

3.4.1. Recursos hídricos superficiales

La superficie terrestre que aporta escurrimiento superficial a algún punto de interés son las cuencas. Las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas naturales definidas por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones también conocida como parteaguas. Al respecto se muestra la información hidrográfica para el municipio de Ameca obtenida de INEGI (2010) escala 1:50,000. El municipio de Ameca se encuentra en la Región Hidrográfica Ameca y en las Cuencas Hidrográficas La Vega-Cocula y Ameca-Atenguillo, a su vez las Subcuencas Hidrográficas Ameca y Cocula lo comprenden casi en su totalidad, con un 62.5% y 35.4% respectivamente, por su parte las Subcuencas Salado, Ayuquilla y Atenguillo ocupan únicamente el 1.7%, 0.3% y 0.1% del territorio municipal.

El Río Ameca, con una longitud total de 205 km, se encuentra entre los cincuenta principales ríos nacionales, y es el principal escurrimiento superficial dentro del municipio, es de orden cinco y se origina en Presa de la Vega, ubicada al oeste fuera de los límites del municipio, se desplaza por toda la parte central discurriendo en dirección oeste, con una longitud aproximada de 50 km. Respecto a la calidad del agua, la CONAGUA (2008) reporta para el Río Ameca una categoría aceptable para los parámetro de SST (83.0 mg/l) y DBO (23.5 mg/l), y se reporta como contaminado de acuerdo al parámetro DQO (99.0 mg/l). Así mismo, al norte del municipio se presentan diversos arroyos perennes que alimentan al Río Ameca, entre los que destacan el Arroyo Los Otates, A. La Angostura, A. Los Laureles, A. Zacapoaxtla y A. Jalolco. Al sur se presentan los arroyos A. La Cañada, A. El Aguabuena, A. Calera, A. Grande y A. Santiago. Respecto a las corrientes intermitentes, estas son diversas y forman una red dendrítica radial de las partes altas hacia los valles.

3.4.2. Recursos hídricos subterráneos

El municipio de Ameca recae en el Acuífero Ameca (1409), cuya extensión total es de 3, 743 km², de acuerdo a datos publicados en el DOF, este acuífero no presenta sobreexplotación, la extracción de aguas subterráneas para la zona de Ameca es de 46`019,301 m³, con 82 aprovechamientos, esta zona cuenta con una amplia extensión superficial plana, lo que sugiere que las aguas subterráneas son las más explotadas, sin embargo, dos factores contribuyen a disminuir el potencial de uso, por un parte, la existencia de la zona de riego de aguas superficiales y por la otra, el espesor de materiales granulares de menor permeabilidad que en las otras



zonas del acuífero. De maneras más específica, de acuerdo a información de INEGI dentro del municipio se presentan 24 aprovechamientos repartidos en 10 manantiales, 9 norias y 5 pozos.

Ciclos de recarga

Infiltración. Para la zona de Ameca y su zona de recarga, en un área de 1391 km², llueve 1336.61Mm³/año, la evapotranspiración es de 1003.38 Mm³/a, y el escurrimiento es de 144.418, por lo que la infiltración es de 188.81Mm³ anuales.

Balance de aguas subterráneas. Se han identificado salidas hacia el río Ameca a través de la red de flujo de la Figura 3.4.2.1, los valores del balance para la zona de Ameca se muestran en la Tabla 3.4.2.1.

Disponibilidad. La recarga total media anual de Acuífero Ameca es de 277.3 Mm³/año; mientras que la descarga natural comprometida es de 20.884 Mm³/año; finalmente la disponibilidad de agua subterránea es de 159, 435,312 m³.

3.5. Climatología

La climatología permite describir en forma estadística el comportamiento medio de las principales variables atmosféricas talas como temperatura, precipitación, humedad y presión atmosférica en un determinado lugar. A continuación se muestra la información de los tipos de clima obtenida de INEGI escala 1:250,000.

La variabilidad climática del municipio de Ameca comprende principalmente dos tipos de clima, la zona centro se encuentra caracterizada por un clima (A)C(w0), mientras que la parte norte y sur presentan un clima de tipo (A)C(w1), ambos tipos de clima son semicálidos subhúmedos del grupo C, con una temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C y temperatura del mes más caliente mayor de 22°C, la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2, y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Los climas de tipo C(w1) y Awo se encuentran poco representados dentro del municipio.

De acuerdo a series climáticas de CNA 1990-2009, la temperatura media anual del municipio fluctúa entre los 14 y 23°C, acorde a la topografía, las temperaturas menores (14–18°C) se reportan para las serranías ubicadas al norte y sur del municipio, mientras que los valores medios (19-20°C) se registran en las laderas montañosas, así mismo, las temperaturas mayores (21-22°C) se encuentran en la zona del valle y predominan respecto a la extensión territorial del municipio.

La temperatura media máxima absoluta registrada es de 35°C, presentándose en un área pequeña al oeste del municipio. Por su parte, la temperatura media mínima registrada es de 2°C, y está documentada para las zonas de mayor altitud ubicadas al sur y norte del municipio. La precipitación media anual del municipio corresponde a 900 mm para la zona centro, norte y sureste, y 1000 mm para la parte oeste, noreste y suroeste, así mismo, para estas zonas, el número de días con lluvia anuales es de 80 y 90 respectivamente. La precipitación máxima en 24 horas registrada para el municipio es de 175 mm en el oeste, 150 mm en el centro-oeste y 125 mm en el centro-este.



Respecto a los fenómenos climatológicos que inciden en el municipio, según el Atlas Estatal de Riesgo de Jalisco, el municipio de Ameca presenta una trayectoria de ciclones que corre por la parte noroeste del territorio, así mismo, el fenómeno de tormentas severas presenta un corredor ubicado en la parte centro-norte.

3.5.1. Vientos

Los vientos locales son producto de diferencias a pequeña escala en la temperatura y la presión del aire y afectan a la parte más baja de la atmósfera. El terreno afecta en medida considerable a los vientos locales. Cuanto más variado sea el terreno, mayor será su influencia. Tomando en cuenta lo anterior, y de acuerdo a las condiciones topográficas del municipio, se puede decir que el territorio municipal presenta un fenómeno denominado vientos de montaña diurnos, el cual incluye a los vientos ascendentes de ladera que comienzan en las laderas este en las primeras horas de la mañana y se desplazan a velocidades entre los 6 y 12 km/h; los vientos ascendentes del valle que alcanzan los 15 a 25 km/h entre la media tarde y finales de la tarde; vientos descendentes de ladera que comienzan según cae la noche y presentan velocidades entre los 3 y 8 km/h; y los descendentes de valle que son intensos en las noches despejadas y oscilan entre los 8 y 15 km/h (Figuras 3.5.1.1, 3.5.1.2, 3.5.1.3, 3.5.1.4). Por otro lado, los vientos dominantes son en dirección noroeste.

Respecto a la cabecera municipal, de acuerdo al grado de urbanización que esta presenta, la variación de la velocidad del viento expresada en porcentaje es de 45% (Figura 3.5.1.5.)

3.6. Uso de Suelo y Vegetación

Con el fin de desarrollar sus actividades, los seres humanos han transformado el entorno natural, ya sea para la construcción de viviendas o para el desarrollo de actividades económicas. La forma en que se utiliza la superficie del territorio, se conoce como uso de suelo. Este puede ser de tipo agrícola, industrial o forestal, entre otros. La cobertura vegetal original puede sufrir modificaciones de distintos grados. Cuando el cambio es total, este se define como cobertura antrópica, cuando la transformación es mínima o bien se mantienen aun rasgos importantes de su estado original, se le conoce como vegetación inducida.

La cobertura vegetal y el uso de suelo del Municipio de Ameca son muy diversos, esta diversidad se debe en gran parte a la alta heterogeneidad del espacio geográfico y a las actividades económicas que se han desarrollado históricamente modificando el entorno natural.

Debido al alto desarrollo de las actividades económicas y a su impacto sobre el entorno natural, el municipio presenta un alto grado de antropización. La cobertura con mayor extensión es la de cultivos, ocupando más del 50% de la superficie total. Este uso de suelo se distribuye a lo largo de toda la parte central del Municipio, e inclusive zonas con agricultura de riego ubicadas en las planicies y agricultura de temporal que se distribuye en las laderas de montañas, colinas y lomeríos y en ocasiones, en zonas de planicie.



Como unidad natural, el Municipio presenta una gran variedad de ecosistemas, producto de la alta diversidad del espacio geográfico que contiene. Sin embargo, dichos ecosistemas, se encuentran sometidos a una fuerte presión de deterioro. En la actualidad las zonas que presentan un menor grado de antropización son aquellas en donde aun se distribuye la vegetación natural, comprendida por formaciones de bosques, selvas, matorrales y pastizales naturales, los cuales representan una gran diversidad de tipos de vegetación e integran diversas comunidades vegetales. Sin embargo, los procesos de deterioro de la vegetación natural ocasionan cambios en la estructura y fisonomía de la vegetación primaria, dando lugar a la vegetación secundaria.

La distribución de la vegetación esta originalmente relacionada con la heterogeneidad del relieve en el territorio así como el clima. Los bosques se caracterizan por presentar un estrato predominante arbóreo, con una distribución altitudinal amplia, aunque debido a la presión antrópica están hoy en día confinados principalmente a las zonas altas de las montañas, los lomeríos y al parte aguas de la cuenca. Ocupan una superficie cercana al 27% del total del Municipio y se encuentran altamente fragmentados. Pese a esta situación, aun se observan grandes macizos boscosos que albergan una alta diversidad biológica. Los bosques se distribuyen en la zona de las montañas con climas secos, en donde se observa el bosque de latifoliadas (encinos), mientras que en las zonas más húmedas, se observan los bosques de coníferas (pinos) y los bosques de coníferas latifoliadas (pino-encinos).

Las selvas también se caracterizan por presentar un estrato arbóreo y arbustivo. El tipo de vegetación de selva caducifolia y subcaducifolia se refiere exclusivamente a la comunidad de matorral subtropical, que tiene una amplia distribución en lomeríos y colinas. Este tipo de vegetación se encuentra altamente fragmentado, y se presenta incluido en la matriz de cultivos agrícolas, o bien, rodeado por pastizales inducidos. El matorral se caracteriza por un estrato constituido principalmente de arbustos, su distribución en el Municipio barca poco menos del 16% de la superficie total y esta representado por el tipo de vegetación de mezquital y matorral xerófilo. Se localiza en las zonas secas del mismo.

El pastizal se caracteriza principalmente por su estrato herbáceo más no por un estrato arbóreo o arbustivo. En el Municipio se encuentra distribuido, ocupando el 8% de la superficie del territorio, principalmente en la zona centro. Originalmente, este tipo de vegetación aparecía en zonas entre los bosques y el matorral subtropical.

3.7. Áreas Naturales Protegidas

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son las zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas.

La función central de ANP es mantener la integridad de los ecosistemas (patrones y funciones) propios de una región. Las ANP además cumplen con otras funciones importantes: resguardan el germoplasma de la naturaleza, son reguladoras de los ciclos biogeoquímicos, aportan bienes y servicios, como la captación y



filtración de agua, la adsorción de contaminantes atmosféricos, la producción de oxígeno, la regulación térmica, la protección de los recursos del suelo, entre otras y, en el aspecto social, fungen como fuentes de inspiración y de esparcimiento.

Respecto a Áreas Naturales de carácter federal, el municipio de Ameca ocupa una pequeña parte (6692.639 Ha, 0.28%) de la Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit (2, 3828,975 Ha), esta zona, se encuentra en la categoría de Áreas de Protección de Recursos Naturales y considera, a las Subcuencas de los Ríos Ameca, Atenguillo, Bolaños, Grande De Santiago, Juchipila, Atengo y Tlaltenango. Respecto a la subcuenca del Río Ameca, esta presenta alrededor de 11 tipos de vegetación (bosque de pino, encino, selvas medianas, bajas, bosque de galería, bosque mesófilo de montaña, bosque espinoso, entre otros). Dentro de ella se han registrado 114 familias y más de 1,100 especies de plantas vasculares, así mismo, cuenta con especies que tienen distribución restringida, exclusivas de esta región y de las cuales 22 se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2001. Respecto a fauna se reportan 118 especies bajo alguna categoría de protección en la NOM-059. Entre sus servicios ambientales provee la recarga de mantos acuíferos para abastecimiento de centros de población como Puerto Vallarta y Bahía de Banderas, conservación de la biodiversidad, refugio de fauna, conservación de procesos ecológicos, protección de ecosistemas valiosos como el bosque mesófilo de montaña y recreación entre otros.

Por otro lado, la riqueza de ecosistemas y biodiversidad que alberga Jalisco, se encuentra representada en 18 Áreas Naturales Protegidas de carácter estatal. El municipio de Ameca ocupa 7508, 331 Ha (36.19%) de un total de 20,746.372 Ha del ANP Sierra del Águila, esta zona de protección, se encuentra bajo el carácter de protección hidrológica, ya que contribuye a la recarga de los mantos acuíferos, a la conservación de los afluentes que aportan sus caudales al Río Ameca y aporta agua a la Presa La Vega, así mismo, cuenta con vegetación de bosque de encino, pino, selva baja caducifolia y bosque de galería. Se reportan 45 especies de mamíferos, 104 especies de aves, 13 de reptiles y 2 de anfibios. De acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2001 presenta 3 especies de mamíferos, 14 de aves y 4 de reptiles.

Esta área se encuentra en conjunto con el área de protección Piedras Bola, de la cual en el municipio de Ameca recaen 163.34 Ha (63.8%) de un total de 256 Ha, esta área se encuentra bajo la categoría de Formaciones Naturales de Interés Municipal y engloba al Cerro de Ameca, la región alberga vegetación de Bosque Espinoso, Bosque Tropical Caducifolio, Bosque de Quercus, Bosque Mixto de Quercus y Bosque de Galería. Su riqueza faunística comprende 107 especies de aves, 19 de mamíferos mayores y 13 especies de reptiles.

La superficie total que se protege dentro del municipio es de 14,364.311 Ha, que representan el 17.11% del territorio de Ameca y el 0.17% del territorio de Jalisco.



3.8. Problemática Ambiental

La problemática ambiental aborda alguna situación o configuración de factores que amenaza el bienestar humano o la integridad del ecosistema, y que es percibida como tal por la sociedad o una parte de ella. En este sentido, la problemática ambiental del municipio de Ameca se aborda a partir de los aspectos mostrados a continuación.

Según el Modelo de Ordenamiento del Territorio del Estado de Jalisco, el Riesgo a la Erosión dentro del municipio, en relación con la topografía y los diferentes usos de suelo y vegetación, se presenta en un 17.6% (14,803.354 Ha) de su territorio, este riesgo está principalmente asociado al uso agrícola y al pastizal inducido, los cuales se desarrollan sobre los lomeríos, mesetas y llanuras.

Por otro lado, de los 27 aprovechamientos de agua muestreados por INEGI, 92% de los manantiales, 66% de las norias y 80% de los pozos, presentan una calidad del agua tipo C2-S1, de acuerdo a FAO esta clasificación considera un agua apta para el riego, de salinidad media y bajo contenido en sodio, aunque de acuerdo a INEGI presenta también un uso doméstico en el municipio. Los restantes porcentajes corresponden a las clasificaciones C3-S1 y C1-S1, la primera es también apta para riego, es altamente salina y baja en sodio con restricción de uso ligera a moderada, la segunda, presenta buena calidad para riego aunque con precauciones para plantas sensibles, ambas presentan uso doméstico.

Por su parte, el Índice Municipal de Medio Ambiente de Jalisco, el cual mide el estado del medio ambiente y los recursos naturales, con diferentes indicadores temáticos, respecto al Estado de los Acuíferos, al acuífero Ameca con una sobreexplotación baja, lo cual coincide, con el registro de un déficit de recarga igual a cero según lo mencionado en el DOF. Por su parte, el indicador de especies en la NOM-059 ubica al municipio con un valor bajo, lo que indica que presenta pocas especies en riesgo, comparado con municipios como La Huerta, Tomatlán, Cihuatlán. Respecto a residuos sólidos, el municipio muestra una participación baja, lo que refleja que la generación de sus residuos sólidos urbanos es menor con relación a la generación estatal, y con respecto a municipios como Guadalajara, Zapopan y Tlaquepaque.

Por otro lado, se realizó un análisis sobre la dinámica del cambio de uso de suelo que guarda el municipio, considerando coberturas de los años 1976, 1993 y 2000.

Si bien el sector industrial es el más desarrollado en el municipio, el cual, se concentra en áreas urbanas y rurales específicas, son las actividades agrícolas y ganaderas vinculadas al sector industrial las que ocupan la mayor superficie del municipio y por lo tanto, las que mayor impacto han tenido en el cambio de uso de suelo de la región. Los insumos cartográficos para el análisis del cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo provienen del INEGI, la metodología utilizada se encuentra descrita en Ibarra-Montoya et al., (2011).

Al realizar un análisis detallado del cambio de uso del suelo en el Municipio, se encuentra que puede ser englobado en cinco grandes procesos.



El primero y más importante por el área afectada, es la conversión entre coberturas antrópicas.

Los cambios más importantes dentro de este proceso se dan hacia la agricultura (39394 km²), equivalente al 47% de la superficie total del Municipio.

El análisis muestra que los cultivos en general presentan una tasa de cambio anual de 3.5%. Mientras tanto, los asentamientos humanos son la cobertura con la mayor tasa de cambio registrado para el Municipio. Este proceso se ha presentado en otros Municipios importantes de Jalisco.

Otro proceso importante es la deforestación y conversión de la vegetación natural hacia coberturas antrópicas. Las transformaciones principales son hacia los pastizales inducidos 7,089.248Km², los cuales representan el 8% de la superficie total del Municipio. Los bosques de encino y pino son los más afectados por este proceso, pierden un área que representa el 9% de la superficie total.

Un tercer proceso de cambio se da por la recuperación de la vegetación natural. Esto se realiza principalmente por el abandono de tierras agrícolas y pastizales inducidos que, al liberarse de la presión antrópica, dan paso a una sucesión secundaria. Las coberturas con mayor recuperación son las de matorral (13748km²) y los bosques de encino (608km²).

El cuarto proceso es la degradación de la vegetación natural y es el que ha tenido un mayor impacto en los remanentes de vegetación natural del Municipio. Se reconoce cuando los fragmentos de vegetación registrados como vegetación primaria en 1976, han cambiado en su estructura y fisonomía a vegetación secundaria para el año 2000. Los agentes de cambio vinculados a este proceso son, por un lado, el avance de la frontera agrícola, el avance de la actividad pecuaria de tipo extensivo que se practica en las áreas de vegetación natural. El quinto proceso es la degradación de los cuerpos de agua causado principalmente por las actividades humanas. El análisis anterior muestra que el Municipio se encuentra bajo un proceso acelerado de transformación de la cubierta del terreno.

Debido a lo anterior podemos decir de manera global que el municipio de Ameca presenta una problemática ambiental media-alta, considerando la integración de los aspectos anteriormente descritos.



CAPÍTULO IV. Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos

Con el fin de caracterizar el panorama demográfico, social y económico que guarda el municipio de Ameca se dividió su territorio en tres regiones geográficas, de acuerdo a la topografía que éstas integran, la cual, se sabe guarda una profunda interacción con el establecimiento de las poblaciones humanas. La Región Centro de Ameca comprende los lomeríos y las llanuras y abarca la parte central del territorio municipal, por donde corre el Río Ameca. La Región Sierras, por su parte, engloba parte del Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre Occidental ubicadas al norte y sur del municipio, respectivamente. Así mismo, la Región Mesetas abarca las altiplanicies ubicadas al suroeste y noroeste del municipio.

El municipio de Ameca, alberga a 57,340 habitantes (INEGI, 2000), de acuerdo a las tres regiones geográficas, la región Centro presenta 54, 910 habitantes, la Región Sierras 147 habitantes y la Región Mesetas 2,283 habitantes (Figura 4.1.1)

4.1. Dinámica demográfica

De acuerdo a datos de Censos Poblacionales (INEGI) para los años 1970, 1980, 1990, 2000 y 2010 el municipio presenta un incremento poblacional, principalmente en el periodo comprendido entre los años 1970 a 1990. Respecto a la proporción de sexos, para la década de los 70s la proporción de hombres fue mayor que las mujeres, mientras que para la década de los 80s la proporción era casi de 50% y 50% para cada sexo. Este fenómeno se revierte a partir de la década de los años 90s hasta el año 2010, en donde la proporción de mujeres es mayor que la de hombres. Esta tendencia coincide con el patrón demográfico que se presenta en la Región Valles del estado de Jalisco, zona a la cual pertenece el municipio de Ameca (COEPO, 2011), Figura 4.1.2.

4.2. Pirámide poblacional

Conocer la estructura de edades de los pobladores del Municipio, es un aspecto fundamental de un estudio demográfico ya que así se podrá saber cuántos niños, jóvenes, adultos y adultos mayores hay en las distintas regiones que conforman al Municipio. Con el conocimiento de esta información se podrá generar las políticas públicas que atiendan en forma correcta las necesidades de cada grupo de edad de la población. Una forma de analizar la estructura de edades de la población es a través de lo que se conoce como pirámide poblacional o pirámide de edades, donde en forma gráfica se muestra la distribución por edad y sexo de la población. Usualmente la edad se divide en grupos de cinco en cinco años.

Se observa en la pirámide poblacional para todo el municipio como para las tres regiones, un proceso gradual de envejecimiento de la población (Figuras 4.2.1, 4.2.2. y 4.2.3. y 4. 2. 4). El alargamiento de la sobrevivencia ha originado que cada vez más personas alcancen las edades adultas y la vejez. La disminución de la descendencia de las parejas, en cambio, ha proporcionado una continua reducción en el peso relativo de los niños y los jóvenes. Ambos efectos generan lo que se conoce como envejecimiento de la población y se muestra en la consecuencia de pirámides de población.



En la región de Mesetas, hay un mayor número de mujeres que hombres, un factor que contribuye a esta diferencia es la migración, ya que se sabe que en general en Jalisco la proporción de hombres que emigran es superior a la proporción de mujeres.

Otro factor que contribuye a que haya más mujeres que hombres es que, la esperanza de vida al nacer es mayor en las mujeres que en los hombres, esta diferencia se da a pesar de que en general nacen aproximadamente cinco por ciento más hombres que mujeres, como se muestra en los primeros renglones (edades de 0 a 18 años). Así, en los primeros grupos, son superiores en cantidad a los varones, destacando principalmente los menores de 15 años. Este fenómeno se da particularmente en las regiones Mesetas y Sierras.

Según la CONAPO (en COEPO 2008) para el estado de Jalisco, el envejecimiento demográfico provocará a largo plazo un creciente desbalance entre la población trabajadora y la edades avanzadas, lo que impondrá fuertes presiones a los sistemas de jubilación; implicará una cuantiosa asignación de recursos a los servicios de salud y seguridad social. Este fenómeno puede presentarse en el Municipio de Ameca en donde se presenta una pirámide poblacional similar a la presentada en el estado de Jalisco.

Respecto a la población con discapacidad, el 5.6% (3,241 habitantes) presenta esta condición, mientras que el 93.4% (53,568 habitantes) la población no presenta dicha condición (Figura 4. 2. 5)

4.3. Densidad de la población

La densidad de la población promedio del área que abarcan el municipio de Ameca es de 0.5 hab/ha, la región que presenta mayor densidad de población es la región Centro (1.33 hab/ha); la región Mesetas presenta una densidad de 0.2 hab/ha, mientras que la región Sierras tiene una densidad de 0.004 hab/ha (Figura 4.3.1).



4.4. Distribución de la población

Según información del Censo de Población y Vivienda 2010, la población que alberga el municipio, se concentra entre las edades de 15 a 64 años, que corresponde al 62% de la población total (35,613 habitantes), mientras tanto, la población que presenta el menor porcentaje (5%), corresponde al rango comprendido para las edades de 0 a 2 años (3,114 habitantes). Por su parte, el rango comprendido entre las edades de 12 a 14 años y 3 a 5, representan un 6% cada una, por último los rangos de 6 a 11 y 65 y más, representan un 12% y 9%, respectivamente (Figura 4.4).

4.5. Marginación y pobreza

Uno de los retos principales de la planeación del desarrollo es atender los rezagos de la población. Para ello se requieren diagnósticos adecuados que permitan focalizar acciones en aquellos asentamientos con mayores carencias, considerando tanto a pobladores como a la comunidad misma. En este contexto el índice de marginación es una medida resumen que permite diferenciar entidades federativas, municipios y localidades según el impacto global de las carencias que padece la población y mide su intensidad espacial como porcentaje de la población que no participa del disfrute de bienes y servicios esenciales para el desarrollo de sus capacidades básicas.

La construcción del índice para las regiones que componen el Municipio de Ameca considera cuatro dimensiones estructurales de marginación: falta de acceso a la educación (población analfabeta de 15 años o más y población sin primaria completa de 15 años o más), residencia en viviendas inadecuadas (sin disponibilidad de agua entubada, sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo, con piso de tierra, sin disponibilidad de energía eléctrica y con algún nivel de hacinamiento), percepción de ingresos monetarios insuficientes (ingresos hasta 2 salarios mínimos) y residir en localidades pequeñas con menos de 5 mil habitantes.

En la Figura 4.5.1 se presenta el índice de marginación para las distintas regiones en las que se ha dividido el Municipio de Ameca, se observa que la región de Sierra se ubica con un grado de marginación medio (-1.16), mientras que el Municipio de Ameca presenta un grado de marginación alto (-0.70), junto con las regiones Centro (-0.59) y Mesetas (-0.34).

4.6. Hacinamiento

Las viviendas ocupadas se clasifican en particulares y en colectivas. Las particulares son las destinadas al alojamiento de una o más personas que forman uno o más hogares. Las viviendas colectivas son las destinadas al albergue de personas por motivos de asistencia, salud, educación etc. El total de viviendas para el Municipio de Ameca es de 19,935, distribuidas en las tres regiones, la región Centro tiene un total de 18,812, la región Sierras tiene 1,061 y la región Mesetas solamente 62 viviendas. El promedio de ocupantes en viviendas habitadas para el Municipio es de 2.4.



Respecto al hacinamiento, este también es un indicador importante en términos de calidad de vida. De acuerdo con las cifras del Censo de Población y Vivienda 2010, el promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas para todo el municipio es de 0.69. En la Región Mesetas este indicador incrementa 0.80, mientras que para la Región Sierras y Centro, el promedio es de 0.75 y 0.68, respectivamente (Figura 4.6.1). Los datos anteriores indican que la población no se encuentra en circunstancias de hacinamiento.

4.7. Escolaridad

La escolaridad se describe como el número de personas de distintas edades que asisten a la escuela. En la figura 4.7.1, se muestran los porcentajes de escolaridad de las diferentes edades de las personas en las distintas regiones del Municipio. Se observa un patrón de porcentajes similar al de otros Municipios dentro del Estado de Jalisco. En las primeras etapas de vida los niños (edades de 6 a 11 años) presentan un alto porcentaje de asistencia a la escuela, en las tres regiones; para las edades de 12 a 14 años el porcentaje es muy parecido excepto en la región de Mesetas donde hay un porcentaje del 40% de niños que no asisten a la escuela mientras que el resto si lo hace. En las etapas de 15 a 17 años los porcentajes de asistencia y no asistencia a la escuela varían entre las regiones. En la región Centro hay un 66% de asistencia; en la región Sierras se presenta un 55% y en la región Mesetas un 33%. Es probable que este patrón se deba a que muchos de estos jóvenes (edades 15 a 17 años), ya se integran a la economía del Municipio, sobre todo en la región Centro, sin embargo en la región Mesetas es posible que el aumento de porcentaje de no asistencia (67%) se deba al fenómeno de vivir en pareja y tener que trabajar para subsistir, ya sea en el país o fuera de este, como el caso de los que migran a los Estados Unidos de Norte América.

En la escolaridad general descrita para las tres regiones del Municipio, hay porcentajes de escolaridad similares entre los que asisten a la escuela y los que no lo hacen.

4.8. Principales actividades económicas en la zona

Las principales actividades económicas del municipio de Ameca actualmente son la ganadería y la agricultura, así mismo, en el ramo industrial destacan, por su importancia, el ingeniero azucarero, la distribuidora de Coca-Cola y la industria forrajera. Por su parte, la cabecera municipal cuenta con un gran número de locales comerciales de diferente índole, los cuales son parte importante de la economía de la ciudad, el total de establecimientos es de 2237. De igual manera, la localidad de El Cabezón presenta actividad comercial, aunque en menor escala, con un total de 106 establecimientos fijos. El tipo de actividad que ejercen los establecimientos, considerando ambas localidades, pertenece principalmente a la categoría de comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas, (Figura 4.8.1.), seguida de restaurantes (incluye comida rápida), salones, clínicas de bellas y peluquerías, etcétera; en la Figura 4.8.2 se muestran las 20 principales actividades de ambas localidades, así mismo en las Figuras 4.8.3. y 4.8.4 se muestran las 10 actividades principales para la cabecera municipal de Ameca y la localidad El Cabezón.



4.9. Características de la población económicamente activa

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010 la población económicamente activa del municipio corresponde al 36.7% respecto del total poblacional (57,340 habitantes), de los cuales el 26.6% pertenece a varones y 10.1% a mujeres (Tabla 4.10. 1). Así mismo, la Región Centro es la que presenta la mayor cantidad de población económicamente activa, seguida de la Región Sierras y la Región Mesetas (Figura 4.9.1). Respecto a la población no económicamente activa, del total poblacional el 36.4% coincide con este indicador, abarcando un 10.2% los varones y 29.2% las mujeres (Tabla 4.10.2). De igual forma, para este indicador la Región Centro presenta la mayor población, seguida de la Región Sierras, con una proporción baja, y la Región Mesetas con una proporción casi nula (Figura 4.9.2).

Por otro lado, la población ocupada corresponde al 35% respecto del total poblacional del municipio, abarcando los varones un 25% y las mujeres un 10% (Tabla 4.10.3), así mismo, la Región Centro alberga la mayor población de este indicador, mientras que la Región Sierras concentra una pequeña parte, quedando por último, pobremente representada, la Región Mesetas (Figura 4.9.3). Respecto a la población desocupada, únicamente un 1.7% coincide con este indicador, abarcando un 1.5% los varones y un 0.2% las mujeres, para este indicador la Región Centro es la mejor representada, mientras que las Regiones Sierras y Mesetas están pobremente representadas (Figura 4.9.4).

4.10. Equipamiento y servicios

Según el Indicador de Conectividad Municipal y Regional 2011 del Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco, el municipio de Ameca presenta una conectividad media, lo cual indica, con respecto al año 2009, que en el municipio no se han construido nuevos tramos carreteros en un periodo de dos años, así mismo, aunque el municipio muestra una tendencia a aumentar su grado de conectividad, esta es poco significativa.

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010, el municipio de Ameca cuenta con un total de 15,518 viviendas particulares habitadas, de las cuales respecto a servicios básicos, el 98.5% cuenta con luz eléctrica, el 96.9% disponen de drenaje y el 90.1% disponen de agua entubada. En conjunto, el 88% de las viviendas disponen de luz eléctrica, agua entubada y drenaje (Tabla 4.10.4, Figura 4.10.1). Tomando en cuenta las tres regiones geográficas en las que se dividió el municipio, la Región Centro es la que alberga un mayor número de viviendas y por consiguiente una mayor proporción de servicios básicos, respecto de las Regiones Sierras y Mesetas (Figura 4.10.2.).

Respecto a los servicios de salud, el 67.2% de la población total del municipio cuenta con derechohabiencia, mientras que un 32% no cuenta con este servicio. Respecto a la población con derechohabiencia, el 30.29% recibe este servicio por medio del IMSS, mientras que el 28.3% lo recibe del Seguro Popular o del Seguro Médico de Nueva Generación, por su parte el ISSSTE brinda servicio médico a 6.17% de la población derechohabiente, por último, el 0.11% de la población recibe el servicio por medio del ISSSTE estatal (Tabla 4.10.5, Figura 4.10.3). Así mismo, las tres regiones geográficas del municipio muestran notables diferencias



respecto a la población derechohabiente e instituciones que prestan el servicio, la Región Centro por su parte, al albergar mayor población, es la que presenta más derechohabientes, así como instituciones de salud, respecto de las Regiones Sierras y Mesetas (Figura 4.10.4).



CAPÍTULO V. Identificación de riesgos, peligros y vulnerabilidad ante fenómenos

perturbadores de origen natural

5.1.1. Fallas y Fracturas

La evolución geológica del occidente de México se ha desarrollado en un ambiente muy dinámico a lo largo de su historia, debido a la continua interacción de las placas oceánicas de Rivera y de Cocos por debajo de la placa continental (Bourgeois et. al., 1988; Luhr et al., 1985; Atwater, 1970). En este ambiente se encuentra situado el Municipio de Ameca.

Introducción

Desde hace casi tres décadas, en el poblado de Ameca se han venido presentando una serie de hundimientos y fracturamientos a nivel superficial, mismos que se han venido agravando en los años más recientes. A partir de la detección de viviendas agrietadas, se ha identificado que existe un patrón de daños; es decir, los fracturamientos definen trazas rectas en la superficie, con direcciones similares a las fallas regionales. El sistema de fallas corta diagonalmente la zona urbana de Ameca.

5.1.1.1. Sistemas de fallas regionales

La región occidental de la Faja Volcánica Transmexicana está dominada por amplios valles y cadenas montañosas. Las orientaciones principales de los valles (depressiones formadas por la subsidencia de una porción de la corteza terrestre) importantes son E-W (graben de Chapala), N-S (graben de Colima) y NW-SE (graben de Tepic). En la región norte del Bloque Jalisco existen tres valles, a saber: de Amatlán de Cañas, Ameca y Zacoalco con una dirección general NW-SE. Por otra parte, existen varios grupos de volcanes que forman cadenas montañosas cuya dirección es N45°W. Este alineamiento de volcanes indica un sistema de fracturas en la corteza.

La ciudad de Ameca se asentó en una planicie con una altura menor a 1 300 msnm. El límite norte de esta depresión lo forma la Sierra de la Laja, cuya base está constituida por un granito de 76 ± 6 Ma (Grajales-Nishimura y López-Infanzón, 1983), conglomerados y areniscas del cretácico tardío. Al oriente, el valle de Ameca está limitado por rocas volcánicas del plioceno tardío sobre las que fluyeron andesitas y basaltos del cuaternario. Finalmente, también aflora una secuencia volcanosedimentaria inclinada 10°NE. El límite norte del valle de Ameca es un escarpe de dirección E-W cuya longitud es de 30 km, que hacia el oriente cambia a una dirección N35°W.

A través de la interpretación del Modelo Digital del Terreno (MDT), se han identificado por lo menos tres sistemas de fracturas principales; uno de orientación NO-SE, otro W 3110, y el tercero NE-SW. En las inmediaciones de la población de Ameca el principal sistema, de dirección NW-SE, corresponde con el contacto entre el frente montañoso y el valle. El desnivel que alcanza este sistema es por lo menos de 900 m. El segundo sistema es en sentido W 3110, ubicado al centro de la población, se han sentido fuertes movimientos durante eventos sísmicos. Tiene una longitud aproximada de 500 m. El tercer sistema es en



sentido NE-SO y no afecta considerablemente los sedimentos fluvio-lacustres (García, 2004). Se ha considerado en el análisis el fallamiento que incide sobre el Municipio de Ameca, considerando que las estructuras geológicas rebasan el territorio municipal (figura 5.1.1.1.)

A nivel de la cabecera municipal, se han presentado en los últimos años una serie de fracturamientos del suelo, los que han dañado las viviendas en el área urbana. La zona de daños recorre en sentido noroeste sureste en la población. La manifestación del fenómeno se observa a manera de líneas (grietas).

Los fallamientos relacionados a la presencia de fracturamientos, se ha asociado una serie de variables como el fenómeno de extracción de agua, sobreexplotación de acuíferos, problemas sísmicos, de mecánica de suelos, cambios climáticos, condiciones geomorfológicas, a esto se añan también problemas derivados de la infraestructura como; fugas en la red de agua potable por falta de mantenimiento, sobrepresión, o la calidad de los materiales, por lo tanto es complejo entender en toda sus dimensiones la participación de las variables en la formación de las grietas y su relación con los fallamientos regionales.

El trabajo que se ha desarrollado en base a las investigaciones realizadas en el fenómeno para el Municipio de Ameca, ha consistido primeramente en hacer una investigación de las estructuras geológicas regionales y locales que pueden considerarse de peligro para el Municipio, e identificar el patrón espacial de fracturamiento y fallamiento. De estos se obtuvo que existen líneas preferenciales de los mismos, lo que está indicando que existe un control tectónico. La orientación de las líneas manifiestan las mismas direcciones NO-SE que el sistema de fallas dominante. Por lo que se considera que son líneas de fallas activadas por fenómenos de sobreexplotación del acuífero y la actividad sísmica. Otros problemas como fugas en la red de agua potable, así como falta de un reglamento de construcción agrava la situación ya de por si delicado del agrietamiento de las viviendas.

5.1.1.2 Sistema de grietas y fallas en el Cabecera Municipal

La investigación de estudios realizados en el Municipio de Ameca, ha permitido inferir gran parte del sistema de fracturas de la zona de estudio. Sobre este inventario se ha identificado que los fallamientos presentan ciertas direcciones preferenciales, y éstas a su vez están controladas por estructuras geológicas del paquete fluvio-lacustre.

El estudio de detalle geológico está enfocado a la determinación del sistema de fallas geológicas dentro del área del Municipio y su extensión dentro de la zona urbana de Ameca. Con los criterios de interpretación como son longitud y orientación, se obtuvieron los lineamientos de fallas geológicas regionales que en su conjunto se representan en tres zonas de falla (Figura 5.1.1.2).

- Falla El Borracho – Ameca
- Falla La Blanca
- Falla La Barranca

Falla El Borracho – Ameca



Se encuentra dentro de un patrón de lineamiento estructural de orientación NW 50° SE y ha sido denominada previamente como falla El Borracho (SGM, 2005), si bien esta estructura se extiende en la zona urbana de Ameca lugar donde se ha efectuado un trabajo de campo de mayor detalle para caracterizar a las estructuras de fallas; la misma, tiene una longitud de 9 km que va desde el poblado de La Villita hasta el Río Ameca y presenta variaciones de rumbo NW 60° SE en La Villita hasta NW 45° SE, concretamente en la localidad de Corralillo. Localmente tiene 12km de extensión hacia el occidente y fuera del área de estudio. En la zona urbana afecta a los materiales de coluvión y aluvión del valle y se continúa a profundidad en el subsuelo de la ciudad de Ameca, al menos a una profundidad de 200 metros según se ha interpretado con base en los registros geofísicos de los trabajos previos de pozos de agua (SGM, 2005).

En la zona urbana se identificaron 16 segmentos de fallas, que en conjunto son ligeramente paralelas y definen una fosa tectónica alargada, de 4 km de longitud y 1.5 km de ancho que siguen al oriente por el valle de Ameca y se continua hasta el barrio La Esperanza. La interpretación regional y el detalle de trabajo de campo geológico se ajustaron a los puntos de verificación de sitios de hundimiento lo que permitió establecer en campo la correlación entre los hundimientos y agrietamientos con respecto a las fallas geológicas. La falla El Borracho fue reconocida en la localidad de Los Morillos, como una falla lateral de movimiento derecho, en el sentido de las manecillas del reloj; así como, los patrones de fracturas de presión y tensión que muestra la distribución regional de las estructuras fuera de la zona de estudio. En ésta localidad, la falla tiene orientación NW 50° SE y corta cuerpos de roca de conglomerado polimíctico, riolita y andesita con el bloque hundido al sur, en el valle de Ameca. La falla fue verificada en su continuidad hacia el oriente, en las localidades de los bancos de material, Arroyo Hondo y Corralillo. En estas localidades, la falla corta a cuerpos de roca de conglomerado polimíctico y cuerpos intrusivos de granito y granodiorita. Las medidas estructurales de los planos de falla que comprende rumbo azimutal y echado se procesaron para obtener la representación estadística de las direcciones de esfuerzo, con lo cual se determinó que las marcas de estrías en el plano de falla tienen una dirección NE 40° SW y el plano de falla principal tiene un azimut de 355° y una inclinación de 80°. Con estos elementos se construyó la solución de plano de falla en cual se ha determinado que la falla, en la sección de Los Morillo es de tipo lateral con un componente normal (con dirección de esfuerzo de presión tectónica en dirección NE 84° SW).

La continuidad de la falla El Borracho se presenta en el valle de Ameca, en la localidad del banco de material Corralillo y en la intersección con el curso del Río Jalolco, de éste último modifica su curso con cambios de dirección que denotan la presencia en superficie de dicha estructura. En ésta porción del valle se ha denominado como “falla Ameca” a la continuidad de la falla El Borracho, ya que se prolonga al oriente y pasa por la zona urbana de Ameca, de una forma rectilínea y tectónicamente activa. En el arroyo Jalolco no se reconocieron planos de falla porque los materiales granulares de coluvión grueso se reacomodan y no dejan un rastro de un plano de falla, sin embargo, en los materiales finos de los suelos fue posible observar cambios en los espesores de arcillas que son parte del horizonte “c” del suelo, en contacto con la roca madre que es el coluvión denominado coluvión de Ameca.



Falla la blanca.

Se localiza al norte de los ranchos Hacienda Blanca y La Granja con una orientación NE 45° SW y una longitud de 6 km. La falla La Blanca es de tipo normal, con el bloque caído en la porción oriental, en el valle de Ameca. Esta estructura corta cuerpos de roca de conglomerado polimíctico, arenisca, andesita y cuerpos intrusivos de granito y además desplaza a las fallas El Borracho y La Barranca, las cuales, durante algún tiempo geológico eran una sola estructura. La falla La Blanca fue verificada en la localidad del banco de material El Corralillo. Se construyó la solución de plano de falla con el cual se ha determinado que la falla, en la sección de Hacienda Blanca y El Corralillo es de tipo normal con dirección de esfuerzo de presión tectónica en dirección NW 86° SE con 76° de inclinación (SGM, 2005).

Falla la barranca.

En la localidad de El Portezuelo, al norte de la localidad de Buenos Aires, fue reconocida la falla La Barranca, la cual tiene orientación NW 50° SE, con 10 km de extensión y se continúa hacia el oriente y fuera del área de estudio. Esta estructura corta cuerpos de roca metamórfica de tipo filita y esquisto, cuerpos de roca ígnea de tipo andesita y basalto de olivino; así como, rocas intrusivas del tipo de granito y granodiorita. Las marcas de estrías de los planos de falla tienen una dirección NW80° SE mientras que el plano de falla principal tiene un azimut de 175° con 82° de inclinación. Con estos elementos se construyó la solución de plano de falla (figura 5.2.1.2) que muestra que esta estructura es de tipo normal con un pequeño componente lateral para el tramo occidental de la estructura en la sección de El Portezuelo, con dirección de NE 85° SW del plano y 86° de inclinación. La dirección del esfuerzo tectónico máximo es NW84° SE con 86° de inclinación (SGM, 2005).

Los hundimientos definen trazas rectas en la superficie con direcciones similares a las fallas regionales, aunque en algunos sectores como el centro oriente este hecho no está muy claro. El *trend* estructural está compuesto por 65 segmentos, la falla principal (maestra) corresponde con el trazo que va paralelo a la calle Toluquilla (figura 5.2.1.3), marca el contacto entre el piedemonte y la planicie fluvial, tiene una longitud aproximada de 1 350 m con una anchura de 50 m y una orientación NW-SE. En algunas secciones el hundimiento llega a los 35 cm, afecta severamente las construcciones y la infraestructura.

El segundo sistema tiene una orientación N-S, la longitud del trazo es menor, de aproximadamente 550 m con una anchura de cerca de los 200 m, el desnivel entre el bloque hundido y el levantado llega a ser de más de 25 cm. La edad del hundimiento, de acuerdo con algunos reportes que se han obtenido, es de 25 años. El tercer sistema presenta una orientación E-O, se manifiesta al poniente, centro y suroriente de la ciudad, es un sistema sísmicamente activo, que se ha manifestado en los eventos de 1995 y 2002. Posee una longitud de 1 000 m y se han registrado daños muy severos a las construcciones, particularmente con el sismo de 1995.



5.1.1.3. Rasgos geométricos de los sistemas de fracturas

Con base en la interpretación de la ortofoto digital, del modelo digital de elevación así como la imagen de satélite Landsat se obtuvieron las fracturas regionales de la zona de estudio cubierta por la ortofoto digital. Se obtuvieron 215 fracturas que afectan principalmente a las rocas ígneas de las sierra Cerro Grande de Ameca y El Ocotillo. En la región de Cerro Grande se tienen dos sectores de sistema de familias, el primero en el sector de El Portezuelo, los fracturamientos relacionados a la presión tectónica, tienen una orientación NE – SW en direcciones principales comprendidas entre 10° y 40° mientras que las trayectorias de fracturas relacionadas a la tensión tectónica es NW – SE, con direcciones que van de 50° a 70° . Para el segundo sector, al norte de Bueno Aires, los fracturamientos relacionados a la presión tectónica tienen una orientación NE – SW en direcciones principales comprendidas entre 15° y 50° mientras que las direcciones de fracturas relacionadas a la tensión tectónica es NW – SE, con direcciones que van de 50° a 70° .

En la zona del Cerro El Ocotillo, en el sector de Hacienda Blanca, el fracturamiento relacionado a la presión tectónica tiene una orientación NE – SW con direcciones que van de 5° a 40° mientras que las fracturas relacionadas a la tensión tectónica tienen orientaciones noroeste – sureste (NW – SE) con direcciones que van de NW 60° SE a NW 90° SE. En ésta región las fracturas afectan a los cuerpos de rocas de conglomerado polimíctico, arenisca – limolita y granito – granodiorita. En la zona del Cerro El Ocotillo, en el sector de Los Morillos, el fracturamiento relacionado a la presión tectónica tiene una orientación noroeste – sureste (NW – SE) con direcciones que van de NW 45° SE a NW 55° SE mientras que las fracturas relacionadas a la tensión tectónica tienen orientaciones noreste – suroeste (NE – SW) con direcciones que van de NE 0° SW a NE 30° SW. En ésta región las fracturas afectan a los cuerpos de rocas de conglomerado polimíctico, andesita y granito – granodiorita.

Con las fracturas regionales se obtuvo un modelo de zonificación por fractura geológica basado en un modelo matemático de cálculo de frecuencia espacial o número de fracturas por kilómetro cuadrado. Este modelo demuestra que las zonas de las sierras El Ocotillo y Cerro Grande de Ameca son las regiones más fracturadas con concentraciones altas de 4 a 5 fracturas regionales por kilómetro cuadrado. Por una parte significa que las rocas más duras y competentes se comportan como rocas frágiles respecto a los esfuerzos tectónicos; y por otra, que el fracturamiento regional denso contribuye a incrementar la porosidad secundarias de las rocas y materiales lo cual favorece la infiltración de agua superficial en el subsuelo.

5.1.1.4. El papel del agua en los agrietamientos y activación de fallas

De acuerdo con Garduño et al. (1999), los hundimientos asociados a la presencia de lineamientos se han convertido en un tema de discusión muy importante, ya que están relacionados con fenómenos de extracción de agua, sobreexplotación de acuíferos, eventos sísmicos, mecánica de suelos, cambio debido a fugas en la red de agua potable; esto sucede, por lo menos, en las calles de Venustiano Carranza y E. Bocanegra.



5.1.1.5. Los hundimientos y la extracción del agua del acuífero regional.

El hundimiento y la generación de desniveles, en muchas zonas del país, se han asociado con la extracción de agua de los acuíferos, lo que genera el llamado *creep*, es decir, falla-fluencia. En la zona de estudio se considera que este fenómeno participa de una manera importante, a través del reacomodo de las capas del subsuelo, lo que se manifiesta en los hundimientos.

5.1.1.6. Hundimientos y la presencia de túneles.

Circunstancialmente, ciertos sectores de la población han asociado algunos hundimientos con la presencia de túneles que datan de principios del siglo XX, los cuales fueron excavados con el objeto de movilizarse dentro de la población. Pero este hecho sólo afecta algunas construcciones cercanas a los túneles.

De forma preliminar, se puede considerar que las zonas de más alto peligro corresponden con los siguientes rasgos: bordes de las fallas principales, bordes de las fallas escalonadas, bordes de las zonas de pilar, zonas de presencia de aguas debido a manantiales, norias, fugas en la red, suelos altamente deformables (lecho de inundación del Río Ameca). Se ha observado una tendencia relativamente clara en el sentido del crecimiento de las grietas, ya que se han identificado nuevas viviendas con grietas al suroriente de la población. La zona que va de la calle de Las Flores, al sur, hasta Independencia, al norte, pudiera ser la zona de mayor afectación. La grieta principal, paralela a la calle de Toluquilla, ha presentado un crecimiento al sur, lo que ha afectado a construcciones en el centro de la población, a espaldas de la plaza y del templo. Recientemente se ha visto el crecimiento de nuevas fallas en la zona centro de la ciudad, donde se ha identificado un hundimiento de 15 cm en menos de nueve meses.

5.1.1.7. Sobre la zona de estudio

La cabecera municipal registra una diversidad de usos del suelo y actividades urbanas, donde predomina el uso habitacional, que en buena medida se han visto afectadas por rasgos tectónicos. Por tal motivo, lo que se busca dentro de este análisis de identificación del peligro por fallamiento, entre otras cosas, es identificar el grado de exposición de las personas y bienes. Para ello se ha considerado primordial dar respuesta a tres interrogantes: ¿qué puede ser afectado?, ¿cómo puede ser afectado? y ¿cómo se eliminarán o reducirán los niveles de peligro?

¿Qué puede ser afectado?

El inventario (casa por casa) que hasta la fecha se ha realizado abarca 40 por ciento de la cabecera municipal; alrededor de 1 000 viviendas presentan problemas de grietas, y unas 5 000 personas se encuentran expuestas a algún grado de peligro.



¿Cómo puede ser afectado?

Anteriormente se habló sobre las posibles consecuencias de un desastre debido a la presencia de algún fenómeno natural peligroso. En este apartado se hará referencia a las causas y actores sociales que han dado lugar a la conformación de zonas de peligro.

1.- En el municipio existe una enorme brecha entre las responsabilidades que se deberían asumir y los recursos (económicos, técnicos, humanos) disponibles. En la práctica, las anteriores administraciones se limitaron a tratar de garantizar en el corto plazo algunos servicios públicos básicos; dejando de lado actividades de mediano y largo plazo: planificación del desarrollo, regulación de usos del suelo, gestión del riesgo y, en general, la gestión de la sostenibilidad en todo el sentido del término.

2.- Desde hace dos años, cuando se inició el estudio de riesgos en el municipio de Ameca, se encontraron algunos obstáculos que han impedido su desarrollo y conclusión, pero que además han imposibilitado que el municipio asuma plenamente su papel autónomo, como célula básica de la gestión de lo público, y nos referimos a: la alta rotación y poca capacitación de sus funcionarios, limitaciones presupuestales, dificultades normativa y de trámites, vicios burocráticos y visión de corto plazo.

3. Sin embargo, bajo el actual gobierno municipal la tendencia indica la búsqueda de un fortalecimiento local y una participación activa de la población. Esto necesariamente requiere del apoyo incondicional e inmediato de los otros niveles de gobierno, con el objetivo de fortalecer la autonomía y la capacidad de acción y decisión del municipio.

¿Cómo se eliminarán o reducirán los niveles de riesgo?

Un desastre representa elevados costos en términos sociales, demográficos, económicos y políticos. En esencia, un desastre es una crisis social. Si bien es cierto que no se tiene la capacidad de prevenir los fenómenos físicos, sí podemos construir los escenarios y las condiciones adecuadas para poder mitigar el impacto de estos eventos a través de una preparación adecuada. Aquí valdría la pena preguntarse si el municipio está preparado para enfrentar un eventual desastre, ¿qué actividades, prácticas, interacciones, relaciones, etc. se han planeado o realizado a corto o largo plazo, dirigidas a mejorar el patrón de respuesta durante el impacto de un desastre?

La preparación para eliminar, reducir o mitigar los riesgos por fallamiento inicia con la elaboración de mapas de riesgos, lo que incluye los mapas de amenazas y vulnerabilidad. Éstos constituyen una herramienta de gran utilidad, ya que sirven para la elaboración y ejecución de políticas públicas para la población más necesitada; asimismo, permiten obtener información y un diagnóstico de los riesgos por fallamiento. Además, en el ámbito de la planeación territorial, sirven de base para definir el *plan de desarrollo* y tomar decisiones en aspectos tales como:

- Definir zonas de expansión urbana.



- Determinación sobre los usos del suelo.

- Formulación e integración de programas de prevención y mitigación.
- Elaborar las políticas de ordenamiento y reordenamiento territorial

Comentarios:

1.- La población de Ameca está siendo afectada por un conjunto de fallas y hundimientos diferenciales. El problema se ha acentuado a partir de los últimos tres años. Generalmente, este tipo de fenómenos se relacionan con actividades como extracción de agua en los acuíferos, lo que produce la reactivación por *creeping* del sistema de fallas preexistentes.

2.- Los fallamientos siguen un patrón estructural en sentido NO-SE, aunque existen otros patrones menores E-O. El bloque hundido siempre corresponde con el que está en el sur.

3.- Los hundimientos más antiguos corresponden a la década de 1980. Actualmente, se está presentando un crecimiento de las grietas de Ameca en sentido Noroeste-Sureste. Existen algunas zonas críticas en las que se han medido hundimientos de más de 15 cm.

4.- La magnitud del daño ha hecho necesario que se identifiquen las viviendas con mayor daño, así como las zonas más activas, con el objeto de establecer una política inmediata de reubicación, con el fin de no exponer a la población a sufrir daños por colapsos de su vivienda.

5.1.2. Sismos

5.1.2.1. Antecedentes

5.1.2.1.1. Conceptos básicos

¿Terremoto?, ¿Temblor? ¿Sismo?, como quiera llamársele este es tal vez el fenómeno natural más catastrófico que existe, en adelante nos referiremos a él como sismo.

Quien haya presenciado un sismo de gran intensidad nunca lo olvidará. La Tierra se estremece, los edificios oscilan y tiemblan, los automóviles chocan en las calles, se producen incendios, los árboles y los postes caen, y por doquiera existe pánico. Casi todas las víctimas se encuentran indefensas ante tal demostración de fuerza.

Pero ¿Qué son los sismos?, ¿Por qué, Dónde y Cuándo ocurren?, estas interrogantes tienen una respuesta que quizá algún día nos lleven a descifrar y predecir el fenómeno.

La palabra sismo proviene del griego “seismo” que quiere decir sacudida. Por otra parte la sismología define sismo como el rompimiento repentino de las rocas.

En el interior de la Tierra ocurre un fracturamiento súbito cuando la energía acumulada excede la resistencia de las rocas, originando una liberación de esfuerzos repentina. Al ocurrir la ruptura, se propaga una serie de ondas que al llegar a la superficie de la Tierra y que lo sentimos como un sismo.



Los sismos son perturbaciones súbitas en el interior de la tierra que dan origen a vibraciones o movimientos de la roca y el suelo; la causa principal y responsable de la mayoría de los sismos es la ruptura y fracturamiento de las rocas en la corteza terrestre, como resultado de un proceso gradual de acumulación de energía debido a los fenómenos geológicos que forman la superficie de la tierra, dando lugar a la formación de grandes cadenas montañosas. En la figura 5.1.2.1, se puede apreciar varios procesos graduales que culminan con una liberación de energía, la cual se traduce en un evento sísmico ó en la formación de volcanes.

Generalmente los sismos ocurren en zonas de debilidad de la corteza terrestre que en sismología se denominan fallas geológicas. Existen también sismos menos frecuentes causados por la actividad volcánica en el interior de la Tierra.

El fenómeno sísmico es similar al hecho de arrojar una piedra en un charco de agua; en este caso, la energía liberada por el choque de dicho objeto con la superficie del agua se manifiesta como una serie de ondas, que se alejan en forma concéntrica de donde cayó el objeto. En forma análoga las ondas sísmicas se alejan de la fuente propagándose por el interior de la Tierra, produciendo vibraciones en la superficie.

Los sismos se producen de manera periódica, es decir, que donde se presentó un sismo seguramente habrá otro por lo menos con la misma fuerza. Lo que no se puede determinar es en que momento sucederá. Las fuentes sísmicas están produciendo sismos constantemente aunque no todos de gran poder. Hay alrededor de quinientos mil movimientos sísmicos por año en todo el mundo, de los cuales solo unos cien mil son percibidos por el hombre, y de ellos solamente un millar llegan a causar daños.

Los sismos, a través de la historia, han representado pérdidas materiales y aún peor la pérdida de vidas para la humanidad. Se debe tomar mayor conciencia del fenómeno, ya que a falta de eventos importantes la conciencia sísmica se va perdiendo.

5.1.2.1.2. Ondas sísmicas

Ante la acción de una fuerza instantánea, muchos materiales del terreno se comportan de forma aproximadamente elástica. Este comportamiento se traduce en la aparición de vibraciones que se propagan a través de los materiales como ondas sísmicas cuyo frente se desplaza radialmente a partir del punto de aplicación de la fuerza. En este proceso se generan muchos tipos de ondas diferentes, pero para el interés de los estudios de riesgo sísmico hay cuatro tipos básicos de ondas: dos que se propagan dentro de los materiales y otros dos que viajan siguiendo el contacto entre el material y la superficie del suelo. Las ondas de los dos primeros tipos son las que se denominan ondas de cuerpo, y las dos últimas son las ondas superficiales.

La velocidad de propagación de estas ondas depende de la densidad y de las propiedades mecánicas de los materiales, a través de los cuales se propagan y, normalmente, crece al aumentar la densidad. El movimiento de las partículas, que da lugar al paso de las ondas, depende del tipo de éstas y de los módulos elásticos de los materiales.



Las ondas longitudinales o compresionales (ondas "P"), (figura 5.1.2.2.a), se propagan dentro de los materiales, produciendo, alternativamente, compresiones y dilataciones y dando lugar a un movimiento de las partículas en la dirección de propagación de la onda. Las ondas P son las que tienen una mayor velocidad de propagación, para un material dado.

Las ondas transversales o cortantes (ondas "S"), (figura 5.1.2.2.b), producen el movimiento de las partículas perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda. Las ondas S pueden considerarse como resultantes de dos tipos de ondas: unas que se transmiten en un plano horizontal, ondas SH, y otras en un plano vertical, ondas SV.

De los dos tipos de ondas superficiales, las ondas Love (figura 5.1.2.3.b) son las que presentan mayor velocidad de propagación, dan lugar a un movimiento de partículas en dirección transversal a la de propagación de la onda. La existencia de las ondas Love está restringida a capas del terreno en contacto con la atmósfera y bajo las cuales existen otras capas en que la velocidad de las ondas S, es mayor, que en la capa en cuestión. Las ondas Rayleigh (figura 5.1.2.3.a) imprimen a las partículas un movimiento según una trayectoria elíptica con un sentido contrario al de propagación de la onda.

5.1.2.1.3. Tectónica de la región

Mooser (1972) definió cinco bloques continentales ubicados en el W-SW de México y cuyos límites estarían separados por elementos morfológicos importantes, por ejemplo los bloques de Jalisco y Michoacán están separados por el graben de Colima. De esos bloques, en la zona de estudio solo se reconoce al bloque Jalisco el cual se ubica en la esquina SW (figura 5.1.2.4.). Aunque la unidad litológica más antigua de este bloque es la Brecha Jalisco (Jurásico superior-Cretácico inferior) en el área estudiada no aflora. Sin embargo, la Brecha Jalisco está cubierta de manera discordante por una secuencia detrítica constituida por areniscas y conglomerados de probable edad Cretácico Temprano.

La segunda unidad litológica importante es el batolito de Puerto Vallarta que intrusión a unidades mesozoicas. El Batolito de Puerto Vallarta cubre una superficie de aproximadamente 9000 km² y cuya edad está entre 106 y 67 Ma. En el Bloque Jalisco, tanto el batolito de Puerto Vallarta como las ignimbritas riolíticas son el tipo de roca dominante. De manera específica, en la esquina SW de la zona de estudio aflora una secuencia de rocas piroclásticas de composición esencialmente riolítica que se encuentran consistentemente basculadas hacia el NE. La cima de la sucesión piroclástica fechada en 79 ± 2 Ma (Rosas-Elguera, et al., 1997).

De acuerdo con los modelos gravimétricos, el espesor cortical en el Bloque Jalisco es de aproximadamente 39 km. De tal manera que este sería el espesor mínimo a considerar para el análisis de riesgo sísmico en esta área.



5.1.2.1.4. Sismos históricos

El estado de Jalisco se localiza dentro de una región de gran actividad sísmica donde el registro de sismos históricos data desde el año de 1568, con testimonios de muchos eventos que han ocurrido en el estado, algunos de los más representativos por sus características (tabla 5.1.2.1.), se han generado en los años de 1875 (ocasionó efectos destructivos en San Cristóbal de la Barranca), 1911 (destructor de ciudad Guzmán), 1912 (muy fuerte en Guadalajara), 1932 y 1995 (graves daños en las costas de Jalisco y Colima), las localizaciones se muestran en la figura 5.1.2.5.

5.1.2.1.5. Metodología

Riesgo Sísmico puede definirse como el peligro de daño que se tiene en un lugar, debido al potencial (peligro) sísmico de las estructuras geológicas cercanas y a la vulnerabilidad ante un sismo, del suelo y de las edificaciones que hay en ese sitio o área. Algunos de los objetivos que se integran en un estudio de riesgo sísmico son: la determinación del potencial sísmico, la elección de sismos de diseño, establecer los periodos y la forma de vibrar del suelo, el cálculo de la respuesta de un depósito de suelo, generar espectros de respuesta y de diseño, todo esto de un sitio específico; y por supuesto proponer una zonificación sísmica ó una microzonificación sísmica de un área determinada.

La investigación completa realizada para evaluar el riesgo sísmico en el municipio de Ameca, se llevó a cabo por un grupo de especialistas, siguiendo siguiente secuencia:

1. Geología (litología y tectónica).
2. Estimación del peligro sísmico.
3. Geotecnia (caracterización del terreno).
4. Obtención de propiedades dinámicas del suelo.
5. Cálculo de la respuesta del terreno.
6. Propuesta de zonificación sísmica municipal.

5.1.2.2. Estimación del peligro sísmico

5.1.2.2.1. Peligro sísmico para el municipio de Ameca (CFE)

En el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993) Capítulo Diseño por Sismo, se encuentra publicado el mapa de Regionalización Sísmica de México.

Este mapa permite conocer, en términos generales, el nivel de peligro sísmico que tiene un área determinada. Para ello, el territorio nacional se encuentra clasificado en cuatro regiones, de la A a la D, las cuales representan un nivel creciente de peligro. Esta clasificación del territorio se emplea en los reglamentos de construcción para fijar los requisitos mínimos que deben seguir los proyectistas, diseñadores y constructores en las edificaciones y otras obras civiles de tal manera que éstas resulten suficientemente seguras ante los efectos producidos por un sismo. La zona A es aquella donde no se tienen registros históricos de sismos y donde las aceleraciones del terreno se esperan menores al 10% de g . En la zona D ocurren con frecuencia



temblores de gran magnitud ($M > 7$) y las aceleraciones del terreno pueden ser superiores al 70% de g . Los niveles de sismicidad y de aceleración propios de las zonas B y C están acotados por los valores correspondientes de A y D, los temblores grandes son poco frecuentes y se estima que las aceleraciones se mantendrán por debajo del 70% de g . (CENAPRED, 2006).

Se ubicó el municipio de Ameca en el mapa de Regionalización Sísmica de México (CFE 1993), para asignarle el nivel de exposición correspondiente; como puede apreciarse en la figura 5.1.2.6., el nivel de exposición es “C”, clasificado como peligro “alto”. Además se crea el shape 14006_Zon_sis, donde se vacía esta información.

Podrán utilizarse entonces los espectros para diseño sísmico de la Tabla 3.1 del manual de diseño por sismo (CFE, 1993), para la zona sísmica C, para el terreno que aplique I, II o III, y para estructuras del grupo B. Para estructuras del grupo A, deberán seguirse las observaciones del propio manual.

5.1.2.2.2. Aceleraciones máximas en terreno firme para períodos de retorno de 10, 100 y 500 años

La distribución de las intensidades en términos de aceleración del terreno asociada a periodos de retorno es información que no se aplica directamente a la población con fines de protección civil, sin embargo, es un elemento fundamental para especialistas en el diseño de nuevas construcciones y modificación o refuerzo de obras civiles existentes.

Para facilitar la definición del nivel de peligro para el municipio de Ameca, éste se ubicó en los mapas de aceleraciones en terreno firme del programa Peligro Sísmico en México (PSM, 1996) correspondientes a periodos de 10, 100 y 500 años, figuras (5.1.2.7., 5.1.2.8. y 5.1.2.9.). Además se consultó la clasificación municipal en este sentido, que se presenta en el anexo 1 del capítulo 1 de la Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos (CENAPRED, 2006).

Ameca presentaría entonces una aceleración máxima en terreno firme de 0,034 g , para un sismo de periodo de retorno de 10 años; una aceleración máxima en terreno firme de 0,081 g , para un sismo de periodo de retorno de 100 años y una aceleración máxima en terreno firme de 0,135 g , para un sismo de periodo de retorno de 500 años.

Lo anterior expuesto facilitará, ante la falta de normatividad para construcción por sismos en el municipio de Ameca, definir las ordenadas de diseño para edificaciones de poca altura, construcciones de uno o dos niveles ubicadas en suelo firme.

Para ello se crean los shapes 14006_Per_ret_10, 14006_Per_ret_100 y 14006_Per_ret_500, donde se clasifica el peligro en el municipio de Ameca con respecto a las aceleraciones que se generan en terreno firme, quedando con un nivel de peligro “bajo” en este sentido.



5.1.2.2.3. Período de retorno para una aceleración de 15% de g

Se sabe que, para los tipos constructivos que predominan en nuestro país, los daños son considerables a partir de un nivel de aceleración de la gravedad terrestre (CENAPRED, 2006). Por lo cual se procedió a ubicar el municipio de Ameca, dentro del mapa de Periodos de Retorno para Aceleraciones de 0.15 % de g o mayores. Además se revisó la tabla que se presenta en el anexo 2 del capítulo 1 de la Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos (CENAPRED, 2006), obteniendo periodo promedio de repetición de 740 años para que se presente una aceleración igual o mayor al 15% de g que puede producir daños importantes a las construcciones (figura 5.1.2.10).

Adicionalmente utilizando las aceleraciones máximas en terreno firme obtenidas en el capítulo 5.1.2.2.2., para los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años, se obtuvo la ecuación exponencial que expresa la tasa de excedencia en 1/años para que se produzca una aceleración de 0.15 g (figura 5.1.2.11.), dando como resultado, al resolver la ecuación para la aceleración mencionada (tabla 5.1.2.2.), un período de retorno de 925 años, lo cual es aproximado a lo obtenido empleando el mapa de CFE.

Lo anterior significa, tomando para el municipio de Ameca un período de retorno de 740 años para una aceleración de 0.15 g (CFE), que podrá ser afectado por una aceleración igual o mayor al 15% de g, solo una vez en siete siglos, a consecuencia de un sismo máximo probable; lo que corresponde a un peligro “bajo” en terreno firme.

5.1.2.3. Caracterización física del terreno

5.1.2.3.1. Estudios de mecánica de suelos anteriores

En este sentido, se recibió el apoyo por parte de la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG), a través de su Centro de Investigación para el Desarrollo Industrial (CIDI), por medio del laboratorio de materiales y mecánica de suelos, quien aportó información de 18 estudios de mecánica de suelos, realizados en el municipio mediante la técnica de penetración estándar (tabla 5.1.2.3.), de Abril del 2007 a Junio de 2011.

De estos estudios (entrega anexa), se recabo información de los sondeos de penetración estándar, como lo es: tipo de suelo, clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), profundidad al estrato resistente, propiedades índice, etc., indispensable para la evaluación de la vulnerabilidad física del medio.

La profundidad al estrato resistente, es la profundidad a la cual se encuentra el terreno firme, con número de golpes mayor a 50 SPT, donde se pueden inducir las aceleraciones máximas propuestas obtenidas con anterioridad, para evaluar la respuesta del terreno.

De la información de los sondeos de SPT se desprenden los shapes 14006_Pun_mues (puntos de muestreo), 14006_Sis_sue_prof (profundidad al estrato resistente) y 14006_Sis_sue (caracterización geotécnica).



5.1.2.3.2. Estudios de mecánica de suelos actuales

Debido a que se requería conocer la respuesta del terreno en el valle del municipio y para poder proponer una zonificación sísmica en todo el polígono municipal, se realizaron estudios adicionales de SPT (10 sondeos anexos), hasta la profundidad donde se encontrase el estrato resistente (número de golpes mayor a 50). Lo anterior fue contratado al laboratorio de materiales y mecánica de suelos del CIDI de la UAG. Logrando ampliar la caracterización de los suelos en todo el valle del municipio de Ameca.

Para la localización de los lugares donde se realizarían los sondeos se procedió ubicar las localidades con una población mayor a 500 personas, el valle de Ameca, el polígono municipal y las carreteras; de lo anterior se desprende el mapa de la figura 5.1.2.12., donde se etiquetan las localidades donde se realizaron los sondeos.

De la información de los sondeos de SPT actuales se complementan los shapes 14006_Pun_mues (puntos de muestreo), 14006_Sis_sue_prof (profundidad al estrato resistente) y 14006_Sis_sue (caracterización geotécnica).

El estudio No. 5 no fue considerado en el análisis debido a que los puntos no pudieron ser georeferenciados.

Los estudios 2 y 3, y del 16 al 25 fueron realizados en las localidades del municipio (figura 5.1.2.12.) sin incluir la cabecera municipal y los restantes estudios 1 y 4, y del 6 al 15 fueron realizados en la cabecera municipal.

5.1.2.3.3. Obtención de los parámetros dinámicos del suelo

Para la obtención de los parámetros dinámicos del suelo se utilizaron las correlaciones existentes entre el número de golpes corregidos de la prueba de penetración estándar con la velocidad de onda cortante, propuestas por Ohta y Goto (1978), (Tabla 5.1.2.4.).

Una vez estimada la velocidad de onda cortante (V_s), se calcula el Módulo de Rigidez Cortante Máximo (G_{max}) mediante teoría elástica con la siguiente ecuación:

$$G_{max} = \rho V_s^2$$

Donde:

(ρ) Densidad Específica de los estratos del suelo.

(G_{max}) Módulo de Rigidez Cortante Máximo.

(V_s) Velocidad de onda cortante.

Aunque no se detectó roca en todos los sondeos, en cada uno de ellos se encuentra un material muy rígido caracterizado por una velocidad de propagación de onda cortante mayor a 700 m/seg (número de golpes mayor a 50). Este material será utilizado como base firme y a partir de esa profundidad se transmitirá el



movimiento hasta la superficie. Cabe aclarar que en el modelo matemático se consideró esta capa como semi-espacio infinitamente rígido.

5.1.2.4. Cálculo de la respuesta del terreno

5.1.2.4.1. Descripción del programa SHAKE.

Para la obtención de la respuesta del depósito y la generación de los espectros de respuesta de sitio se utilizó el programa SHAKE, desarrollado por Schnabel, Lysmer y Seed en 1972 en la Universidad de Berkeley en California.

Este programa está basado en la hipótesis de que la respuesta principal en un depósito de suelo es causada por la propagación vertical de las ondas cortantes desde el basamento de roca hasta la superficie. El análisis es unidimensional y está referido a la solución de la ecuación de onda. Además se considera el comportamiento no lineal del suelo mediante una aproximación equivalente lineal iterativa.

En la práctica ha demostrado arrojar resultados acordes con observaciones en el campo. Por lo que este procedimiento ha sido utilizado en la ingeniería sísmica geotécnica para predecir la respuesta dentro de los depósitos de suelo así como las características del movimiento en la superficie libre.

El proceso involucra los siguientes pasos:

A.- Determinar las características de los movimientos a ser introducidos en el proceso y que sean compatibles con las características del sitio y de la roca que subyace el depósito de suelo. La aceleración máxima, el periodo predominante y la duración efectiva son los parámetros más importantes de un movimiento sísmico. Un sismo de diseño con las características deseadas puede ser seleccionado y modificado de acelerogramas que han sido grabados durante eventos sísmicos previos o mediante la generación artificial de acelerogramas.

B.- Obtener las propiedades dinámicas del depósito de suelo, el Módulo de Rigidez Cortante (G) y el porcentaje de amortiguamiento crítico (D) para diferentes niveles de deformación angular.

C.- Finalmente se calcula la respuesta del depósito ante la excitación de un acelerograma de diseño. El análisis es unidimensional y está basado en la solución de la ecuación de onda presentada por Kanai, 1951; Matthiesen et al., 1964; Roesset y Whitman, 1969; Lysmer et al., 1971.

El programa SHAKE permite obtener la respuesta en cualquier nivel del depósito y a su vez calcula los espectros de respuesta para sistemas de un grado de libertad para cada uno de las respuestas obtenidas con un porcentaje de amortiguamiento deseado.

5.1.2.4.2. Modelo lineal equivalente para calcular la respuesta de un depósito de suelo.

5.1.2.4.2.1. Comportamiento de un suelo ante solicitaciones cíclicas.

Un ciclo de histéresis como el de la figura 5.1.2.13., puede ser descrito en dos partes: por el trazo del mismo y por dos parámetros que describen su forma en general. Las dos características más importantes de la forma del ciclo son su inclinación y su anchura. La inclinación del ciclo depende del grado de esfuerzo en el suelo, el



cual puede ser descrito en un punto cualquiera durante el proceso de carga-descarga por el módulo cortante tangente, G_{tan} . Este módulo varía a lo largo de un ciclo de carga, pero su valor promedio cuando un ciclo se completa puede aproximarse por el módulo cortante secante:

$$G_{sec} = \tau_c / \gamma_c$$

Donde τ_c y γ_c son las amplitudes de esfuerzo cortante y deformación al cortante (deformación angular), respectivamente. La anchura del ciclo es directamente proporcional a su área, la cual como medida de disipación de energía, puede ser descrita convenientemente por la relación de amortiguamiento (ξ):

$$\xi = \frac{W_D}{4\pi W_s} = \frac{A_{ciclo}}{2\pi G_{sec} \gamma_c^2}$$

Donde W_D es la energía disipada, W_s la energía de deformación máxima y A_{ciclo} el área del ciclo de histéresis. Es pues de suma importancia reconocer que los parámetros G_{sec} y ξ son realmente una aproximación lineal equivalente al comportamiento no lineal del suelo.

5.1.2.4.2.2. Diagrama esfuerzo-deformación cíclicos (curva esqueleto).

Para un rango de deformación ó de esfuerzo en una prueba de laboratorio, cualquiera que esta sea, se aplican varios ciclos al espécimen de suelo, pero solo un ciclo de histéresis completo es tomado para representar el comportamiento de carga-descarga típico del mismo. Los investigadores difieren un poco en cual debe ser este ciclo, pero generalmente se escoge el décimo o el doceavo ciclo, que es cuando el suelo todavía no sufre grandes esfuerzos por fatiga.

Se realizan varias pruebas, con diferentes niveles de deformación ó esfuerzo para tratar de tener varios ciclos representativos del comportamiento del material, es decir, se tienen ciclos completos de diferentes tamaños para una misma escala. Todos estos ciclos se grafican juntos, después se unen los puntos de deformación y esfuerzo máximos de cada uno y se obtiene así la curva esfuerzo-deformación cíclica que representa la no linealidad del suelo. A esta curva suele llamársele “curva esqueleto” (figura 5.1.2.14.).

5.1.2.4.2.3. Rigidez y Amortiguamiento.

Uno de los principales puntos que considera la dinámica de suelos, en un sitio o área determinada, es el analizar la variación del módulo de rigidez y la relación de amortiguamiento crítico, en función de la deformación angular, de las capas de material que forman el subsuelo de ese lugar. Esto se lleva a cabo a partir de la curva esqueleto y para cada ciclo formado por un nivel de deformación o esfuerzo específico.

Para determinar la variación de la rigidez se traza la gráfica denominada módulo de reducción (figura 5.1.2.15.), que tiene en sus ordenadas valores normalizados al módulo de rigidez máximo del material, a partir de un módulo de rigidez secante o tangente de cada ciclo de histéresis de la curva esqueleto; y en las abscisas (escala logarítmica) el porcentaje de deformación angular. Esta curva decrece conforme aumenta la deformación.



El módulo de rigidez máximo (G_0) puede ser obtenido por medio de métodos geofísicos, ya que estos inducen en el suelo deformaciones elásticas.

El mecanismo más usado para representar la disipación de energía, durante las cargas cíclicas, es el amortiguamiento viscoso. El porcentaje de amortiguamiento crítico (ξ), es definido como la relación entre el coeficiente de amortiguamiento (c), (para un sistema de un grado de libertad amortiguado y en vibración libre), y el coeficiente de amortiguamiento crítico (c_c):

$$\xi = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2m\omega_0} = \frac{c\omega_0}{2k}$$

Donde:

m = masa

k = rigidez

ω_0 = frecuencia natural del sistema

El coeficiente de amortiguamiento viscoso y por lo tanto la relación de amortiguamiento crítico, dependen de la forma del ciclo de histéresis. Por lo tanto, se puede conocer la relación de amortiguamiento crítico a partir de un ciclo de carga-descarga. La energía disipada en un ciclo de oscilación está dada por el área dentro del mismo y se puede obtener a partir de la integral:

$$W_D = \int_{t_0}^{t_0+2\pi/\omega} F \frac{du}{dt} dt = \pi c \omega u_0^2$$

Donde:

u = desplazamiento

ω = frecuencia forzada

F = fuerza aplicada

Cuando el desplazamiento es máximo, la velocidad es cero y el historial de energía de deformación está dado por el área atrapada bajo ese punto esfuerzo-deformación (figura 5.1.2.16.):

$$W_s = 1/2ku_0^2$$

Despejando las ecuaciones para W_D y W_S tenemos que $c=W_D/(\square\square\square u_0^2)$ y $k=2W_S/u_0^2$. Sustituyendo esto en la ecuación de amortiguamiento, y si consideramos que $\square = \square_0$, obtenemos la ecuación:

$$D = \xi = \frac{A_{\text{ciclo}}}{2\pi G_{\text{sec}} V_c^2}$$

Que es usada normalmente para la determinación gráfica del porcentaje de amortiguamiento crítico en un ciclo de histéresis, considerando un modelo lineal equivalente.



Por medio de esta relación se calcula la variación del amortiguamiento a diferentes rangos de deformación ó esfuerzo, obteniendo así una gráfica donde las ordenadas están dadas por esta relación de amortiguamiento (D) y las abscisas (escala logarítmica) por el porcentaje de deformación angular (figura 5.1.2.17.). Está curva, al contrario del módulo de reducción, aumenta con la deformación.

5.1.2.4.2.4. **Análisis de la respuesta del terreno en una dimensión.**

Utilizando la degradación de la rigidez (módulo de reducción) y el incremento del amortiguamiento, descritos en los párrafos anteriores, el programa EERA, para poder calcular la respuesta del terreno, realiza:

- Una idealización de un sistema masa-resorte de un suelo con estratos horizontales (figura 5.1.2.18.).
- El cálculo de funciones de transferencia y series de Fourier.
- Una aproximación lineal equivalente a la respuesta, mediante iteraciones (figura 5.1.2.19.).

5.1.2.4.3. **Datos empleados en el cálculo de la respuesta.**

En las tablas 5.1.2.5 a 5.1.2.39., se muestra la estratificación y las propiedades utilizadas en el modelo matemático en todos y cada uno de los sitios y sondeos.

A continuación se seleccionaron las curvas de variación de rigidez y amortiguamiento con el nivel de deformación angular, que representan la no-linealidad de los suelos. Existen correlaciones de estas curvas para diferentes tipo de suelo propuestas por varios autores, en nuestro caso se seleccionaron las curvas propuestas por en el programa SHAKEdit para arcillas, arenas y para un estrato tipo roca (figuras 5.1.2.20. y 5.1.2.21.).

Por último se decidió utilizar el valor que presenta el mapa de Peligro Sísmico en México (PSM, 1996) correspondientes al periodo de retorno de 500 años. La aceleración máxima en terreno firme en Ameca es de 0,135 g, para un sismo de periodo de retorno de 500 años.

Para los parámetros de periodo predominante y la duración efectiva se tiene muy poca información para el municipio de Ameca, por lo cual se decidió escoger de una base de datos existente (PEER, 2011) cuatro acelerogramas de sismos en roca con diferentes duraciones y frecuencias, y se escalaron a la aceleración máxima.

Los datos de los acelerogramas de los sismos seleccionados se presentan en la tabla 5.1.2.40.

5.1.2.4.4. **Resultados obtenidos.**

En las tablas 5.1.2.41. a 5.1.2.46 se muestran los resultados para todos los sitios y para cada uno de los cuatro movimientos sísmicos inducidos, con los siguientes parámetros de interés:

- Aceleración máxima en la superficie libre (tabla 5.1.2.41.)
- Ordenada espectral máxima, periodo (tabla 5.1.2.42.)
- Ordenada espectral máxima, pseudoaceleración (tabla 5.1.2.43.)



- El factor de amplificación del depósito (tabla 5.1.2.44.)
- La frecuencia dominante del terreno (tabla 5.1.2.45.)
- El período fundamental de vibración del suelo (tabla 5.1.2.46.)

Con estos resultados se logro construir las capas de peligro (shapes) de aceleraciones máximas en el municipio (14006_Sis_sue_amax) y en la cabecera municipal (14006_Sis_sue_amax2), así como el mapa de isoperiodos para la cabecera (14006_Sis_isop).

En las figuras 5.1.2.22 a 5.1.2.122., para cada sondeo se presentan:

- Los gráficos de valores de aceleraciones en diferentes estratos
- Los espectros de respuesta en superficie libre de pseudoaceleraciones elásticos para un amortiguamiento del 5 %
- El espectro de amplificación

Los espectros no consideran la interacción Suelo – Estructura. Los espectros de respuesta deberán ser reducidos por factores de ductilidad y sobrerresistencia, que dependerán del tipo de estructura a construir.



5.1.3. Tsunamis o maremotos

El fenómeno NO aplica al municipio debido a que no es un municipio costero, la distancia a la costa más cercana es de más de 100 km.



5.1.4. Vulcanismo

5.1.4.1. Introducción

Las erupciones volcánicas son emisiones de mezclas de roca fundida rica en materiales volátiles (magma), gases volcánicos que se separan de éste (vapor de agua, bióxido de carbono, bióxido de azufre y otros) y fragmentos de rocas de la corteza arrastrados por los anteriores (Cenapred, 2001).

Estos materiales pueden ser arrojados con distintos grados de violencia, dependiendo de la presión de los gases provenientes del magma o de agua subterránea sobrecalentada por el mismo. Cuando la presión dentro del magma se libera a una tasa similar a la que se acumula, el magma puede salir a la superficie sin explotar. En este caso se tiene una erupción efusiva.

La roca fundida emitida por un volcán en estas condiciones sale a la superficie con un contenido menor de gases y se llama lava. Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas crecen hasta tocarse y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

Los volcanes que se forman por la acumulación de materiales emitidos por varias erupciones a lo largo del tiempo geológico se llaman poligenéticos o volcanes centrales.

Existe otro tipo de volcanes que nacen, desarrollan una erupción que puede durar algunos años y se extinguen sin volver a tener actividad.

En lugar de ocurrir otra erupción en ese volcán, puede nacer otro volcán similar en la misma región. A este tipo de volcán se le denomina monogenético y es muy abundante en México. Los volcanes Xitle, Jorullo y Parícutín (figura 5.1.4.1.) son de este tipo, y se encuentran en regiones donde abundan conos monogenéticos similares. Generalmente, los volcanes de este tipo son mucho más pequeños que los volcanes centrales y en su proceso de nacimiento y formación producen erupciones menos intensas.

Los materiales emitidos durante una erupción pueden causar diferentes efectos sobre el entorno, dependiendo de la forma como se manifiestan.

Para poder comprender la actividad volcánica que incide en el Municipio de Ameca, es necesario realizar una revisión del vulcanismo a nivel de la República Mexicana.

La mayor concentración de volcanes en México se encuentra en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), en donde se tiene una gran variedad de formas volcánicas como campos de conos monogenéticos, estratovolcanes majestuosos con elevaciones en torno a los 4000 m, volcanes en escudo, volcanes compuestos, calderas, lavas isurales y domos (Figura 5.1.4.2).

Sin embargo existen otras regiones volcánicas aisladas como: las islas Revillagigedo, el complejo volcánico de Tres Vírgenes, el campo volcánico de Los Tuxtlas, el arco volcánico Chiapaneco.



5.1.4.1.1. El Eje Neovolcánico Mexicano

El eje Neovolcánico Mexicano se extiende desde el golfo de California hasta el golfo de México, cubriendo gran parte de México central (ver figura 5.1.4.3).

Los volcanes activos se encuentran a lo largo de todo el territorio volcánico. Enumerándolos de este a oeste se localizan el volcán Sangangüey, Ceboruco, Colima, Parícutín y Popocatepetl, siendo el Colima y Popocatepetl los más activos y los que han registrado erupciones en estos últimos años (figura 5.1.4.4).

De acuerdo a la figura anterior, las áreas irregulares rayadas y con puntos marcan la extensión del eje Neovolcánico Mexicano; el área con el rayado vertical es el arco del Oeste con los volcanes principales de (a) San Juan, (b) Sangangüey, (c) Tepetitlic, (d) Ceboruco y (e) Tequila; el área rayada en horizontal corresponde al arco calco-alcalino-alcalino de la zona del graben de Colima con (f) la Caldera de la Primavera, (g) el Nevado de Colima y (h) el volcán de Colima; el área con puntos es el arco central y el oriental de este eje, con los volcanes, de oeste a este, del (i) Parícutín, seguido del (j) Nevado de Toluca, (k) Iztaccíhuatl, (l) Popocatépetl, (m) La Malinche y por último (n) el Pico de Orizaba.

En la costa del golfo se encuentra la provincia alcalina de Tuxtla con el volcán de San Andrés Tuxtla (área negra). El área negra a lo largo de la costa pacífica es el eje de la Trinchera Mesoamericana por debajo de los 4 km de profundidad. Los rombos, cuadrados y círculos son hipocentros de temblores ocurridos en el periodo entre 1963 y 1974 con $m_b > 4$ y profundidad mayor de 100 km (Nixon, 1982).

Los contornos de 50 y 100 km de profundidad de la zona de Wadati-Benioff se muestran con líneas discontinuas. Aquellas líneas de punto y raya señalan el límite geográfico de la sismicidad de la placa en subducción (Nixon, 1982). Las rectas con número son las alineaciones magnéticas en millones de años (Nixon, 1982). Abreviaciones: EPR, Cresta del Pacífico Este; R, placa de Rivera; P, placa del Pacífico; C, placa de Cocos; las zonas de fractura de Tamayo (TFZ), de Rivera (RFZ), de Orozco (OFZ); IS es la falla del Istmo de Tehuantepec; TR, la cresta de Tehuantepec.

El volcanismo de este eje tiene una composición calcoalcalina y alcalina con una edad comprendida entre el Mioceno superior hasta el Cuaternario. Coinciden en la propuesta de relacionar el volcanismo en este eje con la subducción a lo largo de la trinchera Mesoamericana (Nixon, 1982, Johnson and Harrison, 1990; Ferrari et al., 1994 y Pardo and Suárez, 1995.).

Una de las características importantes del eje es que yace oblicuo a la trinchera con una orientación aproximada de este-oeste, geometría inusual, donde el arco volcánico no es paralelo a la zona de subducción (ver figura 5.1.4.4).

Este último hecho se intenta justificar de diferentes maneras como veremos a continuación. Nixon (1982) confirma la naturaleza segmentada del margen continental. La litosfera en subducción está rota en tres segmentos unidos por fallas “en bisagra”, que están relacionadas con alineamientos estructurales formados



en la cuenca oceánica. La variación lateral del eje, que yace oblicua en 16° , se identifica con estos segmentos como sigue: El arco occidental, que está asociado a una subducción asísmica de la Placa de Rivera con los volcanes de NO a SE de (a) San Juan, (b) Sangangüey, (c) Tepetitlic, (d) Ceboruco, (e) Tequila y (f) la Caldera de la Primavera y, con fallas de gran ángulo y fracturas extensionales que se extienden desde el volcán de Sangangüey hasta la región de Chapala (Demant et al., 1976, Demant, 1978) (figura 5.1.4.5).

Es de interés resaltar las siguientes características tectónicas de este mapa: el bloque Jalisco, delimitado por los graben de Tepic-Zacoalco y Colima, el sistema de fallas de Chapala-Tula, que forma el límite entre la placa de Norteamérica con el bloque de Guerrero, y el sistema de fallas de Chapala-Oaxaca, que separa el bloque de Michoacán con el bloque de Guerrero. Estos dos sistemas de fallas tienen su extremo occidental en el graben de Chapala, que contiene el lago del mismo nombre (Johnson and Harrison, 1990). Los triangulitos representan los volcanes, aquellos con un recuadro rojo son los volcanes activos. También vienen señaladas las principales ciudades de la zona. Figura según Johnson and Harrison, 1990.

El arco central y oriental que está asociado a la subducción de un segmento poco profundo y poco pendiente de la placa de Cocos, que se extiende desde la zona de fractura de Rivera hasta el istmo de Tehuantepec. En esta región encontramos gran cantidad de conos cineréticos en Michoacán con una orientación al azar y las cadenas con orientación norte sur en Sierra Nevada, que son la cadena (k) Iztacihuatl- (l) Popocatepetl y (n) Orizaba-Cofre de Perote (figura 5.1.4.1 y 5.1.4.2.).

La zona de transición entre los dos arcos está formada por el graben de Colima con orientación norte-sur y que supone una discontinuidad transversal de 100 km de ancho en el arco volcánico. Tectonismo extensional acompañado de un volcanismo calcoalcalino y alcalino está probablemente relacionado con fallamiento transformante que marca a su vez, los límites subducidos de las placas de Rivera y Cocos (figura 5.1.4.1 y 5.1.4.2). Este modelo de convergencia de margen de placa se basa en el hecho de que las fallas transformantes (de desgarre) esparcidas por toda la trinchera dividen las placas en subducción en segmentos de 100 a 300 km de ancho. Cada segmento es libre de moverse independientemente.

De esta manera se forman fallas profundas en la litósfera subyacente, paralelas a la frontera de cada segmento en subducción y que en este caso son el motivo del origen del graben de Colima y el istmo de Tehuantepec. Johnson and Harrison (1990) y Ferrari et al. (1994) son de la opinión que la oblicuidad del eje debe ser considerado como una herencia de antiguas estructuras cubiertas en la actualidad por esta cordillera volcánica.

La zona de fallas de Chapala-Tula y la línea de Humhold se extienden a lo largo del paralelo 20 y 19, respectivamente. Estas estructuras parece que controlan la mayor parte de la actividad volcánica del Cuaternario (Johnson and Harrison, 1990). El sistema de fallas de Chapala-Oaxaca, que se extiende paralela a la costa pacífica, no parece tener relación con ningún volcanismo reciente, salvo en su extremo occidental (Johnson et al., 1990).



El área irregular marcada con escasos puntos corresponde al volcanismo del Plioceno y aquella más oscura corresponde al volcanismo del Cuaternario. Los triángulos señalan los volcanes más importantes. Las ciudades vienen marcadas con cuadrados y en donde M es la Ciudad de México y G es Guadalajara. Figura según Johnson and Harrison, 1990. Johnson and Harrison (1990).

Johnson and Harrison (1990) proponen, por medio de un estudio de imágenes "Landat Thematic Mapper", que la corteza al sur del eje Neovolcánico está dividida, al menos, en tres bloques con movimiento independiente uno de otro y de la placa Norteamericana (ver figura 5.1.4.6). Este movimiento relativo es el que produce el fallamiento dentro del eje Neovolcánico.

En la parte occidental del eje, un patrón de rifting organizado ha desarrollado un punto triple. La región oriental del eje tiene una deformación menos organizada. Su inusual orientación puede ser debida al desarrollo, durante el Cuaternario, de la zona de fallas de Chapala-Tula, alineada con el eje Neovolcánico, a lo largo del paralelo 20°N desde el lago de Chapala (103.5°N) hasta el norte del Valle de México, con una longitud total de 420 km y que forma la frontera del bloque de Guerrero con la placa Norteamericana (ver figura 5.1.4.5).

Esta zona pudo sufrir levantamientos por magmas fluidos, que buscan su camino hacia la superficie. Si el magma está generado a una cierta profundidad bajo la superficie, puede encontrar el camino por las zonas más débiles, es decir, por la zona de fallas. Esto implica que las deformaciones en la placa principal pueden controlar la localización del volcanismo, tanto a nivel local como regional. Así que la orientación oblicua del eje volcánico con respecto a la trinchera Mesoamericana no tiene que tener su origen en variaciones en la geometría de subducción ni en su velocidad a lo largo de la trinchera, o por lo menos no ser su único factor. Ferrari et al. (1994) son también de la opinión de que la deformación de fallamiento transcurrente con orientación NO-SE de la zona occidental del eje volcánico, y con orientación E-O en la zona central, formado durante el Mioceno superior, podrían haber provisto de vías preferenciales al magma cortical, permitiendo la formación del eje con su orientación oblicua con respecto a la trinchera Mesoamericana (ver figura 5.1.4.5.).

Los círculos huecos representan la proyección horizontal de la máxima extensión de sismicidad interplaca desde la trinchera. Una línea que uniese todos los círculos mencionados resulta ser el límite sur del eje Neovolcánico Mexicano. Figura según Kostoglodov et al., 1995. Pardo and Suárez (1995) realizaron un estudio, con datos sísmicos, de la geometría de las placas de Cocos y Rivera en subducción a lo largo de la trinchera Mesoamericana. Como resultado obtuvieron las proyecciones en superficie de los niveles de sismicidad a 80 y 100 km de profundidad de la placa buzante, que yacen en la frontera sur del eje Neovolcánico.

En la figura 5.1.4.7. se puede observar la proyección en superficie de la máxima extensión de sismicidad interplaca a lo largo de rectas transversales a la trinchera Mesoamericana, que marcan el nivel de sismicidad



a 100 km de profundidad mencionado unas líneas más arriba. A esta profundidad de la placa buzante es donde se encuentran los arcos volcánicos en otras partes de subducción del mundo.

En la parte de México central se ha extrapolado el contorno sísmico debido a la falta de sismicidad en esta zona. Este resultado sugiere que el eje Neovolcánico está directamente relacionado con la subducción y que su dirección oblicua con respecto a la trinchera Mesoamericana es debida a la compleja geometría de subducción de las placas de Rivera y Cocos. Relacionado con esto último, estos autores exponen que el buzamiento de la placa de subducción es independiente de su edad y de la velocidad relativa de convergencia.

5.1.4.1.2. Bloque de Jalisco

Los centros volcánicos cuaternarios en el oeste del eje Neovolcánico están confinados en tres estructuras extensionales, que intersectan a 50 km al suroeste de la ciudad de Guadalajara en un punto triple (Luhr and Carmichael, 1985; Garduño and Tibaldi, 1991). Este punto triple ha evolucionado desde el Plioceno y, siguiendo la tendencia general del eje Neovolcánico, presenta una migración hacia el sur (Garduño and Tibaldi, 1991). Estas estructuras extensionales delimitan el bloque de Jalisco:

El graben de Tepic-Zacoalco está formado por el segmento noroeste y el graben de Zacoalco. El lago de Chapala se encuentra en el graben de su mismo nombre y el graben de Colima se extiende hasta la costa. Las ciudades más importantes vienen señaladas por cuadrados: T, Tepic; Tq, Tequila; G, Guadalajara; CG, Ciudad Guzmán; C, Colima. Los volcanes están numerados; 1, volcán Colima; 2, volcán Nevado; 3, volcán Cántaro; 4, Caldera de la Primavera; 5, volcán Tequila; 6, Ceboruco; 7, volcán Tepetitlic; 8, volcán Sangangüey; 9, volcán las Navajas; 10 volcán San Juan. Figura según Luhr et al. (1985), el graben de Colima al este, el graben de Chapala, que forma un brazo con orientación este. El graben de Tepic-Zacoalco, que representa el límite noreste del bloque de Jalisco, siendo los ángulos de separación entre los tres graben de 100°, 115° y 145°, medidos en sentido contrario a las agujas del reloj y desde el graben de Colima (ver Figura 5.1.4.10.). Andesitas calcoalcalinas y rocas relacionadas, típicas de los arcos volcánicos de subducción, son dominantes en el área de los tres graben (Luhr et al., 1985).



5.1.4.1.3. Graben de Colima

Se extiende 90 km hacia el sur del área de intersección, llegando hasta la costa pacífica (ver figura 3.5). Su anchura varía entre 20 y 60 km y, según Allan (1981), el desplazamiento (offset) vertical total llega a los 2.7 km. Según datos de K-Ar, el graben comenzó a formarse en su parte norte en el Plioceno inferior (Garduño and Tibaldi, 1991), lo que a su vez está en acuerdo con los datos de Díaz and Mooser, (1972).

El graben de Colima se divide en los dos siguientes sectores: el graben norte y central, con dirección norte-sur, . el sur del graben con orientación noreste-suroeste. El sur del graben comprende una parte costera terrestre y una parte en el mar con tres cañones marinos, con la misma orientación noreste-sureste ya mencionada (Khutorskoy et al., 1994).

La continuación del sur del graben de Colima y situado al otro lado de la trinchera Mesoamericana es el graben de El Gordo. Este graben presenta una cordillera volcánica en el centro, es continuación de uno de los cañones del sur del graben de Colima y muestra un flujo de alto calor superficial (Khutorskoy et al., 1994). En base a un mapa estructural de la zona del graben de Colima, Allan (1986) propone que este graben está definido por fallas normales paralelas a su dirección. El último informe de actividad tectónica en el graben sur de Colima se debió a un temblor ocurrido en Marzo del año 2000, de magnitud momento $M_w = 5.2$ y que se produjo debido a una falla normal con orientación NE-SO y área de ruptura de 17 km de largo y 7 km de ancho (Pacheco et al., 2000).

Las lavas calcoalcalinas de los muros del graben de Colima tienen aproximadamente 10 millones de años, son, pues, del Plioceno. En el último millón de años la actividad volcánica calcoalcalina ha sido confinada en el sur del valle, construyendo hacia el sur una cadena joven de tres volcanes andesíticos: el Cántaro, el Nevado y el Colima. El volcán de Colima es el único activo en la época histórica. Las últimas erupciones de este volcán han ocurrido en 1981, en 1991 y desde Febrero de 1999 hasta la fecha, período en el que sigue teniendo erupciones y explosiones esporádicas (Nuñez-Cornú y Sánchez-Mora, 1999).

5.1.4.1.4. Graben de Chapala

Contiene el lago natural de Chapala a 1500 m de altitud, de 115 km de largo y de 10 a 25 km de ancho (ver figura 5.1.4.8. Este graben se extiende 90 km hacia el oriente del punto triple, donde se ensancha y muestra una transición de fallamiento en bloque a fallamiento en escalón con orientación noreste-este de fallas transformantes (Luhr et al., 1985). En los estudios realizados por Johnson and Harrison (1990) tres cuencas o graben son las características topográficas más predominantes del rift. También está el graben Citlala al oriente del punto triple y separado del lago de Chapala por bloques corticales basculeados. Según Urrutia (1986), este último graben es de las zonas más activas asociadas al rift de Chapala, contando con las evidencias más jóvenes de fallamiento reciente. También se encuentran flujos de basalto datados en el Mioceno superior. Tras un estudio microtectónico de la región del punto triple, Garduño and Tibaldi, (1991), proponen la siguiente evolución para este brazo: durante el Mioceno superior y el Plioceno inferior, el brazo



este-oeste de Chapala tenía fallamiento lateral-izquierdo, . durante el Plioceno superior y el Pleistoceno el mencionado brazo evolucionó a un fallamiento transtensional lateral-izquierdo, actualmente las fallas son principalmente normales. Este graben muestra un mayor grado de extensión, es decir un buzamiento por encima de 40°, respecto a los otros brazos, los graben de Tepic-Zacoalco y de Colima.

5.1.4.1.5. Graben del Tepic-Zacoalco

Tiene una orientación noroeste y forma la frontera entre la placa norteamericana y el bloque de Jalisco. A 50 km del área de intersección se junta con el segmento noroeste del eje Neovolcánico. Este segmento es un alineamiento de centros volcánicos del cuaternario y de fallas de escarpe (scarps) que se extienden 180 km hasta la costa del Pacífico (ver figura 5.1.4.8.).

Un estudio de reconocimiento de los diversos mapas en esta zona indica la existencia de una estructura de graben con orientación noroeste y la evidencia de fallas transformantes lateral-derecha con orientación paralela al azimut de las fallas transformantes del golfo de California (Gastil et al., 1978). Según un estudio de evolución realizado por Garduño and Tibaldi, (1991), el graben con orientación NO-SE muestra fallas lateral-izquierdas del Mioceno-Plioceno inferior, seguido de un fallamiento lateral-derecho en el Plioceno superior-Cuaternario.

El segmento noroeste contiene seis volcanes de composición calcoalcalina con la misma orientación del graben hacia el noroeste. El volcán Ceboruco erupcionó en 1870, produciendo más de 1.0 km³ de lava de rhyodicitas (Nelson, 1980). A su vez, Nelson y Carmicheal (1984) encontraron lavas y escorias alcalinas erupcionadas por cinco conos cineréticos subparalelos y con dirección noroeste a través del volcán Sangangüey, estimándose que el más joven de estos conos erupcionó hace menos de mil años. Por otro lado, lavas de esta región han sido datadas por Gastil et al. (1979), quienes indican que han venido erupcionando desde el Plioceno. La explicación a la presencia de rocas alcalinas en los graben al noroeste del eje Neovolcánico es consistente con una fracturación (rifting) continental. Sin embargo, magmas alcalinos han erupcionado en otras regiones del eje volcánico sin ninguna relación aparente con extensión continental (Luhr et al., 1985). Johnson and Harrison (1990) sugieren una ramificación secundaria del graben de Tepic-Zacoalco, el graben del Río Ameca.

La ramificación se separa del eje principal al sur del Ceboruco con una orientación oeste-suroeste durante 90 km hasta llegar a la costa, cerca de Puerto Vallarta (ver figura 5.1.4.8.). Este graben tiene una anchura de unos 20 a 30 km y está mejor definido en su parte occidental. Las fallas en los márgenes del graben del Río Ameca se extienden hacia el oeste y suroeste, formando las costas norte y sur de Bahía de Banderas. La dirección dominante de estas fallas es OSO-ENE, paralelas a la dirección del propio graben.

A excepción de un flujo de lava localizado al norte de Vallarta, toda la extensión del Río Ameca no presenta volcanismo reciente alguno detectable por las imágenes. Aunque es de hacer notar que sí existe una actividad hidrotermal reciente y se han registrado posibles temores en Bahía de Banderas (Nuñez-Cornú et al., 2000), lo que se comenta más detalladamente en el último apartado de este capítulo.



Fisher (1961) hizo un mapa batimétrico de la trinchera Mesoamericana en las inmediaciones de México. Su mapa muestra un claro cañón submarino profundo que entra en Bahía de Banderas, cortando la pendiente continental. El cañón es totalmente asimétrico y con unos acantilados de poca pendiente en su margen norte y muy escarpados en su margen sur. La morfología submarina correspondiente se parece fuertemente a un graben o semigraben fallado. Parece razonable concluir que el cañón es la continuación del graben del Río Ameca (Johnson and Harrison, 1990).

En cualquier caso, hasta ahora, la mejor explicación de la existencia del graben del Río Ameca es que representa un límite extensional entre el bloque de Jalisco y un pequeño territorio continental, que podría llegar a formar parte de la placa de Rivera. Por último, la dirección del graben es aproximadamente perpendicular a la dirección de subducción de la Placa de Rivera bajo el Bloque de Jalisco, afirmación que se basa en el estudio del diagrama de vectores de Johnson and Harrison, (1990).

El graben de Tepic-Zacoalco, cuyo rumbo aproximado es NO y en la cual se encuentran la caldera de la Primavera y los volcanes Tequila, Ceboruco, Tepetitlic, Sangangüey, San Juan y Las Navajas, y donde se localiza el Municipio de Ameca coincide, a su vez con el extremo occidental del eje Neovolcánico Mexicano (Van Demant, 1978; Luhr and Carmichael, 1981; Luhr et al., 1985; Johnson and Harrison, 1990; Garduño and Tibaldi, 1991; Pardo and Suárez, 1993; Rosas-Elguera et al., 1996). De los volcanes mencionados se consideran activos el Colima, Ceboruco y Sangangüey (Gastil et al., 1978; Nelson, 1980; Luhr and Carmichael, 1981; Nelson and Carmichael, 1984; Luhr et al., 1985; Johnson and Harrison, 1990; Garduño and Tibaldi, 1991; Nuñez-Cornú et al., 2000).

5.1.4.2. Ubicación de los volcanes activos en el Occidente de México.

Los volcanes activos de estas cadenas están ubicados en el extremo sur de las mismas. Estas cadenas están formadas por los volcanes Nevado de Colima (Jalisco-Colima), Ceboruco y Sanguanguey (Nayarit), a los que se hará referencia como volcanes activos del occidente y más cercanos a la zona de estudio, como se muestra en la figura 5.1.4.11.

Las estructuras volcánicas que se muestran en la figura anterior son: 1) San Juan, 2) Sangangüey, 3) Tepetitlic, 4) Ceboruco, 5) Tequila, 6) Caldera de la Primavera. Complejo volcánico de Colima: 7) Cántaro, 8) Nevado de Colima y 9) volcán de Colima. Las abreviaciones son: RTZ- *rift* Tepic-Zacoalco, GCh- graben de Chapala, GCi graben de Citala, y TM- Trinchera Mesoamericana (línea discontinua). Las líneas delgadas representan fracturas.

A continuación se realiza la descripción de cada uno de los volcanes activos que en una erupción violenta en el futuro pueden incidir sobre el Municipio de Ameca, recopilando y analizando los estudios realizados y se reflexiona sobre las limitaciones de los mismos.

5.1.4.2.1. VOLCAN SANGANGÜEY



El volcán Sangangüey se encuentra en Tepic, Nayarit, forma parte del eje volcánico transversal de México, su altura es de de 2,340 msnm. Se encuentra aproximadamente a 95 Km. del territorio en estudio. (Figura 5.1.4.12).

5.1.4.2.2. Volcán Ceboruco

El Volcán Ceboruco está localizado en el extremo del Eje Neovolcánico Transmexicano, es un volcán de tamaño medio, con un volumen aproximado de 60 Km³, ubicado en las coordenadas 104° 30´ W, 21° 7.5´ N cerca de los poblados de Ahuacatlán y Jala, en el Estado de Nayarit. A 53 Km del área de estudio. (figura 5.1.4.13).

Forma parte de la cadena de volcanes que se extiende desde Guadalajara, Jalisco hasta Tepic, Nayarit, e incluye los centro volcánicos de la Sierra La Primavera, Tequila, Ceboruco, Tepetitlic, Santa María del Oro, Sanganguey, Las Navajas, San Juan, una caldera sin nombre cerca de Tepic y muchos pequeños conos escoriáceos y domos riolíticos y dacíticos (figura 5.1.4.14).

En general los volcanes de esta porción del Eje Neovolcánico Transmexicano están alineados de acuerdo con las direcciones estructurales que se encuentran en el área. Estas direcciones se manifiestan por las fallas regionales (Gastil et al., 1978) y por los conos volcánicos alineados en los alrededores de los estratosvolcanes (Nelson y Carmichel, 1984).

El Ceboruco es el único volcán de esta parte del Eje Neovolcánico Transmexicano que ha tenido una erupción histórica y por eso presenta la posibilidad de entrar nuevamente en actividad. Su última erupción ocurrió en el año de 1870. Nelson (1980) presentó datos de, por lo menos, ocho erupciones en los últimos 1,000 años, resultando con una periodicidad promedio de una erupción cada 125 años. Aunque la periodicidad tiene poco valor estadísticamente para pronosticar erupciones, puede inferirse nuevas erupciones son probables.

5.1.4.2.2.1. Historia Eruptiva del Volcán Ceboruco

La historia eruptiva del Volcán Ceboruco está dividida en tres etapas, separadas por acontecimientos de formación de las dos calderas que están en la cumbre del volcán. La primera se caracterizó por erupciones efusivas de lava andesítica; durante esta etapa hubo también actividad en sus flancos noroccidentales y suroriental, donde se formara conos escoriáceos, de basalto y andesita basáltica. Después de un tiempo largo de reposo, una erupción pliniana de pómez radiocítica acompañada de erupciones de derrames piroclásticos, causó el derrumbe de la cumbre del volcán y la formación de la primera caldera.

Está erupción ocurrió hace 1,000 años. La segunda etapa empezó con la erupción de un domo volcánico dacítico en el piso de la primera caldera y de un derrame grande de lava dacítica desde la cumbre de este domo, terminando con la formación de la segunda caldera en el centro del domo.

Durante la tercera etapa se emplazó un domo andesítico por las fracturas anulares de las calderas, cubriendo los flancos septentrional y meridional del volcán. La única erupción histórica bien documentada ocurrió en el



año de 1870, cuyo resultado fue un derrame de lava riodadacító en el flanco occidental del Ceboruco (Nelson,1986).

Hubieron por lo menos ocho erupciones de este volcán en los últimos 1,000 años y es por ello que el Ceboruco debe considerarse como volcán activo, con posibilidades de erupciones futuras.

5.1.4.2.2.2 OBSERVACIONES DEL PELIGRO POR VULCANISMO PARA EL MUNICIPIO DE AMECA.

Aunque no es posible decir exactamente qué tipo de comportamiento eruptivo podría esperarse en erupciones futuras del Volcán a través de su historia. La primera etapa de erupciones estuvo caracterizada por emisiones de lava con poca evidencia de actividad explosiva. Indudablemente, estas emisiones estuvieron acompañadas por erupciones de cenizas las que, sin embargo, ya no se observan. Esta actividad no se limitó a erupciones de la fuente central, sino también a la zona que se extiende al noroeste y sureste del volcán, a los conos escoriáceos y derrames basálticos que están en esta zona. Después de un tiempo largo de erosión, el Ceboruco entró en una etapa de erupciones muy explosivas. Estas erupciones de material riodacítico fueron de tipo pliniano y peleano, produciendo depósitos de pómez de caída libre y derrames piroclásticos. Esta época fue la más peligrosa en la historia de este volcán.

5.1.4.2.2.2.1. Estimación de los peligros potenciales de erupciones futuras.

Cuando el Ceboruco hizo erupción en 1870, la población de los alrededores fue estimada en menos de 18,000 batitantes (Contreras,1979). Actualmente, Jala tiene una población de 5,400 habitantes, Jomulco de 3,800 y Ahuacatlán de 6,000. Más alejada, pero todavía bastante cerca para resultar afectada, está Ixtlán del Río con 6,300 habitantes. Los municipios de Ahuacatlán, Jala e Ixtlán están poblados por más de 51,000 habitantes, que podrían resultar afectados por una erupción (datos de la Secretaria de Programación y Presupuesto, 1982). Para el caso del Municipio de Ameca (56,000 habitantes), caso de estudio, para ser afectado por una erupción por el volcán Ceboruco es relativamente bajo, con posibilidad de caídas de cenizas, dependiendo del grado de erupción y dirección del viento.

Aunque no es posible pronosticar exactamente qué tipo de erupción podría esperarse y cuándo ocurriría, es factible señalar áreas en donde hay riesgos viables según los diferentes tipos de erupciones. Si el volcán hiciera erupción, no sería posible salvar los campos cultivados, las rutas de transportación o las construcciones cercanas, pero es posible salvar las vidas de los seres humanos y minimizar los efectos económicos después de una erupción, con el conocimiento de áreas que podrían afectarse.

5.1.4.2.2.2.2. Erupciones de Lava



Las erupciones de derrames de lava se han concentrado en los lados occidental y septentrional del Ceboruco. Las fuentes de estas erupciones parecen haber sido las fracturas de las calderas. Por eso, los flancos septentrional, meridional y suroccidental parecen tener los riesgos más grandes de erupciones efusivas. Si hubiera una erupción en el centro de la caldera interior o sobre las fracturas de la caldera exterior en los lados meridional y oriental, los derrames de lava llenarían solamente las depresiones de las calderas y, con toda probabilidad, no rebasarían los flancos del volcán. Por eso, solamente los flancos en el norte, oeste y suroeste están designados como zona de riesgo potencial de erupciones de lava, por lo tanto este tipo de fenómeno en la erupción del volcán, no inside en el Municipio de Ameca (Figura 5.1.4.16).

Sin embargo, resulta de importancia secundaria la zona de conos escoriáceos que se extiende del noroeste y sureste a través del volcán pues podría representar un riesgo potencial de erupciones de lava, ya que todas las erupciones en esta zona ocurrieron hace más de 1,000 años, por lo que aquí el riesgo es menor.

5.1.4.2.2.3. Erupciones de Cenizas

Es probable que las erupciones de lava estén acompañadas por erupciones de cenizas como la de 1870. La distribución de cenizas durante una erupción depende de la explosividad de la erupción y de la dirección y fuerza del viento. La dirección predominante de los vientos en esta parte de México es W-SW: por ello, la distribución de cenizas de caída libre de la pómez de Jala y la erupción de 1870 (Iglesias et al., 1877) ocurrió al noreste y este del Ceboruco. Sin embargo, pueden ocurrir cambios en la dirección del viento durante una erupción y deben considerarse. En la figura 5.1.4.17. la zona de peligro de caída de cenizas incluye todos los flancos del volcán y las áreas al norte, noreste y este del volcán, que son la misma áreas que fueron afectadas por las erupciones de los últimos 1, 000 años.

5.1.4.2.2.4. Derrames Piroclasticos

En general, los vulcanólogos reconocen dos tipos de derrames piroclásticos: los producidos por “chorros dirigidos” y los que resultan del colapso de una columna eruptiva pliniana. Las cenizas de Marquesado (Figura 5.1.4.18) parecen haber sido del primer tipo, ya que están concentradas bajo lugares donde se interrumpe la pared de la caldera. Los dos tipos de erupciones de derrames piroclásticos podrían afectar todos los flancos del volcán y los valles de los alrededores, como los de Jala, Ahuacatlán y Tetitlán. Por eso estas áreas están designadas en la figura 5.1.4.18 como áreas de riesgo de derrames piroclásticos.

Por lo mencionado anteriormente no hay peligro de derrames piroclásticos por actividad de este volcán en el Municipio de Ameca.

5.1.4.2.2.5. Lahares

Hay pocas evidencias en los estudios del Ceboruco que sugieran que se hayan producido corrientes de lodo o lahares en los flancos de este volcán en el pasado. Estos fenómenos pudieran ocurrir, sin embargo, a raíz de procesos secundarios. Por ejemplo, si una erupción de cenizas dejara gruesos depósitos de cenizas no consolidada en los flancos del volcán y ésta fuera seguida por lluvias torrenciales, existiría la posibilidad de la



formación de lahares. En la misma forma, si se descargan derrames piroclásticos rápidamente hacia los ríos, se formarían lahares. Por eso, los lahares son posibles sólo durante la temporada de lluvia, entre los meses de Junio y Octubre, cuando el Río Ahuacatlán y otros arroyos de la región tienen caudales importantes. Las áreas con el potencial de riesgos de lahares están señaladas en la figura 5.1.4.19.

5.1.4.2.2.6. Inundaciones

Como los riesgos de lahares, los de inundaciones existen solamente en la época de lluvias. Sin embargo, estos riesgos se presentarían sólo cuando un derrame de lava o cenizas alcanzara los cursos de los ríos o arroyos que llevaran agua. Por eso, los riesgos de inundaciones existen en las riberas del río Ahuacatlán y los arroyos de Jala, como se muestra en la figura 5.1.4.19.

5.1.4.2.3. Volcán Fuego de Colima

El volcán de Colima o volcán de Fuego, también se conoce como nevado de Colima, se eleva a 3,860 msnm. Ubicado en las coordenadas [19°33'49"N 103°36'29"O / 19.56361, -103.60806](#). (figura 5.1.4.21). Se localiza aproximadamente a 105 Km del Municipio y a 117 Km de la cabecera Municipal de Ameca (figura 5.1.4.20)

Este volcán lo comparten los estados de Jalisco y Colima, en México. Los municipios afectados por la actividad del volcán son Comala y Cuauhtémoc, en Colima, y Tuxpan, Zapotitlán y Tonila en Jalisco. El tipo de volcán es un estratovolcán; sus erupciones se han considerado explosivas. A lo largo de 500 años el volcán ha tenido más de 40 erupciones.

Es el volcán más activo de México. Su parte superior cambia de lugar constantemente, por lo cual en algunas ocasiones crece y posteriormente se derrumba. Los límites del cráter han sido borrados en su totalidad debido al ascenso de su tapón, compuesto por grandes bloques de roca.

Entre 1961 y 1987, las erupciones derrumbaron las orillas del cráter y formaron acumulaciones progresivas por las laderas. Sobre la vertiente oriental presenta dos prominencias, llamadas "los hijos", de 3 600 msnm, que fueron producidas por erupciones sumamente antiguas. El 21 de julio de 1994, a las 20 horas, produjo dos grandes detonaciones. El 24 explotó el tapón de su chimenea y provocó temor en las poblaciones vecinas.

5.1.4.2.3.1. Análisis del Riesgo del Volcán de Colima.

La vulnerabilidad es mayor hacia el sur del volcán que en el norte, debido a la barrera Topográfica que representa el Nevado de Colima, cuya estructura solo permitiría el paso de material cónico de caída libre hacia el norte. La zona de mayor riesgo por la actividad volcánica es delimitada a partir de la barranca de Atenquique al este, la barranca de Planos al oeste, ambos encajamientos unidos casi de forma perpendicular con las barrancas de los ríos Tuxpan y Armería. De acuerdo con Martín del Pozo en 1984 los principales productos emitidos en anteriores etapas explosivas, que han representado peligro sobre la vida y los bienes instalados en esta zona de riesgo, son los siguientes.

A) Caída de ceniza.



B) Flujo piroclastico.

C) Flujo de lava.

D) Flujo de lodo (lahares).

E) Avalanchas de escombros.

5.1.4.2.3.2. Caída de Ceniza.

Los efectos de las caídas de cenizas varían dependiendo del volumen del material expulsado, la duración o intensidad de erupción de los vientos dominantes al suceder esta. La dirección de los vientos dominantes en el volcán de Colima son de SW-NE durante la mayor parte del año a excepción de los primeros meses en que varía el NW y el E: si sumamos estas características a los antecedentes históricos de las erupciones de 1818 y 1913, en que se reportaron caída de cenizas en Ciudad Guzmán, Guadalajara, Zacatecas, Guanajuato y San Luis Potosí (Flores,1987), nos permite establecer el actual escenario de riesgo para este tipo de producto, que afectaría principalmente a las localidades urbanas en el sector norte del complejo volcánico “ Volcán - Nevado de Colima” , como son las ciudades de Ciudad Guzmán, Tuxpan, Tamazula la zona conurbada de Zapotiltic-Huescalapa, Zapotitlán de Vadillo Venustiano Carranza, Atenquique, Tecalitlán, Alista, Cópala, El Fresnillo y un gran número de pequeñas localidades y rancherías diseminadas en toda la región. El municipio de Ameca también se vería afectado por la caída de cenizas por este volcán, en un nivel de riesgo bajo a medio.

Los daños que causaría la caída de cenizas en las localidades mencionadas, así como a las industrias establecidas dentro y fuera de estas áreas urbanas, serian los siguientes: El colapso de los techos y estructuras industriales por el peso de las cenizas acumuladas sobre de ellos.

El daño de los suelos agrícolas y en los de agostadero adyacentes al volcán variaría de acuerdo al espesor de las cenizas acumuladas; esta acumulación inutilizaría por un tiempo indeterminado, gran parte las tierras de cultivo; la producción agrícola que es afectada inmediatamente seria de maíz, caña, sorgo, frijol, café y otros cultivos, la población dedicada a las actividades agropecuarias y silvícolas que podrían ser afectadas serian 44,551 personas (INEGI 1991), así como 21,915 personas (INEGI, 1991) empleadas en la industria de la zona que depende directamente de la producción de la caña y del bosque.

Otros sectores importantes que se podrían ver afectados por este tipo de emisión volcánica son las comunicaciones y el suministro de electricidad y agua: El primero seria afectado por la interrupción temporal del trafico vehicular y ferroviario del Puerto de Manzanillo al centro occidente del país, creando con ello un corte en el flujo de mercancías de exportación llevado a cabo por este importante canal económico del país, ocasionando con ello grandes pérdidas económicas.

Otros problemas que se pudieran solicitar, por la caída cenizas, son daños a las líneas utilizadas para el suministro de energía eléctrica, el cual provocaría la suspensión del servicio en un importante sector de la zona de riesgo y también una reducción del fluido eléctrico en puntos alejados, como lo es la ciudad de



Guadalajara o Municipio de Ameca, este tipo de efecto también lo resentirían las líneas telegráficas y telefónicas, además de posibles incendios forestales.

El polvo suspendido en el aire puede provocar problemas respiratorios y visuales en la población y en los animales; las sustancias tóxicas emitidas durante una fase explosiva podrían contaminar los suministros de agua que proveen a la gran mayoría de las localidades ubicadas en un radio de 20 Km. O fijar elementos venenosos en la vegetación que sirve como forraje para el ganado.

5.1.4.2.3.3. Flujos Piroclásticos.

Los flujos emitidos por el volcán de Colima durante las etapas explosivas que caracterizan la terminación de cada ciclo eruptivo (M. Del Pozo 1987), se han canalizado fundamentalmente por la barranca que tiene su origen en la parte superior del cono volcánico, la ocurrencia de este fenómeno en la historia eruptiva del Colima hace susceptible en la actualidad una alta probabilidad de que suceda nuevamente, lo que vendría a afectar a la actividad económica y demográfica desarrollada en el pie del monte y valle del sector sur de esta estructura volcánica.

Durante la erupción de 1913 (Waitz, 1932) reporto que los flujos emitidos en esta crisis volcánica se canalizaron por las barrancas de la Lumbre, Beltrán y una barranca situada al sur, extendiéndose hasta 15 Km. del cráter; con estos antecedentes, junto con las observaciones de campo realizadas durante dos años con Martín Del Pozo, se delimito el área de riesgo para los flujos piroclásticos y surges. Los limites de esta zona son la intersección de la Barranca Plátanos y de Beltran con el Río Tuxpan en el oriente; en la ladera poniente, lo es la Barranca de la Lumbre, continuándose por el Río Armería hacia el sur y, cerca de la localidad de la Caja, el limite se une al primer punto, formando una especie de abanico; el área total de esta zona es de 397.5 kilómetros cuadrados.

Los centros poblacionales situados en esta zona se encuentran expuestos a sufrir serios daños por este tipo de emisión volcánica, tal y como ha sucedido en otros volcanes, como el Chichonal en Chiapas (1982).

Las principales localidades del sector sur del volcán de Colima que pueden ser afectados por la actividad de flujos piroclásticos en un radio aproximado de 25 kilómetros son: Juan Barragán, La yerbabuena, Cofradía, Atenguillo, El Fresnal, La Becerrera, El Jabalí, San Antonio, Barranca del Agua, L. De carrizalillo, Tonila, San Marcos, Montitlán, El Naranjal, La Lima, El Nuevo Naranjal, La Quesería y otras localidades menores.

Como ya se ha descrito, en esta zona se lleva a cabo una importante actividad económica, dominando las actividades agrícolas e industriales, las cuales pueden ser destruidas y/o afectadas total o parcialmente si se encuentran dentro de la trayectoria directa de un flujo o surge.

Las actividades agrícolas predominantes son los cultivos de maíz y caña, ambos con un alto grado de rendimiento; el primero presenta aproximadamente el 10% del total cultivado en el área, esto es 14,000 hectáreas que tienen una producción aproximada de 42,000 toneladas con un precio de garantía de 9.5 millones de dólares, mientras que el cultivo de la caña cuenta con una superficie de 11,000 hectáreas, las



cuales tienen una producción de 592,000 toneladas con un valor de 10 853, 000 dólares. La producción de caña de la zona constituye la materia prima del ingenio de Quesería, localizado a 15 Km al sureste del cráter; esta agroindustria da empleo directo a 644 personas, así como a un sinnúmero de jornaleros que reciben entre 25 y 30 pesos diarios.

Otro elemento que puede ser afectado y causar interrupción temporal en el flujo económico entre los países que integran la llamada “ Cuenca del Pacifico “ el Puerto de Manzanillo y el Centro Occidente de México, es la supercarretera Guadalajara-Manzanillo y la carretera libre en su segmento Barranca de Beltrán a Barranca la Arena; dentro de este tramo existen 8 barrancas que en un momento dado podrían servir de cause para los flujos piroclásticos, los cuales destruirían o dañarían seriamente a las estructuras que conforman los puentes de estas carreteras y del ferrocarril, los daños serian debido a la alta temperatura con que descienden estos flujos por los flancos del volcán y a la abrasión que pueden producir al entrar en fricción con la base de los puentes. El flujo piroclastico al igual que el volcán Ceboruco, solamente está incidiendo el riesgo para las poblaciones locales, quedando fuera de este peligro ciudades como Guadalajara o Municipio de Ameca.



5.1.4.2.3.4. Flujo de Lodo (Lahares).

Una erupción del volcán de Colima puede depositar gran cantidad de material piroclástico sin consolidar en sus laderas; al mezclarse con agua, o por precipitaciones pluviales originadas por la propia erupción o por fenómenos meteorológicos, pueden producir flujos de lodo o lahares, que se desplazarían a través de las barrancas existentes en el sector sur del volcán. Estos podrían alcanzar distancias mayores que los propios flujos piroclásticos, afectando a las localidades, actividades económicas e infraestructura que se encuentran en las márgenes o sobre las barrancas en que fluyan.

Las localidades que podrían verse afectadas son la Yerbabuena, Juan Barragán, La Becerrera, El Jabalí, San Antonio, La Caja, Cofradía, Huisichil, Atenquique y otros más. Cabe señalar que Atenquique ya fue destruido en la década de los cuarenta por un flujo de lodo cuyo origen obedeció a factores atmosféricos y no a volcánicos; tal situación hace vulnerable a esa importante localidad industrial.

5.1.4.2.3.5. Flujo de Lava.

El área de mayor riesgo por emisiones de lava, se circunscribe a la parte superior del cono y presenta un peligro relativo, a la población asentada en los valles del volcán; esta relatividad es debida a que el volumen y carácter viscoso de las lavas, arrojadas en anteriores eventos históricos, no han permitido que estas bajen (varios años después de la emisión) a cotas inferiores a los 2000 msnm; la única localidad que corre peligro por los flujos de lava es el nuevo centro ejidal de población Juan Barragán ubicada a escasos 8 Km al Este del cráter a una altura de 1400 msnm y situada en el parteaguas de las barrancas de Beltrán y de los Durazos.

Los daños económicos por este tipo de emisión se remitirían a la de los suelos dado que su recuperación tardaría cientos de años. Otros daños serían los incendios forestales que mermarían los suministros de madera requeridos por la compañía Industrial de Atenquique para el proceso de celulosa y el papel.

5.1.4.2.3.6. Avalancha de Escombros.

El riesgo de un evento que de origen al colapso estructural de un segmento de la estructura del volcán y, por consecuencia de lugar a una avalancha de escombros de tipo Sta. Elena, es bajo, pero de originarse, el riesgo que implicaría a la población y a las actividades económicas desarrolladas en la región sur, sería a escala sin precedentes en el país, puesto que plantearía la evacuación total de los habitantes de la zona sur del volcán incluyendo localidades importantes como Quesería, Cuahutemoc, Tepames y la Zona Metropolitana de la ciudad de Colima (la zona norte se protege con el Nevado de Colima, volcán extinto de 4300 MSNM) ; se perderían además, casi totalmente las actividades agropecuarias, industriales, comerciales y turísticas, así como la mayor parte de la infraestructura instalada en la región.



5.1.4.2.3.7. Mapa de peligros para el Volcán de Colima

El mapa de peligros por el volcán de Colima se muestran en la figura 5.1.4.2.2.

Mapa de peligros del volcán de Colima, reducido y adaptado del mapa publicado por el Instituto de Geofísica en 1995. En esta versión reducida no se muestran los efectos de caída de ceniza ni algunos otros detalles. Las áreas de peligros señaladas se calcularon con base en estudios geológicos y geomorfológicos así como en registros históricos de observaciones sobre las erupciones anteriores y sus efectos. Un margen de 2 km fue agregado a las áreas amenazadas por flujos piroclásticos con mayor movilidad (Cenapred, 2001).

Las áreas frecuentemente afectadas por flujos piroclásticos y lahares secundarios están marcadas en rojo. Estos flujos ocurren por lo menos una vez cada 100 años. Los lahares pequeños o ríos de lodo pueden presentarse varias veces en una década mientras que los lahares grandes están asociados a erupciones fuertes que ocurren aproximadamente cada 100 años. La parte superior del cono también está sujeta a explosiones y a la caída de fragmentos balísticos (CENAPRED, 2001).

En naranja se marcan las áreas que pueden ser alcanzadas por flujos piroclásticos y nubes de ceniza con gran movilidad. Estas nubes pueden sobrepasar cerros como ocurrió en la parte sureste del volcán. Sin embargo, este tipo de flujo es poco frecuente.

En café se marcan las áreas sujetas a inundaciones por acumulación de productos volcánicos que obstruyen el flujo de agua.

Conclusión y Comentarios

Nadie puede establecer cuándo podrían hacer erupción nuevamente los volcanes del Ceboruco y Colima, como tampoco es posible predecir el tipo de sus erupciones. Se piensa solamente las posibilidades en el caso de que los volcanes hicieran otra vez erupción en los años venideros.

Los diferentes eventos vulcanológicos que han existido a lo largo de la historia del estado de Jalisco fueron presentados por el Volcán Colima y el Volcán Ceboruco, los cuales han afectado a 8 municipios solo con la ligera caída de cenizas, los municipios son los siguientes Guachinango, Tala, Zacoalco de Torres, Zapotitlán de Vadillo, La Manzanilla de la Paz, Teocuitatlán de Corona, Tuxpan y Zapotiltic. Y el municipio de Tonila el cual por su cercanía al Volcán Colima fue afectado por flujo magmático, en el caso del Volcán de Colima, así como poblados cercanos al Volcán de Ceboruco.

No se tiene evidencia de afectación a lo largo de la historia eruptiva del vulcanismo en el Municipio de Ameca, pero en el caso de erupción de algunos de los volcanes analizados y más cercanos al Municipio, se consideraría solamente una ligera caída de cenizas volcánicas, dependiendo de la fuerza y dirección de los vientos y el tipo de erupción de los volcanes. Por lo que se establecería un peligro muy bajo por vulcanismo para el Municipio de Ameca.



5.1.5. Deslizamientos

5.1.5.1. Antecedentes

Si bien los deslizamientos, derrumbes o avalanchas no causan el daño que causan los terremotos, huracanes o inundaciones; su importancia no es menor, al ser eventos focalizados y muchas veces sucediéndose a eventos mayores, como terremotos o huracanes (o ambos) estos pueden causar un daño muy severo; en el largo plazo estos peligros focalizados son los que generan más pérdidas de vidas humanas y mayores costos en infraestructura y viviendas dañadas; aunado a esto habría que agregar el costo de operación anual para la remoción de escombros en las carreteras, brechas y terracerías en el Municipio de Ameca.

El municipio de Ameca cuenta con una región bastante extensa de superficies planas o semi-planas (pendientes menores a 15°); prácticamente el 65% de su territorio (544.42 km²) está en esta categoría; esta extensión de terreno es lo que se conoce como el valle de Ameca al Este del Municipio.

En lo relativo a la distribución de su población, como es de esperarse, el 99% vive en las partes más planas (0° a 15°); y sólo el 1% restante vive en terrenos con pendientes que van de los 15° a los 30°.

El 24,2% del territorio (203.17 km²) se conforma de lomerío y terrenos montañosos con pendientes que están entre los rangos de mayores de 15° a menores de 30°; las pendientes menores a 30° no representan ningún tipo de peligro para los fenómenos geológicos aquí descritos, por tal motivo para este análisis se trabajó con las pendientes mayores de 30°.

En términos de porcentajes el 9,8% del territorio (82.23 km²) se encuentra en pendientes mayores a 30°; este porcentaje, de casi el 10% de la superficie del Municipio, es en donde se ubican los sitios potenciales para los fenómenos geológicos como deslizamientos, derrumbes y flujos y por lo tanto requiere de un detallado análisis a fin de poder determinar su riesgo y posible afectación a la población o a la infraestructura productiva o de servicios existente en el Municipio de Ameca (Tabla 5.1.5.1 y Figura 5.1.5.1).

A partir del mapa de pendientes explicado en el punto 5.1.5.3 se obtuvieron los datos mencionados en los párrafos anteriores.

5.1.5.2. Deslizamientos antiguos

Como parte de la metodología se realizó una investigación documental en fuentes de información oficiales así como en la hemeroteca de el periódico “El Informador”, además se realizaron llamadas telefónicas a algunas localidades para corroborar la información encontrada y se sostuvieron pláticas con personal de la Unidad Municipal de Protección Civil (UMPC); esta investigación nos permitió elaborar el mapa de deslizamientos antiguos.

A través de las entrevistas con el personal de UMPC supimos del continuo trabajo de remoción de escombros tanto por derrumbes como por desprendimientos de material en las carreteras del municipio, principalmente



en la carretera hacia Ahualulco al norte del Municipio; y en menor medida en la carretera hacia Talpa; estos problemas también se presentan en las terracerías que van hacia Las Pilas y a El Magistral; estos trabajos suceden cada año principalmente en la época de lluvias.

Se realizaron algunas llamadas telefónicas a diferentes parroquias del municipio de Ameca, en la parroquia de San Francisco a la cual pertenece la localidad de Las Raíces, la persona que se identificó como el sacerdote del lugar dijo no tener conocimiento de ningún derrumbe o desgajamiento de cerro ni reciente, ni antiguo en lo que se refiere a la localidad de Las Raíces, por ejemplo.

En la localidad de las Pilas se logró hacer contacto telefónico con una señora quien dijo no saber nada del tema pero si tenía recuerdos de historias que su Mamá le contaba sobre un desgajamiento grande del cerro en horas de que la gente laboraba en el campo, y que fue considerable la cantidad de personas que perdieron la vida en ese fenómeno, para la localidad de El Magistral no fue posible recabar información alguna.

Cabe mencionar que en la zona de Las Raíces se detectó un deslizamiento antiguo, el cual no está documentado en las fuentes oficiales consultadas y el personal de protección civil del municipio mencionó no tener conocimientos sobre algún deslizamiento en el municipio.

A partir del Atlas Estatal de Riesgos del Estado de Jalisco se encontraron solamente 3 deslizamientos reportados para el Municipio de Ameca; estos se generaron en los años de 1923 y 1925 en las localidades de El Magistral, Las Pilas y Las Raíces; los daños fueron cuantiosos según reporta la prensa sin detallar lo sucedido en estas localidades y sin ubicar plenamente los “deslaves” (Figuras 5.1.5.2, 5.1.5.3 y 5.1.5.4).

Del análisis de toda la información mencionada se construyó el mapa de deslizamientos antiguos (14006_Desl_ant) del Atlas de Riesgo del municipio de Ameca.

5.1.5.3. Deslizamientos, derrumbes y/o flujos potenciales

Para poder determinar los sitios potenciales a deslizamiento, derrumbes y/o flujos en principio se generaron algunos mapas que fungieron como insumo de este análisis; el mapa de pendientes (14006_Pend) se categorizó según lo marca la SEDESOL (ver Tabla 1) y de este se obtuvieron las pendientes mayores a 30°; también se generó un mapa de orientaciones (aspecto) para poder estimar la dirección del deslizamiento; se utilizó el mapa de litología (elemento del Atlas 14006_Litología) generado a partir de información de INEGI a fin de ubicar los sedimentos, en este caso solo se tienen aluviales; y, con la ayuda del servicio web de la imagen SPOT para el Estado de Jalisco (<http://sitel.jalisco.gob.mx/cgi-bin/spot?>) se detectaron los suelos desnudos (lugares donde no existe cubierta vegetal o se trata de algún tipo de pastizal ó afloramiento de roca); una vez que se tenían estos insumos se realizó el cruce de capas a fin de determinar los sitios potenciales a deslizamientos, derrumbes y/o flujos.

Las variables fueron las siguientes:

Pendientes mayores de 30° y suelos desnudos.

Pendientes mayores de 30° y sedimentos.



El mapa resultante (14006_Desl_pro) contiene 2,749 polígonos que se determinaron como sitios potenciales a deslizamientos, esta información se convirtió en el principal insumo para el análisis de los fenómenos geológicos a estudiar respecto al peligro ocasionado por taludes en el municipio de Ameca. Este mapa se intersectó posteriormente con el mapa de orientaciones para determinar la dirección posible de deslizamiento.

5.1.5.4 ¿Qué puede ser afectado?, mapa de exposición.

Los polígonos potenciales obtenidos están distribuidos en las partes serranas del municipio (Norte, Oeste y Sur); para demarcar las zonas de interés se elaboró un mapa de exposición el cual consiste en determinar las zonas del municipio en las cuales existe población o infraestructura que puede ser dañada en el caso de que un evento suceda.

Con este mapa se determinaron las regiones a estudiar y con el apoyo de un geotecnista se procedió a determinar las zonas de mayor peligro en el municipio; posteriormente estas áreas se verificaron en entrevistas con personal de la unidad de protección civil del municipio y se procedió a realizar las visitas de campo para levantar información.

Al norte del municipio, en el tramo de la carretera estatal a Ahualulco de Mercado, pasando la localidad de El Portezuelo, se registraron 24 sitios de los cuales 5 se clasificaron con un nivel de amenaza medio otros 7 con nivel alto y 12 con nivel de amenaza muy alto. Figura 5.1.5.5.

Al oeste del municipio, en el tramo de la carretera federal a Puerto Vallarta, antes de la localidad La Herradura y antes del puente Las Güeras, dentro de los límites del municipio se registraron 6 sitios de los cuales 2 se clasificaron con un nivel de amenaza alto y los otros 4 como muy alto. Figura 5.1.5.6.

Al sur del municipio, en el camino que va a Quila se registraron 9 sitios de los cuales 5 se clasificaron con un nivel de amenaza medio y los otros 4 con nivel alto. Figura 5.1.5.7.

Cerca de la localidad de Las Raíces se registró 1 sitio con un nivel de amenaza clasificado como muy alto. Figura 5.1.5.8.

En la localidad de El Arco se registró 1 sitio clasificado con un nivel de amenaza medio. Figura 5.1.5.9.

En la localidad de El Magistral se registró 1 sitio clasificado con un nivel de amenaza medio. Figura 5.1.5.10.



5.1.6. Derrumbes

5.1.6.1. Antecedentes

Con base en las visitas de campo se pudo observar que, para el caso de los peligros ocasionados por taludes en el municipio, estos están relacionados con macizos rocosos, el espesor de los suelos es corto en todos los casos (menor de 1,0 m), es decir los taludes en peligro de deslizamiento (derrumbe), desprendimiento o avalancha de detritos son rocosos.

En visitas a campo se registraron las coordenadas de los sitios que presentaban derrumbes, desprendimientos o avalanchas de detritos. Y se procedió a evaluar sus características geológicas (tipo de roca, altura del talud y el índice GSI) para definir el nivel de amenaza o peligro de cada sitio. Se definieron polígonos clasificados como derrumbes, detritos, avalancha de detritos y rocas que pueden rodar; en total se inventariaron 42 sitios de peligro, éstos se encuentran todos relacionados con carreteras o brechas, sólo 2 están relacionados con vivienda.

Para la clasificación de los macizos rocosos se empleo el índice Geológico de Resistencia GSI (geological strength index), (Hoek et al. 1995), que evalúa la calidad del macizo en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades (Figuras 5.1.6.1. y 5.1.6.2.).

Con base en la caracterización del macizo rocoso, la altura del talud y el tipo de roca se otorgó el valor del peligro:

- 1) Muy Bajo
- 2) Bajo
- 3) Medio
- 4) Alto
- 5) Muy alto

En la síntesis de peligro para deslizamientos, derrumbes y detritos (documento Anexo), se pueden observar los resultados obtenidos de las visitas a campo, con las coordenadas de cada punto, una memoria fotográfica y la evaluación final del peligro para cada elemento (talud).

5.1.6.2 Deslizamientos (derrumbes), detritos (avalanchas y desprendimientos) y trayectorias posibles.

Con base en las coordenadas de los sitios registrados en campo se elaboraron los polígonos de las capas 14006_Desl y 14006_Det_Avalan, tomando como criterio para delimitarlos las curvas de nivel con equidistancia de 20 m. Estos polígonos se elaboraron utilizando software de sistemas información geográfica Kosmo v2.0.1, ArcGis 9.3 y el paquete OpenOffice.org 3.2. Para estas 14006_Desl y 14006_Det_Avalan se utilizaron los polígonos clasificados como derrumbes (Figura 5.1.6.3.).

Las trayectorias se estimaron con respecto al mapa de orientación (aspecto) y el mapa de curvas de nivel. (14006_Desl_Tray y 14006_Det_tray).



Estos sitios potenciales se encuentran en las partes montañosas del Municipio de Ameca, por lo tanto la cabecera municipal está exenta de este tipo de fenómenos.

Derivado de las visitas a campo se constató que la parte con mayor número de peligros es la carretera que va de la cabecera municipal a Ahualulco; los peligros se encuentran principalmente en los cortes de la carretera misma y existe evidencia de que continuamente se realizan trabajos de remoción de escombros; en muchos casos se percibieron pequeños derrumbes en el acotamiento; esta información coincide con lo señalado con las personas de protección civil que fueron entrevistadas. (Figura 5.1.6.4.).

En las brechas y terracerías al oeste del municipio rumbo a la localidad de Las Raíces también se encontraron cortes con fracturación intensa que originan constantes derrumbes.

En las brechas y terracerías del municipio la situación es similar; en ambos casos se tomaron las coordenadas de cada derrumbe o avalancha y se tomaron las fotografías necesarias de cada lugar (Figura 5.1.6.5.).

En la síntesis de peligro para deslizamientos, derrumbes y detritos (documento Anexo), se puede observar la memoria fotográfica completa.

En el tramo de la carretera hacia Ahualulco se registraron 20 sitios principalmente corte de taludes relacionados con la carretera; en la terracería rumbo a El Arco se levanto un deslizamiento antiguo y un peligro de rodamiento de rocas, en el tramo de la carretera a Talpa dentro de los límites del municipio de Ameca, se registraron 11 sitios, principalmente relacionados con corte de taludes en la carretera, en las localidades de Las Raíces y El Magistral se registró 1 punto en cada una. En la brecha que va a la localidad de Quila, dentro de los límites del municipio de Ameca, se registraron 9 sitios más.



5.1.7. Flujos

5.1.7.1. Antecedentes

El mapa de flujos susceptibles (14006_Flu_pro) se originó tomando de insumo el mapa de deslizamientos potenciales e intersectándolo con el mapa de lluvias máximas en 24 horas; los grados se determinaron según la escala (Ferrer y Ayala, 1996) siguiente:

- 2) <100 mm/día, bajo
- 3) 100-200 mm/día, medio
- 4) 200-400 mm/día, alto
- 5) >400 mm/día, muy alto

Debido a que el espesor del suelo (sedimentos), es menor a 1 metro en los taludes con pendientes mayores a 30° en los sitios recorridos en el municipio; y, a que no se cuenta con información suficiente y confiable para establecer que el fenómeno este presente y causando afectaciones a la población o a la infraestructura del municipio el apartado de flujos se cierra hasta la generación del mapa 14006_Flu_pro.



5.1.8. Hundimientos

5.1.8.1. Introducción

El término genérico de subsidencia hace referencia al hundimiento paulatino de la corteza terrestre, continental o submarina. La subsidencia terrestre, es un fenómeno que implica el asentamiento de la superficie terrestre en un área extensa debido a varios factores, que pueden ser naturales o causados por el impacto de una gran variedad de actividades humanas (Corapcioglu, 1984).

La sobreexplotación de un sistema acuífero de una cuenca sedimentaria que contiene rellenos granulares con potencial de ser consolidados, tiene como consecuencia la generación de hundimientos graduales del suelo. Los hundimientos que se presentan como consecuencia de la sobreexplotación del agua del subsuelo (y de cualquier sólido o fluido) traen consigo problemas, no solo económicos por los daños que causan directamente sobre las propiedades de los particulares y en la infraestructura urbana, sino también sociales y legales por el riesgo que conlleva habitar en una zona donde los hundimientos provocan cada vez más frecuentes inundaciones, y donde la aparición de una nueva grieta es latente.

Los hundimientos de la superficie que genera el fenómeno de la subsidencia ocasionada por la extracción del agua del subsuelo es un problema mundial en zonas agrícolas y urbanas que dependen en gran medida del suministro de agua a través de la perforación de pozos profundos (Poland, 1984).

En la mayoría de los casos presentes en el mundo la subsidencia está asociada con fallas geológicas, así como también con antiguas zonas lacustres y/o fluviolacustres; dicha combinación de factores da lugar a agrietamientos superficiales debido a una consolidación diferencial de los sedimentos que sobreyacen a las fallas geológicas, las cuales controlan su depósito (Holzer, 1984). A medida que la deformación continúa a través del tiempo, estos agrietamientos se convierten en fallas visibles en la superficie con una geometría semejante a la discontinuidad presente en las secuencias terrígenas lacustres y /o fluviolacustres, así como el basamento rocoso (Avila-Olivera y Garduño-Monroy, 2003).

Las zonas con mayor potencial para la explotación del agua del subsuelo, y por tal razón las que presentan un mayor desarrollo y crecimiento, son los valles formados en cuencas que en un proceso de millones de años han sido cubiertas por materiales granulares, usualmente de origen aluvial y lacustre, los cuales son un excelente medio para la formación de depósitos de agua susceptibles de ser aprovechados.

Cuando la cantidad de agua que se extrae del subsuelo es más grande que la cantidad de agua que entra al acuífero por infiltración, se dice que el acuífero está siendo sobreexplotado. La sobreexplotación del acuífero de una cuenca que contiene rellenos granulares, aluviales y lacustres con potencial de ser consolidado, tiene como consecuencia la generación de hundimientos, asentamientos y acomodamiento granulares de los rellenos, y la generación de grietas en la superficie del terreno.

Los hundimientos son un fenómeno geológico que no suele ocasionar víctimas



mortales, aunque los daños materiales que causa pueden llegar a ser cuantiosos. Es de gran importancia en zonas urbanas, donde los perjuicios ocasionados pueden llegar a ser ilimitados, suponiendo un riesgo importante para edificaciones, canales, conducciones, vías de comunicación, así como todo tipo de construcciones asentadas sobre el terreno que se deforma, situaciones que no le permiten a una ciudad el desarrollo territorial.

En México, el primer caso reportado del fenómeno de subsidencia fue detectado de manera casual en el año de 1925 por el Ing. Roberto Gayol, al observar una serie de deformaciones que afectaban al sistema de drenaje de aquel entonces de la Ciudad de México. Sin embargo tuvieron que pasar más de 20 años para que Nabor Carrillo en 1948 estableciera las primeras relaciones entre el hundimiento, la consolidación de las Arcillas y, la extracción del agua del subsuelo a través de pozos profundos (Poland, 1984). Después, a principios de la década de los 80's en algunas de las principales ciudades del centro del país, asentadas en valles fértiles de sedimentos lacustres y/o fluviolacustres de la zona norte del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) (figura 5.1.8.1.1.) se comenzó a observar que sus edificaciones son dañadas por agrietamientos y fallas en la superficie que generan hundimientos diferenciales (Valencia, 1995, Alvarez-Manila, 1999, Garduño-Monroy et. Al., 1998, 1999).

En el Estado de Jalisco la subsidencia ha provocado daños materiales de considerable valor y ha sido un problema recurrente en diversas ciudades medias que se localizan en valles cuyos materiales están relacionados con secuencias sedimentarias que rellenan depresiones tectónicas y que, eventualmente, tienen intercalados materiales volcánicos (cenizas y lavas). Tales son los casos de la Ciudad de México, Salamanca y Aguascalientes, por ejemplo, que están asentadas en cuencas lacustres. En Jalisco hay un caso que llama la atención por su complejidad y que de acuerdo a sus pobladores tiene mas de 15 años aproximadamente, esta población es Ameca.

5.1.8.2. Antecedentes

Desde hace tiempo se han realizado esfuerzos aislados (CENAPRED, 2003; SGM, 2005) para investigar los factores que determinan los daños a las viviendas y vialidades en la ciudad de Ameca. Sin embargo, estos esfuerzos no han sido articulados por una instancia competente de tal manera que las conclusiones de los estudios no visualizan la problemática de manera integral y son contradictorias. Por ejemplo, se desconoce si las viviendas fueron construidas con las especificaciones mínimas de calidad, es decir buenos cimientos, castillos, etc. Por otra parte, resalta el hecho de que no se cuente con un registro histórico (o cómo han evolucionado) los daños, las fracturas geológicas, los niveles estático y dinámico del acuífero.

El asentamiento o hundimiento del terreno como consecuencia de la sobreexplotación de los acuíferos y fallamiento activo, es un efecto común que se manifiesta en acuíferos granulares como es el caso de las ciudades de México, Querétaro, Celaya, Salamanca, Aguascalientes y otras ciudades del altiplano mexicano.



En la población de Ameca se han presentado en los últimos años una serie de hundimientos diferenciales del suelo, los que han dañado aproximadamente 1,000 viviendas. La zona de daños recorre en sentido noroeste sureste la población. La manifestación del fenómeno se observa a manera de líneas (grietas).

Este problema no solamente se presenta en esta población, la encontramos, en otras ciudades de Jalisco como Chapala y Ciudad Guzmán.

Los hundimientos relacionados a la presencia de lineamientos, se ha asociado una serie de variables como el fenómeno de extracción de agua, sobreexplotación de acuíferos, problemas sísmicos, de mecánica de suelos, cambios climáticos, condiciones geomorfológicas, a esto se añaden también problemas derivados de la infraestructura como; fugas en la red de agua potable por falta de mantenimiento, sobrepresión, o la calidad de los materiales, por lo tanto es complejo entender en toda sus dimensiones la participación de las variables en la formación de las grietas y los hundimientos diferenciales.

Estudios recientes han realizado inventario de viviendas dañadas, con objeto de identificar el patrón espacial de los efectos. De esto se obtuvo que existen líneas preferenciales en los hundimientos, lo que está indicando que existe un control tectónico. La orientación de las líneas manifiestan las mismas direcciones NO-SE que el sistema de fallas dominante.

Por lo que se considera que son líneas de fallas activadas por fenómenos de sobreexplotación del acuífero y la actividad sísmica. Otros problemas como fugas en la red de agua potable, así como falta de un reglamento de construcción agrava la situación ya de por sí delicado del agrietamiento de las viviendas.

5.1.8.3. Importancia del fenómeno de hundimientos urbanos

Los movimientos verticales y laterales de la superficie terrestre han ocurrido en muchas partes del mundo a lo largo de la Historia. La velocidad con la que suceden puede variar desde extremadamente alta, desarrollándose en segundos, hasta muy baja, cuando la consolidación se produce en largos períodos de tiempo, por ejemplo, miles de años. En este segundo caso es menor su repercusión ingenieril e impacto sobre las actividades humanas. La superficie afectada por la subsidencia también recorre todas las escalas, con áreas que ocupan desde unos pocos metros cuadrados hasta miles de kilómetros cuadrados (Vázquez, 2001).

El fenómeno representa uno de los mayores cambios medioambientales que se ha impuesto sobre el ecosistema en el siglo XX. Con el incremento de la población, la construcción de urbanizaciones en grandes áreas y el desarrollo de la industrialización, sus consecuencias han cobrado gran importancia. En particular, tras la II Guerra Mundial, la subsidencia se ha convertido en un riesgo geológico reconocido mundialmente.

El número de sucesos se ha incrementado alarmantemente. Cuando los movimientos son causados por el hombre se desarrollan en cortos períodos de tiempo, con el consiguiente peligro para las construcciones.

Algunos ejemplos de los efectos de la subsidencia son la interrupción de los gradientes de los arroyos naturales, canales y drenajes, la inversión del sentido del flujo del agua en las acequias de riego, la quiebra de



las cubiertas de los pozos, el fallo de los estribos de los puentes o los mapas topográficos fuera de fecha antes de su publicación.

En las áreas urbanas los perjuicios son ilimitados, afectando a los edificios, las instalaciones y los pavimentos. Han aparecido grietas en las construcciones, desarreglos en las carreteras y vías de ferrocarril, roturas de conductos de alcantarillado y de suministro de agua. En algunas regiones se han provocado inundaciones.

Una excepción a la regla general de que la subsidencia origina daños la constituye la ocasión en la que el asiento ha sido provocado por el hombre para su propio beneficio, por ejemplo con la creación de lagos artificiales como ocurre en el Lago Texcoco, cerca de Ciudad de México (Vázquez,2001).

Otras transformaciones menos apreciables a simple vista son las que afectan a las características hidrogeológicas y de deformación del subsuelo. Debido a la trayectoria impuesta en las presiones intersticiales y efectivas en el terreno, resultan nuevos valores de presiones de pre-consolidación, cambiando el almacenamiento específico y los parámetros resistentes, por lo que el comportamiento del suelo en el futuro será completamente distinto al tenido previamente.

5.1.8.4. Hundimientos en Ameca

En la población de Ameca se han presentado en los últimos años una serie de hundimientos diferenciales del suelo, los que han dañado aproximadamente 650 viviendas. La zona de daños recorre en sentido noroeste sureste la población. La manifestación del fenómeno se observa a manera de líneas (grietas). Ver Figura 5.1.8.1.2.

Este problema no solamente se presenta en esta población, la encontramos, en otras ciudades de Jalisco como Chapala, Ciudad Guzmán, así también se han presentado en ciudades como Querétaro, Aguascalientes, Morelia, Irapuato, Celaya, y en el oriente de la ciudad de México, en la zona de Ixtapaluca.

Los hundimientos relacionados a la presencia de lineamientos, se ha convertido en un tema de discusión, ya que se ha asociado una serie de variables como el fenómeno de extracción de agua, sobreexplotación de acuíferos, problemas sísmicos, de mecánica de suelos, cambios climáticos, condiciones geomorfológicas, a esto se añan también problemas derivados de la infraestructura como; fugas en la red de agua potable por falta de mantenimiento, sobrepresión, o la calidad de los materiales, por lo tanto es complejo entender en toda sus dimensiones la participación de las variables en la formación de las grietas y los hundimientos diferenciales.

Del análisis de viviendas dañadas realizadas por diversas instituciones (CENAPRED, SGM, etc.) consistió primeramente en hacer un inventario de las viviendas, con objeto de identificar el patrón espacial de los daños. De esto se obtuvo que existen líneas preferenciales en los hundimientos, lo que esta indicando que existe un control tectónico. La orientación de las líneas manifiestan las mismas direcciones NO-SE que el sistema de fallas dominante.



Por lo que se considera que son líneas de fallas activadas por fenómenos de sobreexplotación del acuífero y la actividad sísmica. Otros problemas como fugas en la red de agua potable, así como falta de un reglamento de construcción agrava la situación ya de por sí delicado del agrietamiento de las viviendas.

La subsidencia del terreno puede deberse a varios factores: sobreexplotación de acuíferos, fallas geológicas activas, erosión subterránea, formación de oquedades por dilución de rocas carbonatadas, túneles preexistentes. En este sentido un aspecto importante es determinar si los daños a las construcciones en Ameca están asociados a un fenómeno natural o ellos si se relacionan con actividades antrópicas. Por ello es necesario revisar con detalle la información disponible y, donde no exista, generarla a través de estudios posteriores.

5.1.8.4.1. Hundimientos antiguos

Los hundimientos más antiguos corresponden a la década de 1980, misma fecha que se ha presentado en otras ciudades como Morelia. Actualmente, se está presentando un crecimiento de las grietas de Ameca en sentido Noroeste-Sureste. Existen algunas zonas críticas en las que se han medido hundimientos de más de 15 cm.

A partir de 1982 se identifican los hundimientos en Ameca como un problema de magnitud importante, porque se ven afectadas numerosas fincas de la ciudad. Existe un estudio preliminar del 2003 del CENAPRED, donde concluye que la extracción de agua del subsuelo era la causa de los hundimientos diferenciales. En 2004 la U de G realizó un censo de 660 fincas dañadas. Se reconoce daño por sismo y daño por falla geológica. Ninguno de estos estudios concluye en un proyecto ejecutivo de acciones concretas, ya sea de evacuación y demolición, o bien, de reforzamiento y reconstrucción.

Para evaluar el daño estructural de las casas habitación, bienes y servicios, fue necesario tomar datos de los hundimientos visibles en el terreno durante el trabajo de campo. Para ello, se contó con el apoyo: cinta, brújula, nivel y posición GPS. Los puntos censados se ubican en las calles y construcciones en la parte urbana de la ciudad de Ameca. Se recorrieron las calles y en ellas se tomaron datos de más de 70 sitios para elaborar una base de datos con los conceptos de coordenadas X, Y, Z, calle, daño, tipo, clase, abertura de fractura en centímetros, longitud de fractura en metros, densidad de fractura por metro cuadrado, desnivel en el terreno en centímetros, radio de afectación a partir del plano de falla, estructura geológica, ángulo azimutal del plano de falla, inclinación del plano de falla y roca o material geológico. De estos conceptos se utilizó el desnivel medido en centímetros como la variable de hundimiento reconocida en el trabajo de campo. Se tomó como antecedente el trabajo de daños reportados por el sismo de enero de 2003 (Domínguez y Flores, 2003) a través del Sistema Nacional de Protección Civil y CENAPRED y el censo de viviendas dañadas hecho por la Universidad de Guadalajara en el año 2004, en donde se identificaron los daños ocurridos en viviendas de la ciudad de Ameca.



Los valores mínimos son de 0.10 cm y máximo de 47 cm, con un promedio de 10.4 cm, se midieron en 59 sitios dentro de la parte urbana y suburbana de la ciudad de Ameca y quedaron representados en un mapa de puntos como los datos de una variable discreta (Figura 5.1.8.1.3.). Los mayores valores de hundimiento en el terreno se obtuvieron en la calle de La Fe, con 47 cm y valores mayores a 24 cm se obtuvieron en las calles Toluquilla, López Rayón, Guadalupe Vázquez y Venustiano Carranza (Figura 5.1.8.1.4.).

Otros sitios de valores altos de hundimiento se obtuvieron al sur de la zona urbana, sobre la avenida Salvador Esquert y en los límites de la zona militar (Figura 5.1.8.1.5.). Estos sitios se relacionan con las zonas de fallas geológicas que atraviesan diagonalmente la zona urbana, en dirección noroeste – sureste. (Figura 5.1.8.1.5.).

Sitios con valores también altos, entre 17 y 24 cm, se midieron en las calles Bañuelos Ponce (Figura 5.1.8.1.6), Emiliano Zapata, Fresno, Portezuelo, Libertad, López Rayón y Vallarta.

Otros sitios con valores intermedios de 12 a 16 cm se midieron, de poniente a oriente, en las Calles Ojo de Agua, Adolfo Ruíz Cortines, Plutarco Elías Calles, Juventino Rosas, Sevilla, Pedro Moreno y 20 de Noviembre. Valores bajos de 0.10 a 11 cm se midieron en un mayor número de sitios, de entre ellos se mencionan los de las calles Av. Ferrocarril, Felipe Carrillo Puerto, Emiliano Carranza, Rodolfo Romero, Vallarta, Tajo, Ramón Corona, José María Morelos, Cinco de Mayo y Hospital. Hacia el sur de la ciudad se presentan hundimientos de valores bajos en las calles como Juan de la Barrera, Cofradía y Niños Héroes, por mencionar algunas de ellas (Figuras 5.1.8.1.7 - 5.1.8.1.13.).

5.1.8.4.2. Hundimiento propensos

Los hundimientos propensos son las áreas susceptibles a sufrir efectos o daños producto de este fenómeno, con la probabilidad de extensión en fallamiento debido de la tectónica, aunado al continuo extracción de fluidos del subsuelo (Figura 5.1.8.1.14).

El crecimiento poblacional y urbano en el municipio de Ameca se ha caracterizado por su desequilibrio, esto debido a la falta de políticas de desarrollo adecuadas y racionales, que generen una urbanización planificada e integrada con el medio ambiente.

Desde hace varios años, el área de estudio presenta el problema de las grietas y hundimientos. Un considerable número de viviendas se encuentran expuestas a la acción de eventos peligrosos, y sus habitantes pueden sufrir, en consecuencia, pérdidas en su vivienda, bienes e incluso sus vidas.

El número de viviendas dañadas, así como la población que en ellas habita hacen necesario y obligatorio un estudio de áreas propensas a sufrir hundimientos en un futuro a corto plazo. Con dicho estudio se generarán las condiciones mínimas necesarias para la implementación de políticas, planes y proyectos que implique una mitigación del peligro y que dirijan el crecimiento urbano del municipio de Ameca, poniendo énfasis especial en la construcción de viviendas seguras.



El estudio del peligro por hundimientos hace necesario e imprescindible el estudio de los elementos expuestos al fenómeno y la capacidad para recuperarse de los efectos de un desastres (Zilbert Soto, 1998).

El análisis general del peligro permite identificar los puntos críticos de la ciudad propensos a hundimientos y la vulnerabilidad de su población. A partir de ello, se tendrán las condiciones adecuadas para construir los proyectos y programas tendientes a reducir y mitigar el riesgo.

La cabecera municipal registra una diversidad de usos del suelo y actividades urbanas, donde predomina el uso habitacional, que en buena medida se han visto afectadas por los hundimientos registrados. Por tal motivo, lo que se busca dentro de este análisis de vulnerabilidad, entre otras cosas, es identificar el grado de exposición de las personas y bienes frente al peligro de los hundimientos y establecer bajo ciertos criterios los sitios propensos a hundimientos. Para ello se ha considerado primordial dar respuesta a tres interrogantes: ¿qué puede ser afectado?, y ¿cómo se eliminarán o reducirán los niveles de riesgo?

¿Qué puede ser afectado?

El inventario (casa por casa) que hasta la fecha se ha realizado abarca 40 por ciento de la cabecera municipal; alrededor de 1000 viviendas presentan problemas de grietas, y unas 5 000 personas se encuentran expuestas a algún grado de riesgo.

¿Cómo se eliminarán o reducirán los niveles de riesgo?

Un desastre representa elevados costos en términos sociales, demográficos, económicos y políticos. En esencia, un desastre es una crisis social. Si bien es cierto que no se tiene la capacidad de prevenir los fenómenos físicos, sí podemos construir los escenarios y las condiciones adecuadas para poder mitigar el impacto de estos eventos a través de una preparación adecuada. Aquí valdría la pena preguntarse si el municipio está preparado para enfrentar un eventual desastre, ¿qué actividades, prácticas, interacciones, relaciones, etc. se han planeado o realizado a corto o largo plazo, dirigidas a mejorar el patrón de respuesta durante el impacto de un desastre?

La preparación para eliminar, reducir o mitigar los riesgos inicia con la elaboración de mapas de riesgos, lo que incluye los mapas de amenazas y vulnerabilidad. Éstos constituyen una herramienta de gran utilidad, ya que sirven para la elaboración y ejecución de políticas públicas para la población más necesitada; asimismo, permiten obtener información y un diagnóstico de los riesgos. Además, en el ámbito de la planeación territorial, sirven de base para definir el plan de desarrollo y tomar decisiones en aspectos tales como:

- Definir zonas de expansión urbana.
- Determinación sobre los usos del suelo.
- Formulación e integración de programas de prevención y mitigación.
- Elaborar las políticas de ordenamiento y reordenamiento territorial



5.1.8.5. Daños por hundimientos en predios.

Los requisitos de seguridad estructural de las edificaciones existen para proteger la integridad física de las personas, para eliminar o disminuir los daños materiales de las fincas en condiciones de servicio y para dimensionar adecuadamente el valor económico de las mismas.

Según los estudios previos, desde hace 25 años se tienen identificados los hundimientos de Ameca como numerosos y frecuentes. Sin embargo, los estudios comenzaron hace 10 años.

Los hundimientos han provocado daños materiales de gran magnitud, que seguramente no se han cuantificado, porque el problema no se dimensionaba como un problema social.

En este sentido, de no poder concebir el problema de los hundimientos como un problema social, se tiene como causa principal la ausencia de daños a la integridad física de las personas, lo cual no ha permitido catalogar el fenómeno de Ameca como “zona de desastre”.

Con los estudios previos existentes se ha formado la convicción de que la ciudad de Ameca debe considerarse como una “zona de desastre potencial” que requiere de acciones preventivas inmediatas, a mediano plazo y a largo plazo.

El Reglamento de Construcción es el que determina los requisitos mínimos que deben cumplir las edificaciones para considerarse seguras en su estructura.

La seguridad estructural es uno de los requisitos básicos para otorgar la habitabilidad de las fincas. El problema que tenemos en Ameca consiste en que la mayoría de las fincas dañadas por los hundimientos no cumplen con los requisitos de seguridad estructural y no debieran tener habitabilidad. En la realidad, las fincas dañadas han conservado su habitabilidad por años porque el techo no se les ha caído.

Sin duda, los hundimientos no han llevado a las fincas a su resistencia última, esto es, cuando muros y techo se derrumban. Sin embargo, varias fincas están en riesgo de colapso total.

Si a los daños por hundimiento le añadimos la acción del sismo que especifica el reglamento, las fincas no quedarían en pie. Sucede que en estos 25 años de hundimientos han ocurrido tres sismos importantes, el de 1985, el de 1995 y el de 2003, pero todos ellos se han sentido muy por debajo de la magnitud que marca el reglamento.

De esta manera, las fincas dañadas por hundimientos han visto aumentados los daños por presencia del sismo, pero continúan habitadas porque no han perdido su techo.

Parece que el criterio de habitabilidad, impuesto por la realidad de la experiencia inmediata, radica en la permanencia del techo a pesar de los daños por hundimiento y por sismo. Esta circunstancia, nos obliga a considerar la ciudad de Ameca como potencial zona de desastre.



Quando se identifican daños menores en las fincas podemos llegar a alentar esperanzas de habitabilidad en cumplimiento del reglamento. El cálculo estructural recibe instrucciones del estudio geotécnico en lo que respecta a inestabilidad por hundimiento diferencial. El cálculo estructural puede prever la presencia de hundimientos diferenciales y diseñar en consecuencia, además, de considerar los parámetros comunes de la geotecnia.

Pero, cuando el estudio de geotecnia pierde la certidumbre de la magnitud de los hundimientos en espacio y tiempo, el cálculo estructural también pierde su certidumbre.

Sin embargo, la historia de los hundimientos y los sismos en la ciudad de Ameca nos señalan vestigios de habitabilidad real o consumada, a pesar de los daños estructurales de las fincas y a pesar de que las edificaciones no cumplen con los requisitos mínimos de seguridad estructural del reglamento.

Considerar que donde se han presentado hundimientos diferenciales de gran magnitud se han estabilizado aparentemente, pues no se presenta un ritmo progresivo de inestabilidad.

En esta situación, creemos que podemos convivir con las fallas y su riesgo, siempre y cuando las partes involucradas lo acuerden con conocimiento de causa.

Nos atenemos a la experiencia de que en 25 años el comportamiento inestable de los hundimientos ha sido pasivo, lento, somero y paulatino, con estabilidad intermitente.

Esto significa que no esperamos sorpresas contundentes, porque no han ocurrido en 30 años, pero un sismo de mayor magnitud a los ocurridos si puede propiciar un gran desastre a las edificaciones dañadas por hundimientos y a las que no están dañadas también.

Desde este punto de vista, es de la mayor importancia el diseño sísmico de las edificaciones, además de la capacidad de las mismas, para soportar hundimientos diferenciales que no causen el derrumbe de techos y de elementos principales.

Por tanto, todos los predios con daños extremos deben evacuarse por su peligrosidad, de acuerdo al dictamen estructural, se evacuen de inmediato, pero que no se demuelan hasta que se realice un análisis estructural. De acuerdo al dictamen de CENAPRED, 2003, en los predios que conservan temporalmente su habitabilidad, deberá conocerse:

3. La magnitud de los hundimientos diferenciales que se presentaron,
4. El tipo de cimentación y dimensiones,
5. Condiciones de capacidad de carga y humedad del desplante,
6. La presencia de oquedades por túneles o fugas de agua, cuando los moradores las denuncian, o bien, cuando los peritos lo decidan.



Además, si la habitabilidad de estas 40 fincas pretende conservarse por existir condiciones de buen comportamiento, deberán establecerse parámetros de diseño sísmico, de hundimiento diferencial y de geotecnia convencional local que se cumplirán, por medio de un diseño de reforzamiento pertinente.

Como el riesgo de la inestabilidad no desaparece, los predios en mayor peligro deben ser monitoreadas aún después de haber sido reforzadas.

Sin duda, establecer un parámetro de hundimiento diferencial tolerable, para enfrentarlo y soportarlo, es lo más difícil, pero tienen que hacerlo los especialistas, para darnos la posibilidad de convivir con los hundimientos diferenciales.

Se reconocen como factores que intervienen en el hundimiento diferencial:

- La falla geológica activa,
- La sobre-explotación del agua subterránea,
- Las fugas provocadas por ruptura de tuberías o depósitos,
- Las oquedades subterráneas.

Las fincas que no tienen hundimiento diferencial significativo y que se encuentran agrietadas, seguramente fueron dañadas por sismo.

La figura 5.1.8.1.17. muestra los hundimientos antiguos, hundimientos propensos y predios con mayores daños, en la cabecera Municipal de Ameca, observando que se encuentran sobre la traza de falla.

Conclusiones

3. La población de Ameca está siendo afectada por un conjunto de fallas y hundimientos diferenciales. El problema se ha acentuado a partir de los últimos cinco años. Generalmente, este tipo de fenómenos se relacionan con actividades como extracción de agua en los acuíferos, lo que produce la reactivación del sistema de fallas preexistentes.
4. Los hundimientos antiguos siguen un patrón estructural en sentido NO-SE, aunque existen otros patrones menores E-O.
5. Los hundimientos más antiguos corresponden a la década de 1980, misma fecha que se ha presentado en otras ciudades del centro de México. Actualmente, se está presentando un crecimiento de las grietas de Ameca en sentido Noroeste-Sureste, y en esa misma dirección se han presentado los hundimientos, por lo cual se considera con mucha probabilidad que las nuevas áreas de hundimientos sean la prolongación de los fallamientos existentes. Existen algunas áreas críticas en las que se han medido hundimientos de más de 15 cm.
6. La magnitud del daño ha hecho necesario que se identifiquen las áreas con mayor daño, así como las zonas más activas y su relación con el fallamiento.



5.1.9. Erosión

5.1.9.1. Introducción

5.1.9.1.1. Erosión en el municipio de Ameca

Uno de los principales procesos de degradación del suelo lo constituye la erosión, principalmente hídrica. Tan es así que afecta alrededor de 80% de la superficie de suelos agrícolas en el mundo.

5.1.9.1.2. La erosión causa:

a) arrastre de los horizontes superficiales del suelo, con la consecuente pérdida de materia orgánica y nutrimentos, deterioro de las propiedades físicas y disminución de la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos delgados.

b) en estados más avanzados, la pérdida de superficies importantes de suelos, debido a la formación de cárcavas. Por otra parte, el empobrecimiento y deterioro de las propiedades físicas del suelo incrementa los costos de producción, debido a los mayores requerimientos de fertilización y al aumento del consumo energético para preparar el suelo y los costos de mantenimiento de las unidades productivas. En conjunto, la menor productividad y producción, y el mayor costo de producción disminuirán los ingresos de los productores.

Las causas de la erosión del suelo se pueden englobar en el uso y manejo inapropiado de los agro ecosistemas que, en términos generales, comprende la explotación destructiva de los bosques, el sobrepastoreo de los agostaderos y el uso agrícola de suelos con pendientes sin considerar prácticas de conservación de suelo y agua. Sin embargo, estas causas tienen su origen en el ámbito social, económico y político, especialmente en las zonas rurales de pequeñas explotaciones, en relación con:

- La escasa disponibilidad de tierra, aunado a la presencia de suelos de pobre calidad (delgados, pendientes elevadas), que obliga a trabajar suelos no aptos para el cultivo, con fines de obtener un mínimo de producción para la subsistencia y la alimentación.
- La excesiva fragmentación de la tierra y la carencia de recursos socioeconómicos para establecer prácticas de conservación del suelo y agua.
- La tenencia comunal de la tierra de pastoreo, que da derecho a su uso pero no obliga a conservarla, con el resultado de un sobrepastoreo de los agostaderos y la consecuente degradación del suelo.
- La explotación desmedida del bosque para obtener madera, leña, carbón, postes, etcétera, con fines de uso doméstico y venta para complementar los ingresos.

Para evaluar la erosión del suelo se han desarrollado diversos procedimientos. Uno de ellos es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), la cual comprende cinco componentes:

- *La intensidad de la lluvia*
- *La erodabilidad del suelo*



- *La longitud y grado de la pendiente*

- *La presencia de prácticas de conservación del suelo*
- *La cobertura del suelo, en relación con el cultivo y su manejo.*

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo puede ser bastante precisa para predecir pérdidas de suelo, sin embargo, en los países en desarrollo muchas veces se dificulta su uso debido a que no siempre se dispone de la información suficiente, especialmente la climática.

Otro procedimiento es el que propone Morgan (1997), el cual se basa en la presencia de indicadores como cobertura vegetal, montículos, pedestales, raíces y costras.

El problema de la erosión del suelo en México es de gran magnitud, con cifras del orden de 74 a 95% de su territorio, en diferentes grados (FAO, 1994; INEGI, 1999).

La degradación de los suelos ocurre como respuesta a múltiples factores ambientales y socioeconómicos, aunque es importante acotar que rara vez es un solo factor el que desencadena un problema de degradación. Si bien es cierto que, en ciertos paisajes, los suelos pueden ser más erosionables o la precipitación más erosiva, en prácticamente todo el factor preponderante recae en las actividades humanas. En general, todo uso de la tierra que modifica el tipo y la densidad de las poblaciones vegetales originales y/o que deja al descubierto al suelo, propicia su degradación.

Entre las principales actividades humanas que inducen la degradación de suelos se encuentran las actividades agropecuarias, incluyendo la deforestación, el manejo inadecuado de los recursos forestales, el sobrepastoreo y los sistemas de producción agrícola.

A nivel mundial, el principal proceso de degradación de suelos está constituido por la erosión hídrica, la cual origina problemas al menos a tres niveles. A nivel de parcela o en el sitio donde al afectar las propiedades del suelo, reduciendo la disponibilidad de agua y de nutrientes para las plantas y la profundidad de enraizamiento, mengua su productividad y representa una pérdida en el almacenamiento de nutrientes minerales del ecosistema. Además, el déficit hídrico reduce la productividad de las plantas, la producción de sus semillas y la germinación de las mismas.

A nivel regional la erosión de suelos origina problemas de sedimentación e inundación, alterando la estructura y el funcionamiento de otros ecosistemas terrestres y acuáticos. En el nivel global, este proceso contribuye al cambio climático, a la pérdida de biodiversidad y a la modificación del régimen hidrológico de las cuencas nacionales e internacionales.

El municipio de Ameca no es ajeno a esta situación. El 70% de los bosques de pino-encino presentan signos de erosión hídrica superficial. Este resultado sugiere que, como parte de las prácticas de manejo, se está realizando un raleo intenso del bosque, el cual está dejando al suelo sin protección ante los efectos del agua de lluvia.



El efecto agresivo de la lluvia inicia cuando la vegetación es removida. Esto deja al suelo desnudo y expuesto a la acción de la energía cinética de las gotas de lluvia. Luego, en función de las características del suelo, textura, estructura y contenido de materia orgánica principalmente, y del relieve, se presentan alteraciones en la capacidad de infiltración del suelo, propiciando el escurrimiento superficial que causa la erosión hídrica.

El acelerado crecimiento poblacional, aunado a las también crecientes expectativas de desarrollo, constituye una enorme presión de uso sobre los recursos naturales. Esto no sólo se traduce en una intensificación de cultivos en zonas agrícolas, sino que además estimula el sobrepastoreo, la extracción de leña y favorece la deforestación como mecanismo de expansión de la frontera agrícola, muchas veces hacia zonas marginales y con bajo potencial para esos fines.

5.1.9.2. Datos Físicos del municipio de Ameca

Geología. El subsuelo está constituido por rocas ígneas, extrusiva ácida y basalto; en algunas zonas se encuentran pequeñas regiones con piedra caliza.

Topografía. Cuenta con los cerros Grande, La Tetilla y el de Los Pericos que ocupan principalmente la parte norte del municipio, además se tiene una orografía irregular caracterizada por una sucesión de valles y extensas serranías en diferentes zonas del municipio.

Clima. El clima en el municipio está considerado como semi-seco con otoño e invierno secos y semi-cálido; sin estación invernal definida. La temperatura media anual es de 21.3°C, con una precipitación media de 864 milímetros y un régimen de lluvias de junio a septiembre. Tiene vientos dominantes en dirección noroeste y tiene un promedio de 10.9 días con heladas al año.

Hidrografía. Los recursos hidrológicos, los constituye el río Ameca que recibe por el norte los remanentes de los arroyos El Cajón, Los Llanitos, La Barranca, La Arena, El Carrizo, Las Bolas y otros; al sur lo alimentan los arroyos El Magistral, Arroyo Grande, El Zoquite, El Palmarejo, El Alamo y Las Canoas y un sinnúmero de pequeñas corrientes.

Cuenta con las Presas de San Ignacio, de la Vega, Los Pocitos y la del Texcalame.

Suelos. La composición de los suelos pertenece al Vertisol pélico asociado con Regosol eútrico, Feozem háplico y Planosol lúvico. La mayor parte es utilizado para uso agrícola y pastizales.

Vegetación. La vegetación se compone en su mayoría por encino, pino, oyamel, matorrales espinosos, mezquite, palo dulce, guamúchil, eucalipto y árboles frutales.

Uso del Suelo. La tenencia del suelo en su mayoría corresponde a la propiedad ejidal.



5.1.9.3. Resultados

5.1.9.3.1. Erosión laminar o erosión horizontal.

Los resultados muestran que en mayor o menor medida en todo el territorio del municipio de Ameca se presenta erosión hídrica a través de la erosión horizontal, también llamada erosión laminar, concluyéndose que la erosión baja es de 2695.97 hectáreas (ha), lo que representa el 3% de la superficie del municipio, mientras que el grado de erosión media o moderada cubre una superficie de 24,432.10 ha lo que representa un 29% del territorio municipal, la superficie de erosión laminar alta alcanza las 47,410.9 ha, esta es una superficie grande pues significa el 56% del municipio de Ameca y la superficie catalogada con erosión muy alta cubre 9,011.08 ha la que representa un 11% del total de la superficie municipal.

Hay que hacer notar que en 1,199.13 ha no presentan riesgos de erosión alguna pues esta superficie se ubica en áreas urbanas y cuerpos de agua, esta superficie representa el 1% del total municipal.

En la figura 5.1.9.3.1. y 5.1.9.3.2. se observa que las pérdidas altas y muy altas del suelo se concentran principalmente en las laderas y áreas escarpadas del municipio.

Grado de erosión	Ha	%
No aplica	1199.13	1
Bajo	2695.97	3
Medio	24432.1	29
Alto	47410.9	56
Muy Alto	9011.08	11

5.1.9.3.2. Erosión vertical.

La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación, ya que la mayoría de las veces se inician luego de la pérdida superficial del suelo por efecto del impacto de gotas de lluvia, destrucción de los agregados naturales del suelo, la erosión laminar y en surcos, como consecuencia del uso y manejo inadecuado de los suelos y ausencia de prácticas preventivas de conservación, o por la construcción de vías sin obras adecuadas para conducción de aguas de escorrentía y por descargas de caudales altos de agua sobre taludes inferiores sin disipación de su energía cinética.

El municipio de Ameca no es ajeno a la presencia de erosión vertical como puede observarse en la figura 5.1.9.3.2.1. en esta figura se observa la presencia de un gran número de cárcavas, mismas que son definidas como zanjas más o menos profundas originadas por socavamientos repetidos sobre el terreno, debido al flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía).



El área de captación de suelo en el municipio de Ameca se encuentra en una superficie de 4133 ha, esta superficie se encuentra en los terrenos por donde pasa el flujo de agua Figura 5.1.9.3.2.2.

En el municipio de Ameca se encuentra una superficie de 1779.4 ha como superficie de escurrimiento por donde se transporta el suelo disuelto en agua figura 5.1.9.3.2.2.

5.1.9.3.3. Sedimentación

La sedimentación es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin. Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, tirante de agua, velocidad y forma de la sección tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión. El cambio de alguna de estas características de la corriente puede hacer que el material transportado se sedimente; o el material existente en el fondo o márgenes del cauce sea erosionado.

El sedimento es un material sólido, acumulado sobre la superficie terrestre derivado de las acciones de fenómenos y procesos que actúan en la atmósfera en la hidrosfera y en la biosfera (vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas, circulación de aguas superficiales o subterráneas, desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos, acciones de organismos vivos).

Puesto que la mayor parte de los procesos de sedimentación se producen bajo la acción de la gravedad, las áreas elevadas de la litosfera terrestre tienden a ser sujetas a fenómenos erosivos, mientras que las zonas bajas están sujetas a la sedimentación.

A nivel geológico, un sedimento es el material sólido que se acumula en la superficie terrestre y que surge por la acción de diversos fenómenos naturales que actúan en la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Los vientos, las precipitaciones y los cambios de temperatura son algunos de los factores vinculados al desarrollo de sedimentos.

La producción de sedimentos está íntimamente relacionada con el proceso de la erosión y esta se incrementa con la deforestación consecuentemente la producción de sedimentos suspendidos también crece (Stott y Mount 2004).

El estudio de los sedimentos se puede dividir dentro del ciclo hidrológico en tres procesos: producción, transporte y depósito (Rivera Trejo *et al* 2006).

La cantidad de sedimentos en una corriente depende del tipo de suelo, de las características del cauce, del gasto y de las características físicas del sedimento. La topografía, la geología y la cubierta vegetal y el uso del suelo son parte importante en el proceso de sedimentación (Stott y Mount 2004).

La sedimentación en el municipio de Ameca se encuentra ubicada en las partes bajas del municipio como puede observarse en la figura 5.1.9.3.3. la acumulación de sedimentos con más intensidad se da en una



superficie de 10,851 ha, también está presente una acumulación de sedimentos baja o moderada y esta se distribuye en 14,948 ha.



5.2. RIESGOS, PELIGROS Y/O VULNERABILIDAD ANTE FENÓMENOS DE ORIGEN

HIDROMETEOROLÓGICO

5.2.1 Ciclones (Huracanes y ondas tropicales)

5.2.1.1. Introducción

De acuerdo con el Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México (CENAPRED, 2002), un ciclón tropical se define como: “Una gran masa de aire cálida y húmeda con fuertes vientos que giran en forma de espiral alrededor de una zona de baja presión. Se originan en el mar entre los 5° y 15° de Latitud, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en la época en que la temperatura del agua es mayor o igual a 26° C.”

Categorías

Los huracanes se clasifican de acuerdo con la intensidad de sus vientos utilizando la escala de vientos de huracanes de *Saffir-Simpson*, en la cual los huracanes de categoría 1 tienen los vientos más flojos, mientras que los de categoría 5 presentan los más intensos. Ver Tabla 5.2.1.1. en Anexo.

5.2.1.1.1. Ciclo de vida de un huracán

En sus etapas incipientes, un sistema tropical (puede tratarse de una onda tropical o un sistema de baja presión), aparece en las imágenes satelitales como un grupo de tormentas relativamente poco organizado. Si las condiciones meteorológicas y oceánicas son favorables, el sistema puede pasar por el proceso de ciclogénesis y transformarse en una depresión tropical (número 1 en la figura 5.2.1.1). Llegado este punto, la tormenta comienza a adquirir la familiar forma en espiral producida por el flujo de los vientos y la rotación terrestre. Una vez que pase a tierra firme, el ciclón comienza a debilitarse, aunque sus impactos pueden continuar durante varios días.

Típicamente, una vez que el ciclón toca tierra se apaga la fuente principal de humedad y la circulación en la superficie se ve reducida por efecto del rozamiento con el suelo.

No obstante, el hecho de que la tormenta haya tocado tierra no significa que el peligro ha pasado. Conforme el sistema se desplaza hacia el interior, los impactos de la tormenta, que incluyen lluvias torrenciales, crecidas e inundaciones en el interior y vientos fuertes, siguen representando una amenaza considerable. De hecho, en las zonas costeras la marejada ciclónica constituye la amenaza principal de los huracanes, pero en el interior, gran parte de la pérdida de vidas provocada por los ciclones tropicales se debe a inundaciones de agua dulce.

5.2.1.1.2. Tamaño de los huracanes

El tamaño de los huracanes varía bastante. El tamaño de un huracán no es necesariamente un buen indicador de su intensidad ni de su potencial para provocar daños. Por ejemplo, existen registros de huracanes categoría 3 muy grandes (aproximadamente 650 km de diámetro) que no provocaron grandes daños. En contraste, se han registrado huracanes de categoría 4, relativamente pequeños (240 km) que, sin embargo,



se pueden convertir en fenómenos sumamente peligrosos. O como el caso del huracán Gert de categoría II, que provocó la muerte de 42 personas sólo en México.

Así, los daños son producto de una relación compleja entre el tamaño, la intensidad y el lugar.

5.2.1.1.3. Ondas Tropicales

Definición:

Las Ondas Tropicales son perturbaciones originadas en la zona de los vientos alisios conocida como Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), caracterizadas por la presencia de precipitaciones con fuertes rachas de viento, cuyo movimiento es hacia el oeste a una velocidad promedio de 15 km/hr, produciendo un fuerte proceso convectivo sobre la superficie que cruza. Su duración puede variar de una a dos semanas y su longitud va de los 1,500 km., hasta los 4,000 km., generando una zona de convergencia en la parte trasera de la onda y una zona de divergencia en el frente.

El aire es empujado a la zona por la acción de la célula de Hadley, un rasgo atmosférico a mesoescala que forma parte del sistema planetario de distribución del calor y la humedad, y es transportado verticalmente hacia arriba por la actividad convectiva de las tormentas, las regiones situadas en esta área reciben precipitación más de 200 días al año.

En general, las perturbaciones que originan precipitación en México son: los vientos alisios, los ciclones tropicales y las invasiones de aire polar (Maderey, 1980: 10).

En los primeros meses del año (enero-abril) la Zona Intertropical de Convergencia (ITC) se ubica al sur del país, aproximadamente en el paralelo 16° N, como lo muestra la Figura 5.2.1.1.3.1 con respecto a la época húmeda, se inicia debido al desplazamiento de la ITC hacia el norte del Ecuador Geográfico hasta el paralelo 18° 30' N y conforme el flujo de los vientos alisios que proceden del mar, introducen humedad al país. Esto sucede comúnmente a partir del mes de junio. Por lo tanto, es la corriente húmeda de los alisios la que invade casi todo el país de junio a octubre y determina la estación de lluvias en México. Esta se intensifica durante los meses de julio, agosto y septiembre y se prolonga hasta octubre por la influencia de las ondas del este y los ciclones tropicales. Granados-Ramírez, (2008).

De acuerdo con su origen, la precipitación puede ser de dos tipos: convectiva y estratiforme. En la precipitación convectiva, los movimientos verticales del aire son mayores que la velocidad de caída de los cristales de hielo contenidos en las nubes, Houze, (1993), lo cual favorece una mayor condensación, mayor formación de gotas de lluvia y, por tanto, precipitaciones más intensas que su contraparte estratiforme.

Debido a lo anterior, los fenómenos meteorológicos que tienen inmersas zonas con precipitación convectiva, son los mayores productores de lluvia.

Los fenómenos meteorológicos productores de precipitación convectiva incluyen desde tormentas convectivas con diámetro de 10 km, hasta sistemas o conglomerados nubosos con dimensiones de varios cientos de kilómetros como los ciclones y ondas tropicales.



Es obvio que los sistemas nubosos producen más lluvia que las tormentas pequeñas, por lo que la frecuencia de estos fenómenos de grandes dimensiones, determina en gran medida la cantidad de precipitación que ocurre en cierta región. Valdés Manzanilla, (2005).

Con base en lo anterior relacionamos las precipitaciones máximas ocurridas en el Municipio de Ameca con la presencia de este fenómeno y su recurrencia.

La Figura 5.2.1.1.3.2. corresponde a SCM formados sobre el Océano Pacífico y que ingresaron a territorio nacional en diciembre de 1996, con las direcciones que se señalan en la imagen. Aunque no está bien establecido el mecanismo, se ha encontrado que las llamadas ondas del este o un fenómeno similar se forman también en el Pacífico este y en el Mar Caribe.

Cabe señalar que en México no existe una investigación sistemática sobre el fenómeno de las ondas tropicales a pesar de la trascendencia e importancia que en el régimen de lluvias manifiesta.

Serra, (2010) plantea que:

- 1) Las ondas del este son el origen de más del 50% de los huracanes en la cuenca del Atlántico
- 2) Se cree que son la primera fuente de los huracanes en la cuenca del Pacífico este.
- 3) Se han encontrado trayectorias de ondas que cruzan desde el Caribe al Pacífico este.
- 4) Se han detectado actividad de ondas tropicales a los 20° N, influenciando al Monzón de Norteamérica.
- 5) La región de máxima densidad de trayectorias está orientada del noroeste hacia el sureste en todos los niveles a lo largo de la costa, como se ve en la Figura 5.2.1.1.3.3. (a), para el periodo de junio a noviembre de 1989-2007.
- 6) Un punto de origen de ondas tropicales en el Pacífico este se indica en la fig. 5.2.1.1.3.3. b) para el mismo periodo.
- 7) La génesis y desarrollo de las ondas tropicales tanto en el Pacífico como en el Caribe y su interacción pueden ser capaces de modificar el patrón de vientos a los 700 hPa, de dirección noreste a dirección suroeste en el área de Ameca Jalisco, como se puede apreciar en la Figura 5.2.1.1.3.4.

En el SMN se genera un boletín diario que incluye la trayectoria de las ondas tropicales por ejemplo las figuras 5.2.1.1.3.5. y 5.2.1.1.3.6. muestran en líneas naranjas y con el texto OT, la presencia de un par de ondas tropicales aún sin numerar.



5.2.1.1.4. Pronósticos nacionales y locales

En caso de presencia de huracán se debe recurrir al SMN para obtener información más detallada acerca de la cantidad de precipitación anticipada y el potencial de lluvia excesiva capaz de provocar inundaciones, aparte del monitoreo constante de las estaciones hidrométricas de la región.

5.2.1.1.4.1. Descripción de mapa temático Huracanes y ondas tropicales

El mapa temático Huracanes está compuesto por las siguientes capas de información: Corrientes marinas, Sistemas Isobáricos locales y Trayectorias históricas del fenómeno con base en el grado de los vientos.

La capa de información de corrientes marinas aparece pero no representa ningún peligro puesto que este fenómeno no ocurre en el Municipio de Ameca.

Cabe apuntar que existe al respecto poca información e infraestructura que la genere en México. La que existe es resultado de esfuerzos aislados de investigadores e instituciones y centros de investigación que es insuficiente para cubrir cotidianamente, ya no digamos el litoral nacional, sino el de un Estado de la Federación.

En uno de esos esfuerzos se estudiaron los perfiles de salinidad y temperatura de la región ubicada frente a las costas de Jalisco y Colima, hasta 200 km a lo largo de la línea de costa. Se determinó, así mismo, como los cambios estacionales de las variables hidrofísicas medidas están relacionados con la variación anual de captación anual de energía solar, evaporación, y precipitaciones en la línea de la costa. Se sabe que esta región está sometida durante los meses de invierno a la Corriente de California, así como a la corriente superficial que sale del Golfo de California.

En verano pasan por allí los flujos costeros que se desplazan desde el sur originados por la penetración de las bifurcaciones de la Contracorriente Norecuatorial. Se encontró, finalmente, que la dinámica de las aguas en la región de estudio está determinada por un flujo promedio con dirección noroeste en los meses de verano y con dirección contraria en los meses invernales. Filonov, (2000).

La capa de información de Sistemas Isobáricos locales se ha elaborado con base en la información del Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México.

En la Figura 5.2.1.1.4.1. se muestra la presión central mínima del centro del ciclón tropical, la cual es una medida de la intensidad del sistema. Cuanto menor sea la presión, mayor será la intensidad, tanto de los vientos como del oleaje y de la marea de tormenta que puede producir.

En la imagen los tonos rojos representan las presiones menores, y el verde las mayores.

La capa 14006_Hur_Isobar, y la correspondiente de tormentas tropicales 14006_Trop_isobar, se calcularon normalizados al nivel del mar.



Capa de información de trayectorias

La capa de información 14006_Hur_tray señala la trayectoria que siguió dentro del límite del Municipio de Ameca la depresión tropical “Olaf” y sus características y está etiquetada como elemento. Este fenómeno es el único cuyo registro histórico indica que su trayectoria cruzó la zona de estudio. Figura 5.2.1.1.4.4.a. y 5.2.1.1.4.4.b.

5.2.1.2. Análisis de Peligros

El análisis de peligros está pensado para que se pueda comprender mejor el grado de vulnerabilidad de una comunidad ante amenazas meteorológicas, como vientos intensos e inundaciones en el interior. El análisis de peligros puede ser de gran ayuda en el trabajo de planificación y preparación, especialmente para determinar las zonas de evacuación, refugio y vías de transporte más apropiadas de acuerdo con la vulnerabilidad a los peligros específicos de la zona.

Uno de los objetivos principales del análisis de peligros consiste en determinar el peor escenario posible de los efectos de un huracán en el Municipio de Ameca, Jalisco. Por ejemplo, considerar el potencial de inundaciones permite generar zonas de riesgo a inundaciones. Estos mapas de inundaciones ayudan a determinar qué categorías de tormenta pueden generar una inundación suficiente como para afectar a las rutas de evacuación locales o para dejar bajo agua ciertas instalaciones de importancia crítica.

El análisis de peligros, en el caso de huracanes, debe partir de un análisis de trayectorias históricas

5.2.1.2.1. Análisis histórico (1951-2010)

La fuente de información es el SMN, el CENAPRED, CNA, DOF y el portal web del Atlas Nacional de Riesgos y el programa Busca Ciclones v. 2.1.1

Trayectoria de los eventos históricos.

La serie de eventos históricos se presenta ordenada por décadas (a partir de 1951) y por categoría.

Décadas 1951-60, 1961-70, 1971-80, 1981-90, 1991-2000.

Durante este periodo (1951-2000) no hubo huracanes o tormentas tropicales cuya trayectoria impactara directamente en el municipio de Ameca, como se puede observar en el mapa de trayectorias históricas en el que las líneas de colores representan las trayectorias de los sistemas tropicales. Estas trayectorias históricas muestran la evolución desde su formación hasta su extinción, con datos de categoría, velocidad del viento y presión, así como la fecha inicial de detección del fenómeno y final de extinción.

Durante 1992 dos sistemas tropicales siguieron trayectorias cercanas a la zona de estudio: Winifred a 50 km aproximadamente, y Virgil a 90 km. Las características de estos fenómenos se enlistan en la tabla 5.2.1.2.1..

En septiembre de 1993 el huracán Gert, categoría II, que se originó en una onda tropical generada el 5 de septiembre cerca de la costa oeste de África, es el único caso del que se tenga registro de un huracán



proveniente del Atlántico cuya trayectoria logró acercarse al municipio de Ameca, si bien degradado como tormenta tropical.

Gert provocó precipitaciones de 188 mm en 24 horas en Chetumal y una vez que hizo contacto con el lado este de la Sierra Madre Oriental, provocó, el 21 de septiembre, precipitaciones máximas en 24 horas de 427, 236 y 323 mm en Tanzabaca, Gallinas y Tierra Blanca en San Luis Potosí. En Tempoal y el Higo en Veracruz se reportaron precipitaciones de 339 y 266, respectivamente, para el mismo periodo. En contraste, Tuxpan (también en Veracruz), cerca de la costa y en la pared del ojo, reportó 148 mm para el mismo periodo de 24 horas.

El gobierno de México informó que Gert causó 42 muertes y 2 heridos. Reportes de prensa indican que fueron 21 muertes en Honduras, 8 en Nicaragua, 4 en El Salvador y 1 en Costa Rica. Esto hace un total de 76 pérdidas fatales. Una estimación conservadora considera que dañó o destruyó 100,000 hogares en Centro América.

En México 29075 viviendas se perdieron y 58,681 hectáreas de cultivos fueron dañadas, con un costo total estimado de 150 millones de dólares. Figura 5.2.1.1.4.3. trayectoria de Gert

Década de 2001-2010

En esta década si incidió un evento directamente sobre la zona de estudio, según datos de CENAPRED, el Huracán “Olaf”, que a su paso por Ameca, Jalisco, degradó a tormenta tropical.

Descripción de trayectoria de huracán Olaf

El día 3 de octubre del año 2003, por la mañana, se formó la depresión tropical No. 15-E de la temporada en el Océano Pacífico Nororiental; se inició a 500 km al Sur-Suroeste de Puerto Escondido, Oax., con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h y presión mínima de 1005 hPas.

El día 5 por la mañana, cuando se encontraba a 215 km al Sur de Manzanillo, Col., con rumbo hacia el Noroeste, “Olaf” se intensificó a huracán alcanzando vientos máximos sostenidos de 120 km/h con rachas de 150 km/h misma fuerza con la que se mantuvo durante el resto de este día.

Olaf evolucionó en el transcurso de 4 días, pasó de depresión tropical a huracán categoría 1, y finalmente a depresión tropical a su paso por Ameca: “Por la tarde del día 7, la depresión tropical “Olaf” pasó a unos 85 km al Este de Puerto Vallarta, y a 40 km al Oeste de Ameca, Jal., con vientos máximos sostenidos de 45 km/h y rachas de 65 km/h, misma fuerza con la que entró a territorio de Nayarit en las primeras horas de la noche, localizándose a 80 km al Sur-Sureste de Tepic, Nay., y a 15 km al Suroeste de Ixtlán del Río, Nay.” Fuente: CNA. Ver Figuras 5.2.1.1.4.4.b. y 5.2.1.1.4.5.

En esta última imagen se detallan los índices de precipitación máxima en 24 horas del huracán Olaf.

“El huracán “Olaf” afectó varios estados de la costa Sur y Occidente del país, aunque los efectos más importantes se dieron en Colima y Jalisco, en donde dio lugar a inundaciones con importantes daños



materiales en viviendas, carreteras, zonas agrícolas y servicios de energía eléctrica y telefonía, entre otros.” Reporte del SMN, www.smn.cna.gob.mx

Los principales peligros meteorológicos asociados con los ciclones tropicales son:

- marejada ciclónica (el cuál no aplica para Ameca)
- inundaciones provocadas por lluvias torrenciales
- vientos intensos

Aunque en términos generales las tormentas más intensas son las más peligrosas, los impactos directos dependen de muchos factores además de la intensidad, uno de los cuales es el lugar donde el ciclón toca tierra. Un ciclón menos intenso que atraviesa una zona de alta densidad de población puede provocar más daños, heridas y muertes que una tormenta muy intensa que azota una zona rural.

Además de los impactos directos, los huracanes pueden traer consecuencias adversas indirectas. Por ejemplo, muchas de las muertes relacionadas con los huracanes se deben a envenenamiento por monóxido de carbono o a los incendios causados por la caída de una línea de alta tensión, las chispas de un generador o las velas a las que recurre la ciudadanía para alumbrarse cuando se quedan sin suministro de energía eléctrica.

5.2.1.2.2. Inundaciones provocadas por lluvias torrenciales

Cuando un huracán toca tierra, es común que cubra una amplia zona con 150 mm o más de lluvia, lo cual a menudo provoca inundaciones mortales y devastadoras. Las lluvias torrenciales de estas tormentas pueden durar varios días. Tales inundaciones han sido una de las causas principales de la pérdida de vidas (niños, en muchos casos) relacionada con los ciclones tropicales en los últimos 30 años. Además de lo anterior, pueden provocar rompimiento de diques y canales, desbordamiento de embalses o inundaciones fluviales. Se aborda el tema de inundaciones repentinas en sus aspectos generales (diferenciándolas de aquellas que ocurren lentamente ya que en éstas los ciudadanos afectados tienen el tiempo suficiente para desalojar sus viviendas), considerando que ese tipo de fenómenos son muy peligrosos y recurrentes en aquellas zonas que han sido deforestadas, con incendios, procesos de erosión graves o que han sufrido cambios por acción humana.

5.2.1.2.2.1. Inundaciones repentinas

Definición

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), una crecida o inundación repentina es una inundación de corta duración que alcanza un caudal máximo relativamente alto.



5.2.1.2.2.1.1. Características generales

Para considerar un evento como una inundación repentina se utilizan criterios de tiempo y nivel de amenaza, por ejemplo se puede considerar como inundación repentina una crecida que pone en peligro la vida de la población y que comienza dentro de 6 horas después de un evento causante.

El evento causante puede ser una lluvia intensa, la ruptura de un dique o un embalse.

Las inundaciones repentinas son eventos hidrológicos de rápido inicio que pueden resultar muy difíciles de pronosticar. Un factor común en la mayoría de tales eventos es una combinación de lluvias intensas y escorrentía rápida y, a menudo, muy eficiente.

Existe una relación entre características fisicoquímicas del suelo, precipitación e inundaciones repentinas: Una lluvia muy copiosa o intensa puede producir un gran volumen de escorrentía, porque el suelo no es capaz de absorber el agua con suficiente rapidez. En términos generales, cuanto mayor la intensidad de la precipitación, tanto más probable será que provoque un evento de escorrentía superficial importante. Además, una lluvia fuerte de larga duración puede aumentar enormemente la severidad de las inundaciones.

Aunque la saturación del suelo aumenta el peligro de escorrentía, a menudo las inundaciones repentinas ocurren cuando el suelo no está saturado. Es esencial recordar que en determinadas circunstancias las características de escorrentía pueden ser tan importantes como la intensidad de la lluvia

5.2.1.2.2.1.2. Factores Meteorológicos

La intensidad de la precipitación es una consideración crítica del estudio de la meteorología de las inundaciones repentinas. Es común que la lluvia convectiva generada por las ondas tropicales produzca episodios de precipitación muy intensa.

En la región Valles son muy probables los procesos de lluvia cálida, los cuales están asociados a masas de aire que exhiben características tropicales y marítimas. Una característica de las lluvias cálidas es la ausencia de descargas eléctricas, lo anterior nos puede indicar si se trata de un proceso de lluvia cálida.

Hay dos factores que aumentan la eficiencia de precipitación y por tanto la intensidad de un sistema de tormentas: nivel alto de humedad relativa en la troposfera y presencia de aire húmedo en los niveles medios de la nube.

Otro factor que aumenta la posibilidad de ocurrencia de inundaciones repentinas (i.r.) es la duración de la tormenta. Generalmente una sola tormenta o célula convectiva no es suficiente para provocar una i.r., debido a su velocidad de desplazamiento. Pero si no se trata de una sola célula convectiva, sino de un sistema convectivo que descarga repetidas veces sobre una misma zona, entonces el peligro de una i.r. aumenta.

En resumen, la duración de la precipitación intensa tiene que ver con la velocidad de desplazamiento de la célula o sistema convectivo, con la presencia de frentes estacionarios y con topografías abruptas.



5.2.1.2.2.1.3. Propiedades hidrológicas de la superficie del suelo.

Las propiedades hidrológicas de la superficie del suelo pueden repercutir considerablemente en varios aspectos de las inundaciones repentinas, como su desarrollo temporal, su ubicación y su magnitud. Aunque la idea de que la cantidad de lluvia es el factor más importante a considerar para pronosticar una crecida es bastante común, lo que sucede con el agua de lluvia una vez que esté en el suelo puede ser incluso más importante.

Las tres propiedades esenciales del suelo que se deben considerar a la hora de evaluar el riesgo de inundaciones repentinas son su humedad, su textura y su perfil.

Generalmente se acepta la idea de que la humedad del suelo es la propiedad geohidrológica de mayor importancia para la formación de escorrentía rápida e inundaciones repentinas, ya que, cuando el suelo está saturado, no queda suficiente espacio para que el agua adicional lo penetre y, en consecuencia, toda la lluvia se convierte en escorrentía, independientemente de la textura del suelo.

Por otra parte, es lógico pensar que cuando el suelo está seco, grandes cantidades de lluvia pueden infiltrarse en lugar de convertirse en escorrentía. Aunque es razonable partir de esta suposición para algunos lugares, especialmente para zonas húmedas con suelos profundos, esto no procede en muchas situaciones.

Si el suelo está seco pero es de tipo arcilloso o limoso, y poco profundo entonces ocurrirá que su capacidad de infiltración es baja. Estos tipos de suelos contribuyen de manera importante a aumentar los niveles de escorrentía.

5.2.1.2.2.1.4. Efectos de la cuenca

Las distintas características de una cuenca, como su forma, la pendiente de las laderas, el grado de sinuosidad del curso fluvial que la atraviesa y la densidad del manto vegetal, pueden afectar la capacidad del suelo de absorber el agua de la lluvia. Por ejemplo, una lluvia sobre las laderas de una cuenca muy empinada con escasa vegetación generará más escorrentía que sobre una cuenca de pendiente suave con abundante vegetación. En algunas circunstancias, los efectos de la cuenca son más importantes que la lluvia.

Los incendios forestales y la deforestación también pueden aumentar el peligro de inundación repentina incrementando el volumen de escorrentía y el potencial de transporte de sedimento en la escorrentía.

Esto es principalmente el resultado de la eliminación de la vegetación y, en el caso de incendios, de la posible alteración de las propiedades del suelo. El mayor peligro de inundación repentina ocurre después de un incendio muy intenso en un bosque de coníferas. En estos casos, tras la destrucción de la vegetación los suelos pueden adquirir propiedades hidrofóbicas durante semanas e incluso años después del incendio.

5.2.1.2.2.1.5. Herramientas de predicción de inundaciones repentinas.

Debido a su rápida evolución, a su carácter local y a la multitud de factores que las precipitan, las inundaciones repentinas presentan retos considerables en términos de pronóstico y detección.



Las herramientas de observación y diagnóstico se pueden clasificar según el nivel de tecnología

necesario para su implementación:

- Sistemas básicos manuales y electrónicos de observación y alerta de inundaciones repentinas;
- Radar y satélite
- Modelos hidrológicos agrupados
- Modelos hidrológicos distribuidos

Cuando un sistema tropical se introduce hacia el interior y se ve obligado a ascender barreras montañosas, el aire se enfría y condensa más agua que se suma a la precipitación original. La lluvia carga rápidamente los cauces de montaña y en esas zonas las inundaciones repentinas se transforman en la mayor amenaza junto con los deslizamientos de lodo que pueden ocurrir cuando se satura una ladera empinada. Se señalan en la capa, de forma breve, los sitios donde existe la posibilidad de deslizamientos en laderas con alta pendiente, con procesos erosivos intensos o deforestadas. Este tema es descrito ampliamente en el apartado de peligros geológicos.

5.2.1.2.2.2. Vientos intensos

Los vientos de intensidad de huracán pueden extenderse a una distancia de 40 km desde el centro de un huracán pequeño y hasta 250 km desde el centro de un huracán grande. La zona en la cual se pueden experimentar vientos de tormenta tropical es aún mayor. Estos vientos pueden llegar a entre 200 y 280 km de distancia del centro, aunque en un huracán grande pueden extenderse hasta 500 km.

Según la intensidad de los vientos, los daños que pueden provocar un huracán son:

Categoría 1 (Vientos de 118.1 -154 km/hr, presión central 980.1 a 985 mb)

Potencial Mínimo. Ningún daño efectivo a los edificios. Daños principalmente a casas rodantes no ancladas, arbustos, follaje y árboles. Ciertos daños a señales pobremente construidas. Algunas inundaciones de carreteras costeras en sus zonas más bajas y daños leves en los muelles. Ciertas embarcaciones pequeñas son arrancadas de sus amarres en fondeaderos expuestos.

Categoría 2 (Vientos de 154.1-178 km/hr, presión central 965.1 a 980 mb)

Potencial Moderado. Daños considerables a arbustos y a follaje de árboles, inclusive, algunos de ellos son derribados. Daño extenso a señales pobremente construidas. Ciertos daños en los techos de casas, puertas y ventanas. Daño grave a casas rodantes. Carreteras costeras inundadas de 2 a 4 h antes de la entrada del centro del huracán.

Categoría 3 (Vientos de 178.1-210 km/hr, presión 945.1 a 965 mb)

Potencial Extensivo. Follaje arrancado de los árboles y árboles altos derribados. Destrucción de prácticamente todas las señales pobremente construidas. Ciertos daños en los techos de casas, puertas y ventanas. Algunos



daños estructurales en pequeñas residencias. Destrucción de casas rodantes. Las inundaciones cerca de la costa destruyen las estructuras más pequeñas; los escombros flotantes y el embate de las olas dañan a las estructuras mayores cercanas a la costa. Los terrenos planos sobre 1.5 m del nivel del mar, pueden resultar inundados hasta 13 km tierra adentro (o más) desde la costa.

Categoría 4 (Vientos 210-249 km/hr, presión central 920.1 a 945 mb)

Potencial Extremo. Arbustos y árboles derribados, todas las señales destruidas. Daños severos. Daño extenso a los techos de casas, puertas y ventanas. Falla total de techos en residencias pequeñas. Destrucción completa de casas móviles. Terrenos de planicie a 3 m sobre el nivel del mar pueden inundarse hasta 10 km tierra adentro de la costa. Grave daño a la planta baja de estructuras cercanas a la costa por inundación, embate de las olas y escombros flotantes. Erosión importante de las playas.

Categoría 5 (Vientos > 250, presión central < 920 mb)

Potencial Catastrófico. Derribamiento de arbustos y árboles, caída total de señales. Daño muy severo y extenso en ventanas y puertas. Falla total de techos en muchas residencias y edificios industriales. Vidrios hechos añicos de manera extensiva en ventanas y puertas. Algunas edificaciones con falla total. Pequeñas edificaciones derribadas o volcadas. Destrucción completa de casas móviles. Daños graves en plantas bajas de todas las estructuras situadas a menos de 4.6 m por encima del nivel del mar y a una distancia de hasta 460 m de la costa.

Los vientos provocados por un huracán son más débiles en la medida en que el fenómeno penetre en el interior, como lo muestra la Figura 5.2.1.2.2.2.1. No obstante, para Ameca los vientos máximos históricos si pueden llegar a alcanzar la categoría 1, como lo muestra la Figura 5.2.1.2.2.2.2 Instalaciones como hospitales, escuelas, antenas de telecomunicaciones, líneas de alta tensión, casas habitación pobre o débilmente construidas, etc., son vulnerables a los vientos, sobre todo si su construcción se hizo sin considerar la fuerza del viento.



5.2.2. Tormentas eléctricas

5.2.2.1. Definición

Las tormentas eléctricas (t.e.) son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Las tormentas se asocian a nubes convectivas (cumulonimbos) y pueden estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos; pero en ocasiones puede ser nieve, nieve granulada o granizo. Imagen 5.2.2.1

5.2.2.2. Características

Una t.e. se forma por una combinación de humedad en aire caliente el cual es obligado a ascender por un sistema de aire frío como un frente frío, el choque con una montaña o una brisa marina. Su duración suele ser de una a dos horas.

La naturaleza eléctrica de las tormentas (demostrada por Franklin) llevó a C.T. Wilson a inferir un modelo de la nube durante la segunda década del siglo XX, basado en las mediciones en tierra del campo eléctrico de la nube y los cambios originados cuando ocurrían descargas eléctricas atmosféricas (DEAT). Este modelo era bipolar y consistía en una región de carga positiva en la parte superior de la nube y otra negativa en la parte baja de esta.

Posteriormente, Simpson *et al* verificaron la estructura eléctrica propuesta por Wilson mediante mediciones hechas con globos dentro de la nube, y hallaron además pequeñas regiones de carga positiva en la base, lo que sugirió un modelo tripolar.

Mediciones y trabajos posteriores hechos por Malan, Schonland (1947) y Kasemir (1965) entre otros, confirmaron esta estructura tripolar. Adicionalmente, existen diversas teorías acerca de los procesos de electrificación de la nube, siendo los mecanismos básicos la convección y la precipitación.

La característica eléctrica de la nube de tormenta da origen a las DEAT, las cuales pueden ser definidas como descargas transitorias de alta corriente que ocurren entre nube y tierra, nube y ionósfera y dentro de la nube, siendo este último tipo el más frecuente (alrededor del 50%). Las descargas entre nube y tierra son las de mayor interés, ya que causan daños a sistemas e instalaciones eléctricas y lesiones a seres vivos. Éstas se clasifican en cuatro tipos según Berger:

- Descarga nube - tierra negativa (NTN)
- Descarga nube - tierra positiva (NTP)
- Descarga tierra - nube negativa (TNN)
- Descarga tierra - nube positiva (TNP)



La proporción de la polaridad de los rayos nube-tierra se ha establecido a partir de mediciones directas de Berger en el Monte San Salvatore, entre el 90 % y 95 % para polaridad negativa y entre el 5 % y 10 % para positiva. Sin embargo se ha encontrado que en zona templada las descargas positivas aumentan durante el invierno y que en zona tropical los rayos positivos pueden ser mayores. Las descargas TNP son más frecuentes que las TNN. Por otra parte, el descubrimiento de las descargas tierra-nube se le atribuye a McEachron (1939) por medio de fotografías y mediciones de corriente hechas en el *Empire State Building*. Estas descargas son iniciadas por líderes ascendentes originados generalmente de picos de montañas y estructuras altas hechas por el hombre y cuya velocidad es similar a la del líder de la descarga descendente.

En cualquier trayectoria de un rayo, siempre se trata de la atracción entre zonas cargadas eléctricamente con cargas de signo contrario. Imagen 5.2.2.2.

Cuando se trata de tormentas severas suelen estar acompañadas de granizo, tornados y vientos lineales con rachas destructoras. La aparición de estos fenómenos suele indicar que la t.e. a alcanzado su estado de madurez (t. e. severa), luego sobreviene la etapa de disipación. Cabe señalar que no todas las t. e. llegan a alcanzar este nivel, en ocasiones sólo pueden ser consideradas como tormentas en desarrollo. Los fenómenos mencionados al principio de este párrafo inducen cambios en la morfología de la tormenta, sin embargo estos cambios sólo pueden ser identificados por medio de radares meteorológicos. No existen criterios uniformes acerca de qué fenómenos deben considerarse severos, pero generalmente se acepta que una t.e. se considera severa si está acompañada por al menos uno de los siguientes:

- Vientos lineales de una magnitud igual ó superior a 25 m/s.
- Ocurrencia de granizo con un diámetro superior a 1.9 cm.
- Producción de tornados

Es importante aclarar que una tromba es un tornado que se forma o transita sobre un cuerpo de agua, como un río, un lago o el mar. Está íntimamente relacionada con una nube *cumulonimbos*, como subproducto de una tormenta eléctrica severa de carácter local. De este fenómeno existen por lo menos tres registros en Ameca: 1920 en el que se registran sólo daños materiales, 13 de septiembre de 1937, 7 campesinos muertos, desborde del arroyo El Borracho, 17 de julio de 1940, una campesina muerta, azotó en la ranchería Huerta de San Javier. Aunque no existe registro, posiblemente estos fenómenos estuvieron acompañados de fuertes tormentas eléctricas.

5.2.2.3. Información Meteorológica y otras fuentes

Sobre la ocurrencia de tormentas severas, el SMN emite un Aviso de tormentas intensas y granizo diariamente cada 6 horas: 00 horas, 6.00 horas, 12:00 horas y a las 18:00 horas.

Imágenes y datos satelitales



En la actualidad existen medios tecnológicos suficientes para llevar un monitoreo puntual de ocurrencia de tormentas eléctricas sobre una región por medio de sensores, transferencia de datos, software de sistemas de información geográfica y sistemas satelitales.

Sobre este punto cabe destacar el proyecto *Geostationary Lightning Mapper*, (GLM) el cual forma parte de los satélites GOES-R, los cuales emitirán imágenes e información a partir del 2014.

Debido a lo anterior, se considera en el presente capítulo una imagen proveniente del sensor LIS, la cual se puede descargar del sitio <http://thunder.nsstc.nasa.gov/lis>. El sensor de imágenes de rayos (LIS), es un instrumento basado en el espacio utilizado para detectar la distribución y la variabilidad total de los rayos (de nube a nube, intranube, y los rayos nube-tierra) que se produce en las regiones tropicales del globo. El LIS es un instrumento científico a bordo del Observatorio de TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), que fue lanzado el 28 de noviembre de 1997 del Centro Espacial de Tanegashima en Japón. Ver imagen 5.2.2.3.1

Georreferenciando la imagen 5.2.3., mediante el software Quantum se observa que en la zona de estudio inciden, según esta fuente, 30 relámpagos por km^2 al año. Si se considera que entre el 50 y el 70 % son descargas intranube y de nube a nube el resto, entre el 50 y el 30 % deben ser descargas nube-tierra. Por lo tanto el sistema LIS, para la zona de estudio, arroja el dato de 15 a 9 descargas por $\text{km}^2/\text{año}$.

5.2.2.3.1. Datos del Instituto de Investigaciones Eléctricas, CFE.

En el caso de Ameca se pondera la información proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) sobre la densidad de descargas eléctricas a tierra en descargas por año por kilómetro cuadrado, el cual es un índice indirecto de tormenta eléctrica.

La CFE ha elaborado mapas por Estado y a nivel Nacional con isocargas de densidad de rayos a tierra (DRT) con base en los resultados de un proyecto conjunto entre el Instituto de Investigaciones Eléctricas y la CFE, en el periodo comprendido entre 1983 y 1993, ver imagen 5.2.2.3.1.a. Esta información aparece publicada en la norma NMX-J-549-ANCE-2005, "Sistema de protección contra tormentas eléctricas: Especificaciones, materiales y métodos de medición." En ese proyecto se instalaron y se puso en operación una red de 115 contadores de rayos distribuidos en todo el territorio nacional. Los contadores que se utilizaron fueron los denominados contadores electromecánicos CIGRE-10 kHz, que recababan información únicamente sobre las descargas presentadas en una determinada fecha de lectura de la información dentro de un área delimitada por un círculo de 20 km de radio. Debido posiblemente a esto, resultó un índice relativamente bajo, ya que otras fuentes reportan para Norteamérica hasta 20 a 30 DRT/ $\text{km}^2/\text{año}$.

El mismo IIE de CFE proporciona en la citada norma, mapas de isodensidades por Estado, para el caso de Jalisco se presenta en la imagen 5.2.2.3.1.b.

Para la zona en estudio, CFE reporta un índice de 1.75 a 2.00 DRT/ $\text{km}^2/\text{año}$. La CFE indica que se debe tomar el nivel superior de la isocarga que corresponda a la ubicación de la instalación a proteger.



Así, considerando los resultados obtenidos por IIE de CFE, para fines de prevención en la zona de estudio se debe considerar 2 como índice DRT.

5.2.2.3.2. Datos de Investigaciones de la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México)

La UNAM a través del Instituto de Geografía ha publicado recientemente (agosto 2010) el Nuevo Atlas Nacional de México el cual contiene mapas de ocurrencia de tormentas eléctricas al año. En dicho mapa se puede leer que para la zona de estudio ocurren aproximadamente 50 días de tormentas eléctricas al año. Imagen 5.2.2.3.2.c.

Ahora bien, si los sistemas de observación de Descargas Eléctricas Atmosféricas (DEAT) están situados en tierra, los proyectos de medición de densidades de DEAT para que sean confiables y consistentes, hasta ahora, requieren periodos de monitoreo prolongados, como el estudio “Doce años de mediciones continuas en la actividad eléctrica atmosférica en la región montañosa tropical de México”, de O. Troncoso del Centro de Estudios de la Atmósfera de la misma UNAM.

Este proyecto requirió los siguientes equipos:

- Radar meteorológico
- Radio detector de ruido atmosférico omnidireccional
- Detector de corriente corona atmosférica-punto-descarga
- Detector de campos eléctricos.

Y 12 años de monitoreo cotidiano de la actividad eléctrica atmosférica (enero 1988-diciembre 1999)

Las conclusiones que arrojó el citado proyecto fueron:

- Se registraron en promedio 150 eventos de actividad eléctrica atmosférica.
- Los meses de julio, agosto y septiembre son los de mayor actividad con 24, 25 y 26 eventos respectivamente.
- Las descargas eléctricas en la etapa de madurez de una tormenta eléctrica pueden variar desde 100 descargas/minuto a 500 descargas/minuto.
- Se encontró que aproximadamente el 90 % de descargas son intranube, en contraste con otros reportes que indican la proporción de 50 a 70 %.
- Normalmente las nubes productoras de descargas eléctricas son las de tipo cumulonimbos, las cuales se caracterizan por su alta actividad eléctrica, velocidades elevadas de precipitación y ocurrencia de granizo.

En resumen, los resultados de las fuentes consultadas inducen a concluir que los resultados obtenidos por el IIE son relativamente bajos.



5.2.2.3.3. Datos de estaciones meteorológicas

Los datos de las estaciones meteorológicas CNA aparecen en el anexo (Figura 5.2.2.3.3. y tabla 5.2.2.3.3.) los resultados del análisis estadístico de estos se comenta enseguida.

5.2.2.3.3.1. Análisis estadístico

- Un gran porcentaje de las t.e. ocurren (mayor al 90 %) durante la tarde y la noche y un análisis estadístico para el Municipio de Ameca demuestra que aparecen en esta región prácticamente durante todo el año, pero principalmente durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre.
- La región cercana a la presa La Vega es la zona con mayor índice de incidencia de tormentas eléctricas.
- La región orientada hacia la Sierra de Cacoma, monitoreada por la Estación Guachinango es la zona con menor índice de incidencia.
- Lo anterior induce a pensar que el corredor natural de las nubes de tipo cumulonimbos, es de este a oeste, siguiendo la trayectoria de las ondas tropicales del este.
- El mes de mayor incidencia es octubre y se ha presentado en la región de presa La Vega, seguido de noviembre en la misma zona.
- La topografía de la zona determina en gran medida la permanencia y desarrollo de sistemas convectivos con orientación este-oeste.
- Sobre la zona inciden también fenómenos Hidrometeorológicos tropicales provenientes del Océano Pacífico y cuya trayectoria ha sido en muchos casos obstruida por la Sierra Madre del Sur que los debilita y genera en la región lluvias con tendencias oeste-este o bien oeste-noreste, cuyas escorrentías son y representan un grado de peligro totalmente diferente a las lluvias provenientes de direcciones este-oeste.

En resumen:

- Las fuentes de información muestran que se utilizan dos formas de medir el fenómeno: Uno por descargas por kilómetro cuadrado por año, y dos, por días de tormenta eléctrica por año.
- Existe una relación de 1 a 2 entre los datos recabados de las estaciones meteorológicas de CNA y el Nuevo Atlas Nacional de México elaborado por el Instituto de Geografía de la UNAM en cuanto al número de días de t.e. al año para la región.
- Es necesario contar con datos precisos sobre la densidad de descargas eléctricas por kilómetro cuadrado por año.
- Lo anterior determina, en el corto plazo, la configuración del mapa de riesgos por tormentas eléctricas para el área de estudio.



Descripción del mapa 14006_Tor_elec_grdo

El mapa está elaborado con base en Polígonos de Thiessen. La información proviene de las estaciones meteorológicas de CNA.

La parte central del mapa es la zona monitoreada por la estación 14009 Ameca, el índice de días de t.e. por año es: 10 días, y abarca 647 km², incluye la zona urbana del Municipio de Ameca y muchas de sus comunidades.

La zonas del lado este están monitoreadas por las estaciones Presa la Vega y El Salitre. La zona de la presa la Vega representa la de mayor incidencia de tormentas eléctricas (30 días) y por lo tanto la de mayor peligro.

Por la parte norte, las cuales son zonas de montaña, aunque no son de alta incidencia de días de tormenta (entre 5 y 10 días) si representan otro riesgo, quizás igual de grave que para las otras regiones: incendios forestales y lejanía de las comunidades de atención en caso de accidente. Esta región esta monitoreada por las estaciones Etzatlán y Ahualulco de Mercado.

La zona sur del municipio esta monitoreada por la estación Ameca (10 días de t.e) con las condiciones similares a la zona norte del Municipio.

La zona oeste, monitoreada por la estación Guachinango, es la de menor índice de días de tormentas eléctricas al año: 0.3, lo cual no significa que no existen riesgos y peligros por DEAT, dado que son una de los causas principales de inicio de incendios forestales.

En conjunto, para el Municipio de Ameca, los días de tormenta eléctrica se aproximan a 50 al año con índices de descargas nube-suelo que van de 2 a 15 descargas por kilómetro cuadrado por año.



5.2.3. Sequías.

Las sequías son fenómenos meteorológicos que se presentan cuando la precipitación acumulada durante un cierto lapso de tiempo es significativamente más pequeña que el promedio de las precipitaciones registradas en dicho lapso o que un valor específico de la precipitación (García et al 2002).

En este primer nivel de análisis del fenómeno de sequía, se determinaron índices de aridez para el territorio del municipio. Asimismo se calcularon periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años para las sequías en el municipio.

5.2.3.1. Determinación de índices de aridez

Utilizando información referenciada geográficamente sobre la precipitación y temperatura promedio anual del municipio de Ameca, se calcularon índices de aridez de acuerdo con el método de Lang que relaciona éstas variables de la siguiente forma:

$$I_L = P_m T_m$$

Donde I_L es el índice de Lang, P_m es la precipitación media anual en mm y T_m es la temperatura media anual en °C. El resultado de esta relación se interpreta de acuerdo con la tabla 5.2.3.1.1.

De acuerdo con la información analizada, el municipio de Ameca solo presenta índices de aridez clasificables como subhúmedos de menor humedad y subhúmedos intermedios, que para el análisis en cuestión pueden representar dos distintos grados de intensidad del riesgo de sequía: bajo y medio.

El territorio del municipio fue clasificado en este sentido y se compararon las zonas de riesgos de sequía de intensidad baja y media con las áreas de vegetación y cultivo para determinar su grado de riesgo.

En términos generales, hacia el centro del territorio del municipio, donde se localizan las áreas de cultivo, el riesgo de sequía es de intensidad media. Hacia los extremos norte y sur del municipio, el riesgo de sequía es de intensidad baja.

5.2.3.2. Determinación de periodos de retorno

Para determinar los periodos de retorno de sequías en el municipio de Ameca se llevó a cabo una revisión del registro de precipitación de la estación climatológica 14009 Ameca del Servicio Meteorológico Nacional. Dicho registro comprende datos de precipitación diaria de 1923 al 2009.

Se analizaron los datos contenidos en el registro, exceptuando los años de 1923-1925, 1932-1948, 1955, 1963, 1968, 1985, 1991, 1993-1995, 2007 y 2009 para los cuales no se tiene un registro completo, y se calcularon los promedios de precipitación mensual, expresados en la Tabla 5.2.3.2.1.

Estos promedios fueron comparados con la precipitación mensual de cada mes del registro para determinar la existencia de déficits o excedencias de precipitación con respecto al promedio; los déficits representaron meses de sequía. Posteriormente, se contabilizaron los meses consecutivos de sequía para determinar duraciones de sequía. En la Tabla 5.2.3.2.2. se muestra el procedimiento realizado para uno de los años:



La base de datos de 684 meses fue ordenada de manera descendiente con respecto a las duraciones de sequía para asignar números de orden y determinar periodos de retorno mensuales de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F=n+1m$$

Donde F es la frecuencia o periodo de retorno, m es el número de orden y n es el número total de años de registro.

Los periodos de retorno y datos de duración de las sequías fueron graficados para observar el comportamiento del fenómeno.

Por medio de una interpolación, se calcularon periodos de retorno para 5, 10, 25 y 50 años, sustituyendo los valores en la ecuación de la línea de tendencia que mejor se ajustó a los datos: $y = 2.0461 \ln(x) + 1.323$. Ver Tabla 5.2.3.2.3.

De acuerdo con el análisis realizado, la sequía de mayor duración que se ha presentado en el municipio fue de 13 meses. En periodos de 5 años se presentan sequías con duración de 9.7 meses, en 10 años de 11.1 meses, en 25 años de 13.0 meses y en 50 años de 14.4 meses.

En segundo nivel de análisis del fenómeno de la sequía, se realizó un análisis para determinar la presencia de sequía intraestival en el municipio y, en dado caso, evaluarla de acuerdo con la metodología propuesta por Pedro Mosiño y Enriqueta García.

La sequía intraestival es aquella que se presenta en ciertas partes del país durante la temporada de lluvias de mayo a octubre, particularmente en los meses de julio a septiembre, en los cuales la precipitación disminuye de manera relativa y puede influir sobre actividades productivas como la agrícola. Para su determinación se utilizan los datos de precipitación mensual para analizar el comportamiento del temporal de lluvias que se presenta en un territorio en específico.

Determinación de sequía intraestival

En este caso, se realizó un análisis del registro de precipitación diaria de la Estación 14009 del Servicio Meteorológico Nacional que comprende datos del periodo de 1923 a 2009, exceptuando los años de 1923-1925, 1932-1948, 1955, 1963, 1968, 1985, 1991, 1993-1995, 2007 y 2009, para los cuales no se tiene el registro anual completo. Tras determinar promedios de precipitación mensual, el comportamiento de lluvias en el territorio se observa en la figura 5.2.3.2.

De acuerdo con el análisis realizado, el comportamiento de precipitaciones en el municipio de Ameca no refleja la presencia de un periodo de sequía intraestival.

Es importante señalar que 19 de los 57 años analizados sí reflejan la presencia de este fenómeno, es decir, el fenómeno sí se presentó en el 33% de los casos. Los años en los que se presentó un periodo de sequía intraestival fueron los siguientes: 1949, 1950, 1962, 1967, 1970, 1971, 1973, 1977, 1978, 1980, 1986, 1990, 1992, 1996, 1997, 2000, 2001, 2003 y 2004.



Sin embargo, tras analizar el comportamiento de precipitación mensual para este conjunto de años en particular, de nuevo aparece ausente el fenómeno.

Estos resultados permiten afirmar que en el municipio de Ameca, de acuerdo con el registro de precipitación analizado, el fenómeno de sequía intraestival no se presenta con una intensidad que pudiera considerarse relevante. Ver figura 5.2.3.3.



5.2.4 Temperaturas máximas extremas.

Introducción

Hoy día las actividades humanas están alterando el clima del mundo. Se está incrementando la concentración de gases que atrapan la energía, lo que incrementa el “efecto invernadero natural” que hace habitable la tierra.

Estos gases de efecto invernadero son fundamentalmente el dióxido de carbono (CO₂) producto de la quema de combustibles de origen fósil y de incendios forestales, y otros gases como el metano (producto de la agricultura de regadío, la ganadería y la extracción de petróleo), el óxido nitroso y diversos halocarburos fabricados por el hombre.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), declaró en 2001: “hay nuevas y contundentes pruebas científicas de que el aumento en el calentamiento planetario es atribuible a actividades humanas.”

Durante el siglo XX, la temperatura media de la superficie terrestre aumento 0.6 C, y dos terceras partes de este aumento se produjo a partir de 1975. Ver. Fig. 5.2.4.1

Los climatólogos prevén que este cambio proseguirá a lo largo del presente siglo y más allá, junto con cambios en los regímenes pluviales y en la variabilidad climática.

La escala del cambio climático difiere esencialmente de otro tipo de problemas y riesgos asociados a fenómenos microbiológicos o toxicológicos localizados.

El cambio climático significa que las actividades del hombre están alterando los sistemas biofísicos y ecológicos a escala planetario, como lo evidencia el agotamiento del ozono estratosférico, la reducción acelerada de la biodiversidad (desaparición de especies animales y vegetales, 127 tan sólo en México), las presiones sobre los sistemas terrestres y marinos productores de alimentos (el caso del atún es paradigmático), el agotamiento de las reservas de agua dulce y la diseminación mundial de contaminantes orgánicos persistentes.

La estimación del aumento de temperatura según el IPCC para los próximos 100 años se muestra en la Fig. 5.2.4.2. Este aumento de temperatura conlleva una importante incertidumbre para la humanidad pues el sistema climatológico planetario es sumamente complejo y también se desconoce cuales serán los cambios socio-organizativos que sufrirá la sociedad humana.

Posibles repercusiones del cambio climático en la salud humana.

Es posible que los primeros afectaciones en la salud humana del cambio climático tengan que ver con los límites geográficos y la estacionalidad de ciertas enfermedades infecciosas, en particular las transmitidas por vectores (por ejemplo, la malaria y el dengue) y por alimentos (como la salmonelosis), cuya frecuencia es máxima en los meses más cálidos.



Tanto en verano como en invierno una mayor exposición a temperaturas medias más altas combinado con una mayor variabilidad climática alteraría el patrón de exposición a temperaturas extremas con repercusiones en la salud de la población.

Este último aspecto es el que interesa desarrollar más ampliamente en el presente estudio.

El IPCC llegó a la conclusión de que el cambio climático aumentaría la mortalidad y morbilidad asociadas al calor y reduciría las enfermedades y decesos asociados al frío en los países de clima templado. Para cada repercusión del cambio climático habrá sectores sociales que serán más afectados, dependiendo de factores de desarrollo humano. Por ejemplo por temperaturas extremas los más susceptibles serán los ancianos, los niños y la población con menores ingresos. Es decir, la infancia y la población de la tercera edad que además se encuentre entre la población de menores ingresos será altamente vulnerable.

Peligros por ondas de Calor

Una ola de calor es un periodo prolongado (3 días o más) de tiempo excesivamente cálido, que puede ser también excesivamente húmedo. El término depende de la temperatura considerada “normal” en la zona, así que una misma temperatura que en un clima cálido se considera normal puede considerarse una ola u onda de calor en una zona con un clima más templado.

No existe un criterio de aceptación general de cuáles son los valores mínimos y máximos que permitan definir una onda de calor. Una dificultad es que la respuesta del ser humano a la temperatura depende, en parte, del lugar en donde nace y se desarrolla. Dentro de ciertos límites, mientras para un grupo social en particular, un nivel de calor puede ser excesivo para otros puede ser normal. Estos límites sin duda pueden estar definidos por los niveles de temperatura a los cuales el ser humano se expone a sufrir daños a su salud.

Así, un indicador para cuantificar la intensidad de la ola de calor o de frío puede realizarse a través de unos índices que tengan en cuenta cuanto se separa la temperatura máxima diaria (Tmax) de este valor umbral y durante cuantos días.

Como es conocido, la temperatura interna normal del cuerpo en reposo, oscila entre los 36-37,5 °C, mientras que la temperatura de la piel en contacto con el exterior, es aproximadamente 0,5 °C menor. La capacidad del organismo para mantener este margen de temperaturas, está regida por un centro termorregulador que permite equilibrar los mecanismos de producción y pérdida de calor, y mantener de esa forma constante la temperatura. Así de forma general, hay un rango de temperaturas, diferente según cada lugar geográfico, en el cual el sistema de termorregulación se encuentra en un estado de mínima actividad, y los individuos experimentan sensación de bienestar o confort térmico. A medida que la temperatura ambiente se aleja de esa zona de bienestar, el sistema termorregulador aumenta su actividad, y los ajustes que deben producirse, se experimentan como sensación de malestar térmico.

Junto a esto, existen ciertos factores que agravan aún más la peligrosidad de las ondas de calor, unos ambientales, como la humedad relativa, y otros individuales como las enfermedades crónicas, la deshidratación, la obesidad, estados de etilismo agudo o crónico, los procesos febriles o de gastroenteritis, los pacientes que por su situación física han de permanecer largo tiempo en la cama y también los recién



operados, y la toma de determinado tipo de medicamentos son factores de riesgo. En cuanto a la edad son los ancianos los que figuran como especialmente vulnerables a los extremos térmicos. También los factores socioeconómicos como las condiciones de la vivienda, la pobreza y el aislamiento social pueden influir en los efectos de los extremos térmicos sobre la morbi-mortalidad.

Análisis estadístico de las temperaturas máximas extremas en la zona de Ameca.

El análisis se realizó con base en los registros de temperatura máximas para los meses de abril, mayo, junio y julio, de 1980 al 2010. La primera parte consiste en un análisis descriptivo y la segunda parte se hará utilizando la Teoría del Valor Extremo, en particular aplicando la distribución generalizada del valor extremo (GEV, por sus siglas en inglés) y el software libre R, (R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL [http://www.R-project.org/.](http://www.R-project.org/)) y el paquete extRemes, disponible en la misma dirección web.

Donde:

Dev. Std = Desviación estándar

Q1 = Primer Cuantil

Q3 = Tercer cuantil

Val. Per = Valores perdidos.

El objetivo es determinar los períodos de retorno de masas de aire cálido para la región. Los resultados son los siguientes:

Abril, años 1980-2010

Ver periodos de retorno, histograma y gráficos Cuantil-Cuantil Imagen 5.2.4.3

Ver gráfica de dispersión figura 5.2.4.4

Ver gráfica de Periodo de Retorno figura 5.2.4.5

Histograma. Imagen 5.2.4.6

Mayo, años 1980-2010

Ver gráficas Generales mayo 1980-2010. Imagen 5.2.4.7

Ver periodos de Retorno mayo 1980-2010. Imagen 5.2.4.8

Ver histograma. Imagen 5.2.4.9. Imagen 5.2.4.9

Junio, años 1980-2010.



Ver gráficas Generales junio 1980-2010. Imagen 5.2.4.10

Ver grafica de dispersión, V1 = día, V2 = temperatura °C, junio 1980-2010. Imagen5.2.4.11

Ver gráfica Periodo de Retorno, junio 1980-2010. Imagen 5.2.4.12

Ver histograma junio 1980-2010. Imagen5.2.4.13

Julio 1980-2010,

Ver conjunto de Gráficas. Imagen 5.2.4.14

Ver periodo de Retorno. Imagen 5.2.4.15

Ver Histograma. Imagen 5.2.4.16



5.2.5. Vientos Fuertes

Introducción.

Viento es el aire en movimiento en sentido horizontal respecto a la superficie de la tierra. Este movimiento es resultado de diferencias de temperatura a pequeña y gran escala y del movimiento de rotación de la tierra. Las diferencias de temperatura provocan a su vez diferencias de presión, este gradiente de presión es la fuerza impulsora de los vientos, los cuales se mueven de zonas con alta presión (divergencia) a zonas con bajas presiones (convergencia).

La dirección del viento se define como la dirección desde la cual sopla el viento y normalmente se describe mediante la llamada rosa de los vientos. Fig. 5.2.5.1.

La circulación general del aire a nivel planetario es resultado, como ya se mencionó, de las diferentes cantidades de irradiación solar que recibe la superficie de la tierra. En el Ecuador los rayos solares inciden perpendicularmente y muy inclinados en las regiones polares, lo que da lugar a que las temperaturas se distribuyan de forma decreciente, del Ecuador a los polos.

Esta distribución de energía solar genera zonas de bajas y altas presiones las cuales producen los vientos a gran escala. En la imagen 5.2.5.3, en el ecuador se forma un cinturón de baja presión y cerca de los trópicos - aproximadamente cerca de los 30 ° de latitud, se localiza una zona de alta presión, que constituye el llamado anticiclón trópic.

El aire que asciende en la región del ecuador se dirige hacia los polos y al llegar a la zona de altas subtropicales más frío y pesado, desciende creando una superficie: la zona de alta presión subtropical. Esta región forma una célula de circulación: la célula ecuatorial o de Hadley.

Debido a la rotación de la tierra (aceleración de Coriolis), los vientos de superficie de la célula de Hadley se desvían, son del NE en el hemisferio norte y se les llama vientos alisios.

Por su parte el aire que desciende de los polos y que se dirige a la zona de bajas subpolares, choca con el aire más caliente proveniente de las altas subtropicales y forman el llamado frente polar. Esta célula de circulación es llamada célula de latitudes medias o de Ferrel.

En la célula de las latitudes medias entre los 30° y 60° N, los vientos desviados son del SO o del OSO, se les llama vientos predominantes del oeste.

Influencia de las célula de Hadley en el patrón de vientos de la región Ameca.

Por su localización astronómica, la parte sur del país está dentro de la zona donde dominan los vientos alisios, y en la parte norte en la zona subtropical de alta presión, donde predominan los vientos del oeste.

A partir del equinoccio de primavera del hemisferio norte, se inicia el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) de alta presión hacia el norte y queda la mayor parte del país bajo la



influencia de los vientos alisios que a su paso por el Golfo de México arrastran gran cantidad de humedad, penetran hasta la Sierra Madre Occidental y originan las lluvias que se registran en verano y parte de otoño. Ver Fig. 5.2.5.5.

Por su parte la célula de Farrel, es decir los vientos predominantes del oeste, no tienen influencia en el régimen de vientos en el Municipio de Ameca.

Los anteriores son los vientos permanentes a escala sinoptica analizados en el presente estudio.

Vientos anabáticos y catabáticos

A pequeña escala el viento se mueve alrededor de obstáculos formando corrientes y remolinos, ya que se trata de un fluido, similar al agua que fluye por un arroyo. Esto es, la respuesta de una zona a los sistemas de circulación de escala sinóptica dependen de la topografía del lugar.

Lo anterior significa que la topografía del lugar influye fuertemente en los patrones de viento.

Durante el día, el aire que se encuentra en inmediato contacto con las laderas de las montañas se calienta, lo cual produce un movimiento ascendente de las partículas de aire a lo largo de la pendiente. Este viento que sopla durante el día de los valles hacia las montañas se llama viento anabático. Al caer la noche la superficie de las laderas se enfría y provoca que las corrientes ascendentes de aire caliente desaparezcan y en su lugar se generan vientos que descienden por la ladera (al enfriarse su superficie, el aire en contacto con ella se vuelve más denso y tiende a bajar por acción de la gravedad), se les llama catabáticos. La orientación de la pendiente de la montaña con respecto al Sol y a la dirección del flujo sinóptico predominante también influyen en la intensidad y el desarrollo de las brisas de valle y de montaña. Por ejemplo, en el hemisferio norte las brisas ascendentes tienden a ser más fuertes en la ladera sur de las montañas, mientras que en las laderas al norte los vientos ascendentes tienden a ser más débiles o inexistentes. Las Figuras 5.2.5.6. y 5.2.5.7. muestran la salida del sol para el 11/11/2011.

El desarrollo de estas brisas se ve favorecido bajo condiciones de gradiente de presión débil en la escala sinóptica. Los principales problemas relacionados con las brisas de ladera que hay que considerar son vientos racheados en superficie y condiciones levemente turbulentas sobre regiones extensas, convección en las cimas de las montañas durante el día y niebla de valle por la noche. Figura 5.2.5.8.

Los derrames repentinos de aire frío de un altiplano hacia un valle constituyen vientos catabáticos que podemos denominar "avalanchas de aire frío". Estas avalanchas ocurren durante la noche, cuando se acumula aire frío sobre un altiplano hasta que alcanza un volumen crítico y cae como una cascada por la pendiente. Estas avalanchas de aire pueden repetirse varias veces en el transcurso de la misma noche.

Los derrames repentinos de aire frío de un altiplano hacia un valle constituyen vientos catabáticos que podemos denominar "avalanchas de aire frío". Estas avalanchas ocurren durante la noche, cuando se acumula aire frío sobre un altiplano hasta que alcanza un volumen crítico y cae como una cascada por la



pendiente. Estas avalanchas de aire pueden repetirse varias veces en el transcurso de la misma noche. Figura 5.2.5.9.

Se ha observado que en la región de Ameca durante la temporada de otoño, el régimen de vientos puede variar desde direcciones Oeste, como las ocurridas el día 9 de noviembre del presente año, a vientos del NE como las que se reportan para el día 11 del mismo mes y año.

También es de notarse la ocurrencia de fenómenos como el que sucedió de las 20:49 a las 21:46, del día 10 de noviembre del 2011: a las 20:29 se reporta una velocidad de viento de 0 km/hr, pero una hora más tarde, a las 21:46, el viento tiene una velocidad de 84 Km/hr. Según las escala de Beaufort, la cual se muestra en la Tabla 5.2.5.1, este viento corresponde a un temporal fuerte, el cual pudo haber dañado árboles.

Junto a esto se reporta un aumento en la presión de 1026 mb. Lo anterior indica que se generó un sistema de alta presión lo que pudo provocar esta racha de viento.

En la región del Valle de Ameca, los vientos provenientes del NE y del E, tienden a canalizarse en el límite oeste del municipio, valle abajo, por el relieve topográfico, como se puede apreciar en la Figura 5.2.5.10.

En la imagen anterior la convergencia de los vientos también se puede deber a la formación de una zona de baja presión. Por el contrario, los vientos con trayectoria general oeste-este, se dispersan, siempre que no existan sistemas de baja presión sobre el valle. Figura 5.2.5.11.

Peligros asociados a los vientos anabáticos y catabáticos.

Convección

Las brisas de ladera ascendentes pueden iniciar el desarrollo de tormentas eléctricas en las cumbres de las montañas por la tarde.

La convección inicial puede ser arrastrada a otro lugar y posteriormente los vientos en altura pueden comenzar el desarrollo de celdas convectivas.

Anticipar ráfagas de viento cerca de la superficie, turbulencia, formación de heladas, así como descargas eléctricas, precipitación (incluso granizo pequeño), poca visibilidad y techos de nubes bajos.

Formación de heladas

Sólo en presencia de convección muy profunda

Moderada a severa arriba del nivel de congelación

Turbulencia

Leve a moderada cerca de la superficie alrededor de los frentes de brisa de ladera

Moderada a severa en las tormentas eléctricas



Techo o altura de la base de las nubes inferior a 1000 metros.

Con cúmulos y cumulonimbos: normalmente entre 600 y 1200 metros.

Cuando el flujo de brisa de montaña provoca niebla de valle o estratos, la niebla se forma primero arriba de la base del valle y luego baja a la superficie.

Obstáculos a la visibilidad en superficie

Inferior a 3 km en las tormentas eléctricas

Baja drásticamente durante los episodios de niebla de valle producidos por el flujo de brisa de montaña.

Precipitación en superficie

Ocurre con la convección

Vientos en superficie

El flujo de ladera ascendente predomina durante el día; el flujo de ladera descendente predomina por la noche

En general, por debajo de 15 nudos; ciertos patrones meteorológicos en la gran escala pueden producir intensas brisas valle abajo que llegan a alcanzar los 50 nudos.

Es posible observar vientos de 30 nudos o más cerca de las tormentas eléctricas

Cortante de viento entre la superficie y 600 metros sobre el nivel del suelo

Cortante por dirección y velocidad a través de los frentes de brisa y cerca de las tormentas eléctricas

Explicación de mapas

14006_Viento_isog

Este mapa señala la trayectoria de los vientos alisios sobre el Valle de Ameca. La importancia de este sistema eólico es porque es responsable del régimen de lluvias en gran parte del territorio nacional y por lo tanto determina la abundancia o escases de lluvias, así como temperaturas.

La trayectoria de los vientos es NE-OSO, y su intensidad es 20 a 50 km en superficie.

14006_Viento_isota

Señala la trayectoria y velocidad de los vientos anabaticos (de valle) y catabaticos (de montaña) generados en el Valle de Ameca.



5.2.6 Inundaciones

5.2.6.1 Introducción

Dado que Ameca es un municipio de actividad económica preponderantemente agrícola, el agua y su aprovechamiento racional es de suma importancia para su desarrollo económico y social. Sin embargo, junto a los beneficios que el agua trae consigo para la región, se encuentran situaciones que la abundancia o escases del recurso pueden provocar como son las inundaciones y sequías.

El fenómeno hidrometeorológico de las inundaciones como desastre natural o de origen antropogénico es el que más aumento registró en el siglo pasado.

Lo anterior se debe en gran medida a que el desarrollo y aumento de población modificó los sistemas fluviales en muchas partes del mundo

Ameca no es ajeno a esta situación. Conforme crecía su población (Ameca duplicó su población en el transcurso de apenas 70 años), la infraestructura necesaria también fue aumentando, y se fueron ocupando partes cercanas a los cauces de los ríos y arroyos (señaladamente los márgenes del Arroyo Santiago), lo que configura una de las principales causas de peligro y riesgo de inundaciones.

5.2.6.2 Definición de Inundación

Se entiende una inundación como desastre a un evento que debido a la precipitación, falla de estructura hidráulica, oleaje o marea de tormenta provoca un aumento del nivel de la superficie libre de cuerpos de agua, ríos o el mar mismo y una extensión del espacio normalmente ocupado por el agua y puede dañar vidas humanas y bienes materiales.

De la definición anterior, para el caso en estudio, es de suma importancia la intensidad de las precipitaciones así como el estado de las estructuras hidráulicas en el Municipio. La intensidad de las precipitaciones se mide en mm de altura por unidad de tiempo, usualmente mm/hr ó mm/día.

5.2.6.3 Régimen de lluvias en Ameca

En un breve análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas ocurridas en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre de 1997 al 2008 en Ameca se desprende la imagen 5.2.6.3.

Se puede observar que la mayor incidencia de lluvias muy fuertes e intensas ocurre durante los meses de julio, agosto y septiembre, normalmente.

Sin embargo se han reportado lluvias intensas en otros meses, como las ocurridas en enero de 1992 y que provocaron inundaciones en varias partes del Municipio, sobre todo en San Antonio Matute. De hecho, y aunque no existen registros precisos al respecto, las inundaciones ocurridas en octubre del 2003 en algunos puntos del Municipio pudieron deberse a la entrada de la tormenta tropical Olaf.

El régimen de lluvias en el Valle de Ameca está determinado en gran parte por la entrada de los vientos alisios del este que traen humedad desde el océano Atlántico y por la incidencia de las ondas tropicales del este. También incide en el régimen de lluvias en el Valle la temporada de huracanes del Pacífico.



5.2.6.4 Control y regulación de Escurrimientos en Ameca e inundaciones históricas.

El control y la regulación de los escurrimientos tiene por objetivo disminuir los gastos o caudales máximos durante las avenidas y dotar a la región de agua durante la etapa de estiaje. Este control se logra mediante la construcción de embalses y vasos reguladores.

En la región Valles el principal vaso regulador lo constituye la Presa de la Vega, la cual cubre una superficie de 1950 hectáreas y tiene capacidad de almacenar 44 Mm³ y desalojar hasta 250 m³/s. Fue construida entre 1952 y 1956. Figura 5.2.6.3.

El agua proveniente de este vaso regulador es empleado en el riego de aproximadamente 8000 hectáreas en la zona del Valle de Ameca.

La Vega puede llegar a rebasar su capacidad de almacenamiento (dentro de ciertos límites) sin ocasionar por ello inundaciones en el Valle de Ameca, como la situación que presentó al 5 de diciembre del presente año. Tabla 5.2.6.2.

Esto es, en 2010 rebasó en 27.59 % su capacidad sin que provocara inundaciones en el Valle, y a diciembre del 2011 presenta un 10.93% por encima de su capacidad. La inundación que se presentó en Ameca en julio de 1958, es decir cuando La Vega ya había sido construida, se debió a las fuertes lluvias que cubrieron una gran parte del Estado de Jalisco, y no precisamente a un desbordamiento de La Vega.

Sistema regulador Texcalame-San Ignacio.

El sistema regulador Texcalame-San Ignacio el cual se presenta en la imagen 5.2.6.4., cubre un área de 94.90 km² y sus características generales son las que se señalan en la tabla 5.2.6.3

La imagen 5.2.6.5 corresponde a la presa El Texcalame y la imagen 5.2.6.6 a la presa San Ignacio. Este sistema hidrológico es de suma importancia pues su gasto o caudal máximo para un periodo de retorno (Tr) de 100 años alcanza los 172.4 m³/s, calculados según el método del Servicio de Conservación de Suelos de EUA y Chow, mediante el software HEC-HMS y Kosmo.

Los escurrimientos de esta “pequeña” cuenca representan uno de los principales riesgos para la cabecera municipal en caso de desborde de cualquiera de los cuerpos de agua que se encuentran aguas arriba. El Arroyo Santiago, en su cauce cercano a la zona urbana del municipio ha quedado rodeado por colonias que si se encuentran en alto riesgo debido a una inundación.

La inundación de 1923 en el Arroyo Santiago se debió al rompimiento de la cortina de la presa San Ignacio, cortina hecha de mampostería. Ver imagen 5.2.6.6 y 5 2.6.7.

Otro vaso regulador (ver imagen 5.2.6.8) es la que se encuentra sobre el Arroyo Jalolco. Este arroyo desbordo en 2003 sobre la comunidad del Arco en una inundación repentina, el cual es nuestro siguiente apartado.

5.2.6.5 Inundaciones Repentinas

Dado que el origen de este tipo de fenómenos bien puede ser una tormenta tropical o una tormenta severa de otro tipo, la forma en que ocurren dichos eventos se abordó en el capítulo referente a huracanes y tormentas tropicales, en función de lo anterior se pasará directamente a los eventos de inundaciones repentinas históricas ocurridas en Ameca, tratando específicamente las ocurridas en 2003 en las comunidades El Arco y



El Magistral, y se presenta el cálculo de gasto máximo para el arroyo El Magistral que afecto al Rancho La Higuera.

La comunidad del Arco se encuentra ubicada $104^{\circ} 04'24''$ longitud W y $20^{\circ} 36' 24''$ latitud N. muy cercano al fondo de la cañada por la cual corre el Arroyo Jalolco. Imagen 5. 2.6.9

El arroyo Jalolco desbordo en 2003, sin causar mayores daños en El Arco, como se especifica en el mapa respectivo, sin embargo el cálculo del hidrograma para Tr 100 años arroja un gasto máximo de 57.4 m³/s y ocurre 14 horas después de iniciada la tormenta si esta se distribuye más o menos uniformemente durante las 24 horas del día.

Una imagen de la red hidrológica aguas arriba del Arco se muestra en la imagen 5.2.6.10, con el esquema de cálculo.

El hidrograma calculado según el método mencionado con anterioridad se presenta en la imagen 5.2.6.11

Los niveles de agua alcanzados por la inundación del 2003 en El Arco se muestran en la imagen 5.2.6.12.

El Magistral es otro caso de inundación repentina la cual se presento al mismo tiempo que la del Arco, aunque el Magistral se encuentra en la Sierra de Quila en los márgenes del arroyo Los Tablones. Imagen 5.2.6.13 El nivel alcanzado por la superficie libre del agua se muestra en la imagen 5.2.6.14

El fondo del arroyo se encuentra 2.5 metros abajo del terraplen que aparece en este misma imagen. En el caso del magistral si ocurrieron mayores daños, sin que se reportaran víctimas fatales.

El cálculo de gasto máximo para El Magistral a un periodo de retorno de 100 años, es de 39.7 m³/s. El hidrograma se presenta en la imagen 5.2.6.15. La red del Magistral se muestra en la imagen 5.2.6.16

Rancho La Higuera.

El rancho la Higuera es otro sitio en el que han ocurrido inundaciones. Este se encuentra sobre la desembocadura del arroyo El Magistral sobre el Rio Ameca. Cabe señalar que el arroyo El Magistral es el mismo cauce que el arroyo Tablones y drenan ambos hasta su desembocadura en el rio Ameca un total de 29.77 km², su cauce principal, compuesto de los dos arroyos mencionados, tiene una longitud de 19856 metros, alcanzando una altitud máxima de 2432 y mínima de 1218 msn.

La red hidrológica que incide sobre el Rancho la Higuera se muestra en la imagen 5.2.6.17

El gasto o caudal máximo para un Tr de 100 años es de 60.6 m³/s.

El hidrograma del modelo correspondiente se muestra en la imagen 5.2.6.18

Se debe considerar que se carece de información pluviografica, y aunque los datos de precipitación son los reportados por las estaciones de CNA, se desconoce la distribución en el tiempo de las tormentas. Tan es probable que la tormenta dure unas pocas horas como que se distribuya a lo largo del día, y al final del periodo de 24 horas la precipitación total máxima en 24 horas será la misma pero no así la intensidad de la tormenta. Por ejemplo, en el caso del arroyo El Magistral, si la misma precipitación ocurre en el transcurso de 4 horas en lugar de 24, el caudal máximo se incrementa a casi 200 m³/s, y ocurre aproximadamente a las 2 horas de iniciada la tormenta.

5.2.6.6 Localidades cercanas a cauces de arroyos y ríos en el Municipio de Ameca.



Aún cuando no en todas las localidades rurales cercanas a los cauces de los arroyos y ríos en el Municipio de Ameca se han presentado inundaciones, el sólo hecho de estar situadas cerca de los cauces las hace vulnerables a este fenómeno. Se presenta en la tabla un listado de las comunidades rurales ubicadas a menos de 100 metros del cauce de un arroyo o río, y en algunas de las cuales ya han ocurrido inundaciones en el pasado. En las que no han ocurrido se deben tomar las medidas para que no se presente el fenómeno y revertir aquellas tendencias que empujan a que ocurran este tipo de desastres como lo es el asolvamiento de los cauces de ríos, arroyos y cuerpos de agua debido a la pérdida de suelo, (producto a su vez de la deforestación de las partes altas de las cuencas), el crecimiento de las localidades hacia el cauce, la obstrucción de los cauces con basuras y escombros, etc. Tabla 5.2.6.4

Las imágenes 5.2.6.19, muestran la distribución de las comunidades en la parte noreste y su cercanía con los cauces de los arroyos y ríos del Municipio de Ameca.

La imagen 5.2.6.20 corresponde a las comunidades situadas en la parte noroeste del municipio:

La imagen 5.2.6.21, a las comunidades del lado suroeste del municipio.

Finalmente, la imagen 5. 2.6. 22 a las comunidades ubicadas al sureste.

Ciudad de Ameca

Considerando los escurrimientos que ingresan a la zona urbana de Ameca, la red hidrológica que incide directamente sobre ella está conformada por tres subcuencas. Los aportes de dos de ellas, las subcuencas Río Salado y Río Cocula, dan origen al Río Ameca.

El punto de drenaje de la Subcuenca Río Cocula (RH14Aa) se encuentra precisamente en el límite este de la zona urbana de Ameca. Pero además el punto de drenaje de la Subcuenca Río Salado se encuentra localizado aguas arriba de la Cd de Ameca. Así, en la zona urbana de Ameca inciden directamente los escurrimientos de dos subcuencas completas: Río Salado y Río Cocula y parcialmente los escurrimientos de una tercera: Río Ameca-Pijinto.

Un cálculo grueso estimativa de los aportes de la Subcuenca Río Salado en su punto de drenaje, aguas debajo de la presa La Vega es de 1711 m³/s para un periodo de retorno de 2 años y 2295 m³/s, para un periodo de retorno de 100 años. En la imagen 5.2.6.23

Sin embargo muchos de estos aportes se distribuyen de manera racional y controlada en las 8000 hectáreas de riego del Valle de Ameca convirtiéndolo en uno de los más productivos del país.

Para la descripción de los aportes de la Subcuenca Río Cocula se empleó el software HEC-HMS, y se generaron a su vez 8 cuencas más pequeñas etiquetadas según el nombre del arroyo o río principal: Río Cocula, Los Llanitos, Piedra Blanca, El Cajón, La Chirimoya, Las Manitas, Los Arrimados y El Cabezón. Se determinó el área drenada por cada Subcuenca, el tiempo de retraso según Chow, y el número de curva según el SCS. Así mismo se determinó el porcentaje de área impermeable de cada una de ellas. Una imagen del mapa subyacente al proyecto se muestra en la imagen 5.2.6.24:

El hidrograma resultante de este proyecto para Tr 100 años se presenta en la imagen 5.2.6.25 y Tabla 5.2.6.5



La Cd. De Ameca desde el punto de vista de sus cuencas urbanas hidrológicas cubre un área total de 10.392 km². Estas áreas fueron calculadas mediante la generación de un modelo digital del terreno utilizando curvas de nivel a un metro. El modelo generado se procesó mediante la herramienta Archydro hasta generar polígonos. Dada que el número inicial de estos polígonos era muy alto, se fueron uniendo los más pequeños a los grandes para dejar el número adecuado de cuencas. Una vez hecho esto se convirtieron los polígonos a líneas para obtener el formato final buscado. Mediante este procedimiento se limitaron las cuencas urbanas según la carga hídrica soportada. Se obtuvieron 14 subcuencas urbanas y se numeraron en el sentido horario, para terminar cerrando en forma de espiral, siendo la cuenca del centro la numero 14. Imagen 5.2.6.26

Una vez determinadas las cuencas urbanas se procedió a determinar el caudal máximo para periodos de retorno de 2, 10, 50, 100, y 200 años. Considerando para este cálculo no sólo la precipitación directa sobre las áreas de las cuencas urbanas sino los escurrimientos provenientes de la red hidrológica general del municipio y de los aledaños. Estos escurrimientos impactan directamente en las cuencas urbanas 2, 4, 6, 11, 12, 13 y 14. Dos de ellos, el Sistema Regulador Texcalame-San Ignacio, y la aporte de la Subcuenca Rio Ameca ya fueron descritos anteriormente. Enseguida se describen los cauces restantes y al final se presenta una tabla resumen de los mismos.

Los dos aportes restantes están ubicados uno en la ribera norte del Rio Ameca y otro en la ribera Sur, ambos pertenecen a la Subcuenca Rio Ameca-Pijinto. Al primero, para los fines de este estudio, lo hemos denominado “Subcuenca Urbana Norte” y al segundo “Arroyo Solitario”. Para cada uno de ellos se generó un proyecto HEC-HMS.

La “Subcuenca Urbana Norte” tiene una longitud total de 6899 y drena un área de 8.62 km². Imagen 5.2.6.27. El subcuenca “Arroyo Solitario” tiene una longitud total de 5445 metros y drena 4.31 km². Imagen 5.2.6.28.

Una tercer aporte denominado para fines de este estudio El Diamante está conformado por las subcuencas Los Llanitos, Piedra Blanca y El Cajón, se analizó de manera seperado ya que incide sobre la cuenca urbana 4 antes de desembocar en el Rio Ameca, un efecto que se repite también en las dos anteriores “subcuencas”.

Caudales Máximos en Zona de Urbana de Ameca

Una vez descritos los aportes de los diferentes causas a la zona urbana de Ameca, se calculó el caudal máximo para cada cuenca urbana. A los caudales que capta cada cuenca urbana por si sólo se sumó el caudal de las corrientes que inciden directamente en ellas. Tabla 5.2.6.6

Las siguientes imágenes corresponden en su mayor parte a la subcuencas urbanas # 2, 4 y al Rio Ameca a su paso por la Cd. del mismo nombre.

La imagen 5.2.6.29. muestra una parte baja del río susceptible a inundaciones.

La imagen 5.2.6.30 muestra la zona donde desemboca el “Arroyo Solitario”, el río Ameca después de cruzar las cuencas urbanas 6 y 14.



La imagen 5.2.6.31. muestra el empantanamiento del agua proveniente de cuencas 6 y 14 al

llegar al Río Ameca.

Desembocadura de cuencas 6 y 14 en el Río Ameca. Imagen 5.2.6.32.

Obra Hidráulica pluvial para las cuencas urbanas 3 y 4. Imagen 5.2.6.33.

Punto de salida de la cuenca urbana 2. Imagen 5.2.6.34.

Modelado de zonas de inundación

Mediante los software´s HEC-GeoRas, HEC-RAS y ArcGis, se modelo para la zona urbana de Ameca las zonas de inundación a diferentes periodos de retorno.

El procedimiento utilizado es el siguiente:

1. Crear archivo ArcView.
2. Añadir un Modelo Digital del Terreno en formato TIN (Triangulated Irregular Network).
3. Dibujo del cauce.
4. Dibujo de “banks”: delimitación del cauce principal.
5. Dibujo de “flowpaths”: zonas por donde prevemos que circulará el agua preferentemente, tanto por el cauce principal como por las llanuras de inundación.
6. Creación de secciones transversales.
7. Creación de cauce 3D a partir del cauce que hemos creado en planta con la TIN.
8. Creación de secciones transversales 3D (de forma análoga).
9. Crear archivo para exportar a HEC-RAS.

CÁLCULO CON HEC-RAS:

10. Importar geometría desde HEC-RAS.
11. Editar estructuras hidráulicas
12. Editar los datos necesarios para el cálculo en régimen variable (condiciones de contorno, caudal de entrada, duración de la simulación, etc.).
13. Realizar simulación con HEC-RAS.
14. Exportar resultados de HEC-RAS a ArcView.

POST-PROCESO:

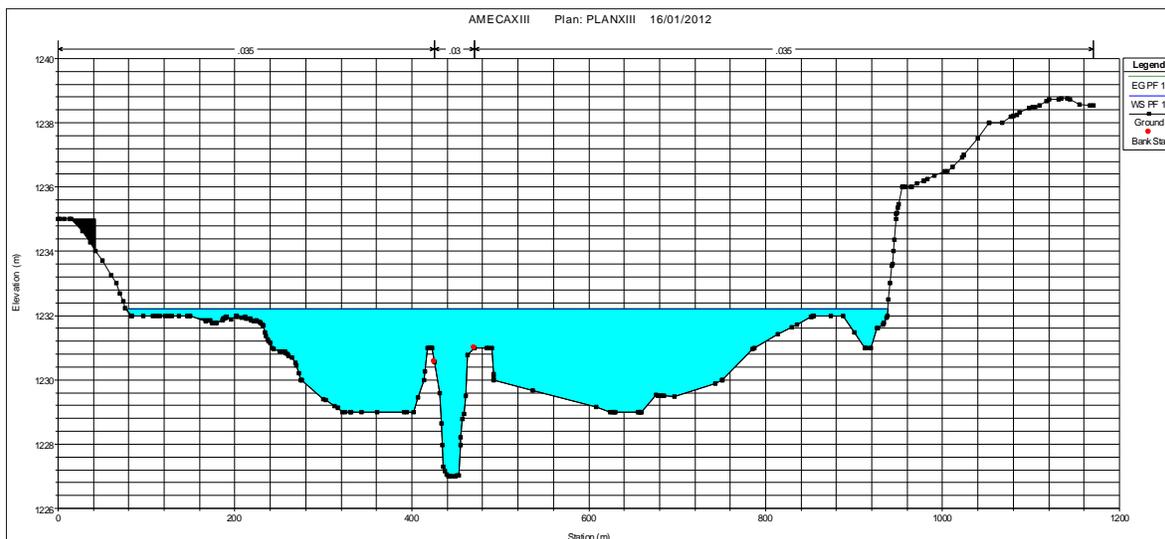
16. Abrir el fichero de resultados desde ArcView.
17. Crear mapas de inundación y de velocidades.
18. Combinar datos de calado y velocidad para obtener mapas de riesgo.

Con la anterior metodología se elaboraron dos proyectos uno para el Rio Ameca y otro para el Arroyo Santiago, los resultados obtenidos para periodos de retorno de 100 años se presentan a continuación para la primeras secciones del trazo de ambos cauces.



Cabe mencionar que para el caso de la zona urbana de Ameca la elaboración del MDT se hizo a partir de un levantamiento topográfico de curvas de nivel a 1 metro, por lo que el MDT obtenido es de buena calidad. Así mismo, se realizó un levantamiento topográfico del cauce del Rio Ameca a su paso por la zona urbana de Ameca.

En el caso del Arroyo Santiago sólo se contó con los datos proporcionados por el MDT.



1Imagen 5.2.6.a Resultados Rio Ameca Tr 100 años

En la gráfica los bordes del rio aparecen como los dos puntos rojos.



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco.

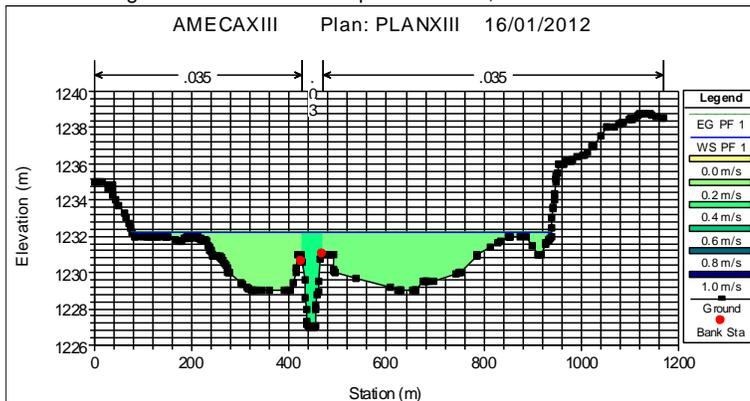


Imagen 5.2.6.b Perfiles de velocidad

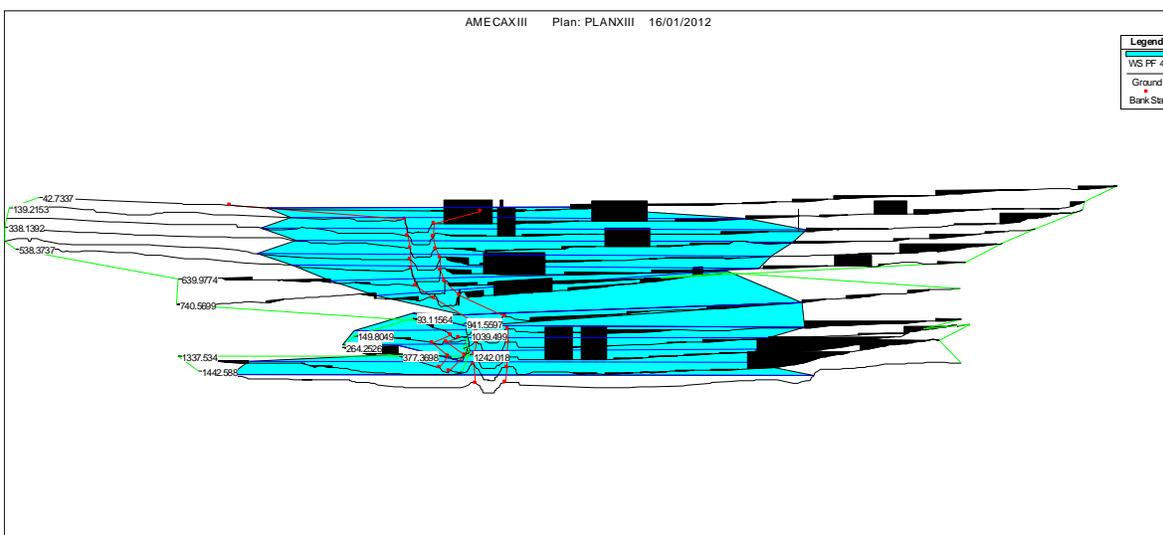


Imagen 5.2.6.c las secciones transversales se presentan en la imagen anterior para Tr: 100 años.

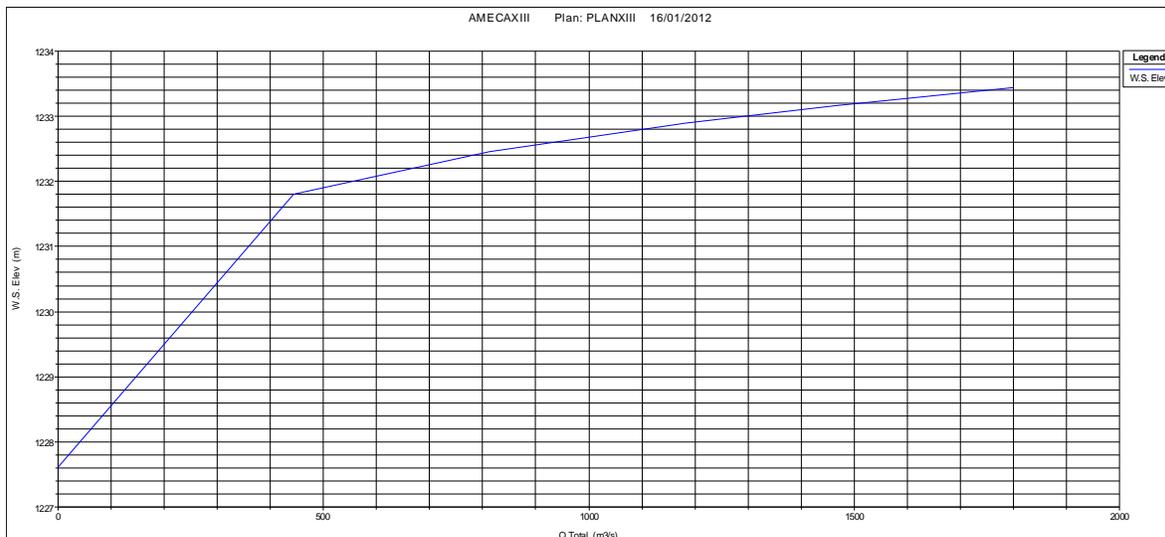


Imagen 5.2.6.d, Altura de la superficie del agua contra caudal máximo.

Proceso de construcción llanura de inundación Rio Ameca, los puntos que aparecen en la siguiente imagen son resultado del levantamiento topográfico.

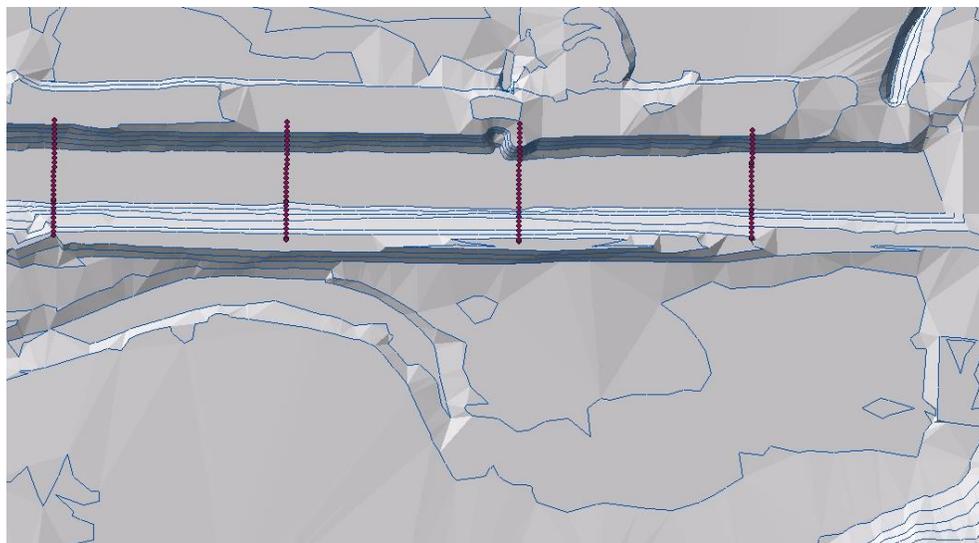


Imagen 5.2.6.e Parte de proceso de construcción

Modelo de llanura de inundación provocada por el Rio Ameca para $Tr = 100$ años.



Imagen 5.2.6.f, Llanura de inundación Rio Ameca

Proceso de construcción de llanura de inundación provocada por el Arroyo Santiago:

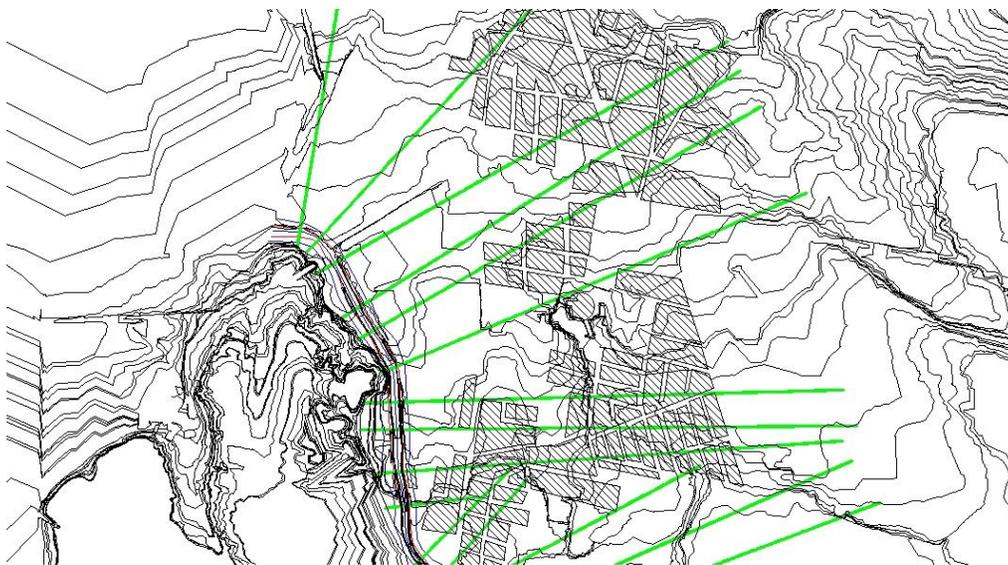
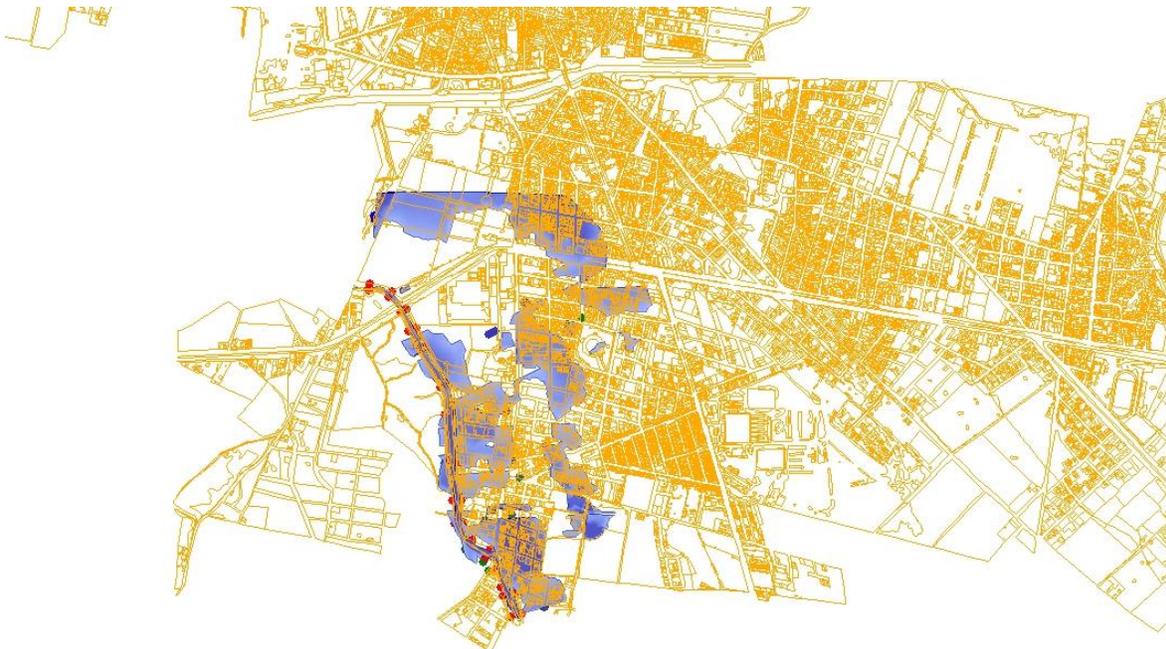


Imagen 5.2.6.g Construcción proyecto con HEC-GEORAS

Llanura de inundación Arroyo Santiago

**Imagen 5.3.6.h Llanura de inundación Arroyo Santiago.**

Los proyectos completos Arcmap, y HEC-RAS se entregan como archivos anexos.

Área urbana El Cabezón.

El Cabezón es una localidad situada en los $103^{\circ} 57' 04''$, longitud Oeste y $20^{\circ} 29' 43''$ latitud Norte. Es una localidad de más de 2500 habitantes, hidrológicamente está situada en la Subcuenca RH14Aa, Rio Cocula y drena sus aguas hacia un punto cercano a la Cd de Ameca sobre el Rio del mismo nombre. Su área urbana es cruzada por el Arroyo San Martin, el cual hasta ese punto drena un área de 168.46 km². Tabla 5.2.6.7.

De la misma manera en el Cabezón se elaboró un proyecto con HEC-HMS, en la imagen 5.2.6.35 se muestra la red hidrológica.

Los resultados obtenidos para los diferentes periodos de retorno se muestran en la tabla 5.2.7.8.

Hidrograma para Tr 100 años en el Arroyo San Martin, proyecto el Cabezón imagen 5.2.6.36.

La comunidad El Cabezón se analizó también mediante el software HEC-RAS, aunque no fue posible determinar las áreas de inundación ya que no se cuenta al momento de realizar el presente estudio un levantamiento topográfico con curvas de nivel a 1 metro. Esta información se requiere para la elaboración de un modelo digital del terreno el cual es punto de partida del software HEC-GeoRas.



Se utilizó un modelo de estacionario para periodos de retorno de 2, 10, 50, 100 y 200 años, obtenidos, como ya se mencionó a partir de HEC-HMS. Se efectuó un levantamiento topográfico de 5 secciones del Arroyo San Martin a su paso por El Cabezón.

Los resultados obtenidos se anexan en el proyecto completo. Aquí sólo se muestran, a modo de ejemplo, los resultados para la sección 10 obtenidos para 100 años de periodo de retorno:

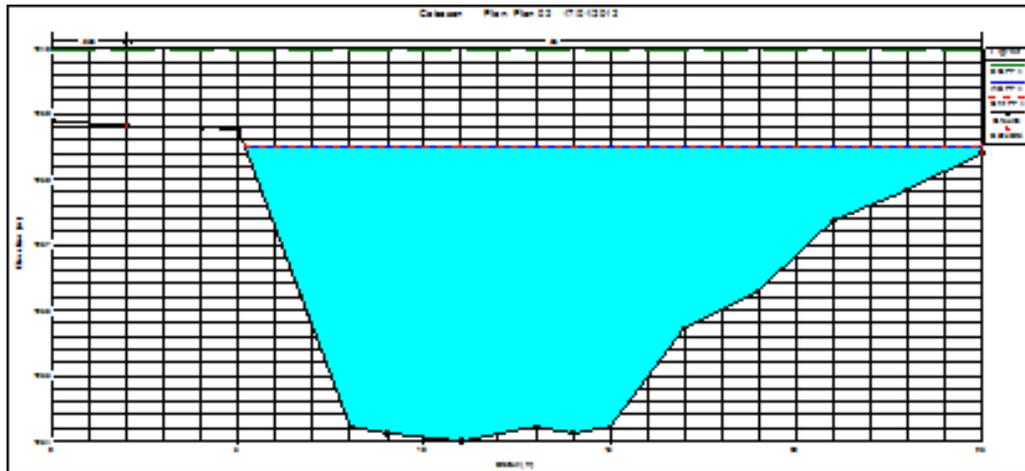


Imagen 5.2.6. i Sección 10, antes del puente

En la gráfica el eje de las ordenadas representa la altitud sobre el nivel del mar y el eje de las abscisas el cauce del Arroyo San Martin en metros.

Altura de la superficie del agua con respecto a su canal principal

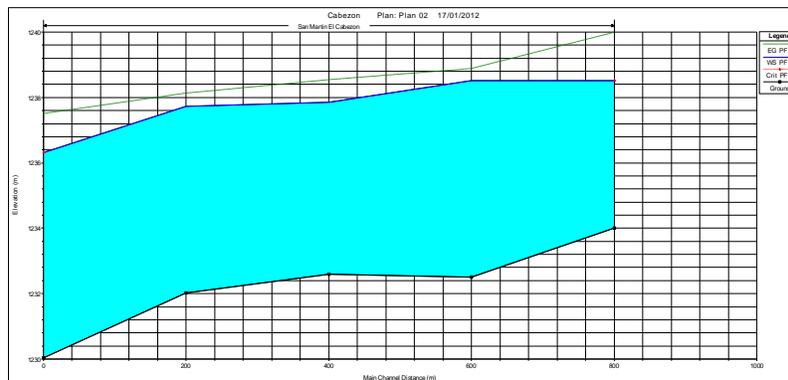


Ilustración 2 Imagen 5.2.6.j Altura de la superficie libre del agua con respecto a distancia al canal



Distribución de velocidades:

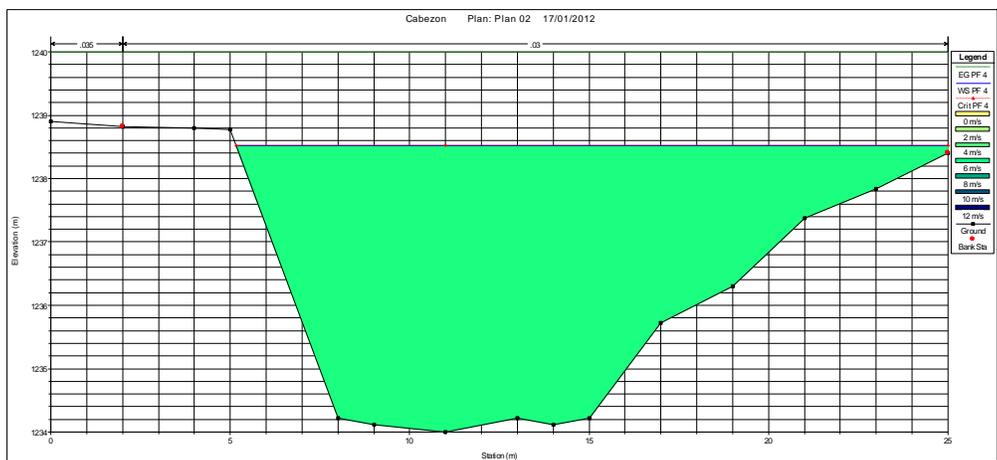


Imagen 5.2.6 k Perfil de velocidades

Gráfica de altura de superficie del agua contra caudal máximo

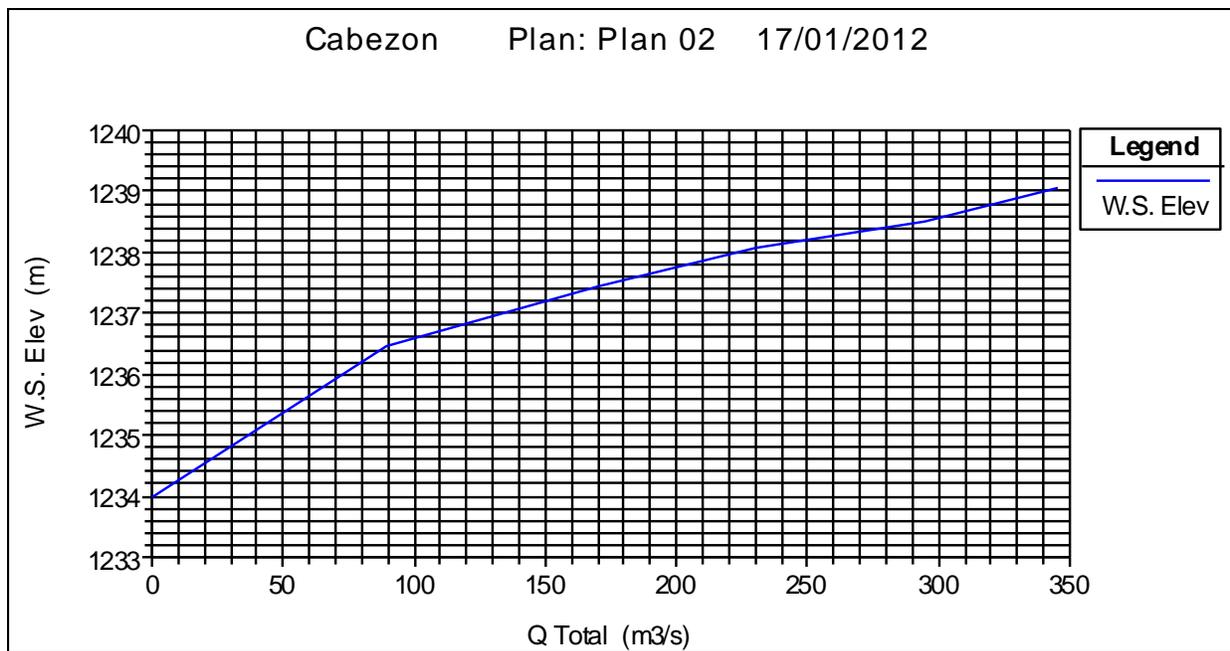


Imagen 5.2.6. l Altura de la superficie del agua contra caudal máximo



Tabla resumen:

HEC-RAS Plan: Plan 02 River: San Martin Reach: El Cabezón												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # CH
El Cabezón	10	PF 1	89.40	1234.00	1236.44	1236.44	1237.31	0.008981	4.12	21.70	12.73	1.01
El Cabezón	10	PF 2	170.70	1234.00	1237.44	1237.44	1238.61	0.008308	4.79	35.67	15.42	1.00
El Cabezón	10	PF 3	229.90	1234.00	1238.06	1238.06	1239.32	0.007985	4.98	46.16	18.31	1.00
El Cabezón	10	PF 4	295.10	1234.00	1238.52	1238.52	1239.99	0.008254	5.37	54.96	19.83	1.03
El Cabezón	10	PF 5	345.50	1234.00	1239.04	1239.04	1240.43	0.007506	5.23	66.37	25.00	0.99
El Cabezón	9	PF 1	89.40	1232.50	1236.19		1236.33	0.000866	1.67	53.54	22.18	0.34
El Cabezón	9	PF 2	170.70	1232.50	1237.38		1237.60	0.000951	2.08	82.25	25.97	0.37
El Cabezón	9	PF 3	229.90	1232.50	1238.06		1238.33	0.000964	2.29	100.57	27.00	0.38
El Cabezón	9	PF 4	295.10	1232.50	1238.52		1238.87	0.001126	2.62	112.82	27.00	0.41
El Cabezón	9	PF 5	345.50	1232.50	1238.90		1239.30	0.001194	2.81	123.01	27.00	0.42
El Cabezón	8	PF 1	89.40	1232.60	1235.69		1236.04	0.002898	2.65	33.77	17.06	0.60
El Cabezón	8	PF 2	170.70	1232.60	1236.85		1237.30	0.002654	2.99	57.52	23.49	0.60
El Cabezón	8	PF 3	229.90	1232.60	1237.56		1238.05	0.002185	3.12	74.42	24.00	0.56
El Cabezón	8	PF 4	295.10	1232.60	1237.85		1238.53	0.002718	3.67	81.48	24.00	0.63
El Cabezón	8	PF 5	345.50	1232.60	1238.15		1238.94	0.002657	3.95	88.79	24.00	0.65
El Cabezón	7	PF 1	89.40	1232.03	1234.88		1235.35	0.004230	3.05	29.33	16.28	0.73
El Cabezón	7	PF 2	170.70	1232.03	1236.51		1236.83	0.002096	2.50	68.93	31.30	0.53
El Cabezón	7	PF 3	229.90	1232.03	1237.44		1237.73	0.001245	2.38	98.01	31.30	0.43
El Cabezón	7	PF 4	295.10	1232.03	1237.73		1238.13	0.001547	2.80	107.20	31.30	0.48
El Cabezón	7	PF 5	345.50	1232.03	1238.08		1238.53	0.001563	2.98	118.10	31.30	0.49
El Cabezón	6	PF 1	89.40	1230.04	1232.78	1232.78	1234.02	0.011855	4.95	18.08	7.33	1.01
El Cabezón	6	PF 2	170.70	1230.04	1234.17	1234.17	1235.98	0.012620	5.97	28.62	7.91	1.00
El Cabezón	6	PF 3	229.90	1230.04	1234.98	1234.98	1237.14	0.013319	6.52	35.27	8.56	1.02
El Cabezón	6	PF 4	295.10	1230.04	1236.31	1236.31	1237.50	0.009602	4.86	61.90	26.00	0.98
El Cabezón	6	PF 5	345.50	1230.04	1236.58	1236.58	1237.90	0.009465	5.13	68.76	26.00	0.99

5.2.7 Masas de aire (heladas, granizo, nevadas)

5.2.7.1 Introducción.

“Una masa de aire es un inmenso volumen de aire que tiene características de temperatura, humedad y densidad homogéneas en la horizontal. Estas masas tienen una extensión horizontal aproximada de 1600 km.” Ayllón, 2003.

Los principales aspectos que deben reconocerse en una masa de aire son:

- la región de origen;
- la trayectoria que sigue en su desplazamiento, y
- la edad.

Las masas de aire, de acuerdo con su situación geográfica se clasifican en tres tipos: polares, tropicales y ecuatoriales.

Masa polares (masas de aire frío)

En su región de origen las masas polares y árticas tienen características comunes:

baja temperatura, escasa humedad y son estables, especialmente en sus niveles inferiores.

Las masas polares continentales, al comenzar a moverse, por lo general hacia regiones de menor latitud y por consiguiente más calientes, van aumentando su temperatura, se mantiene su humedad y se vuelven más inestables.



Las masas polares marítimas tienen su origen en el anticiclón de las Islas Aleutianas y de Islandia.

Al dejar su lugar de origen se caracterizan por:

- 1.-Aumenta lentamente su temperatura.
- 2.- Se vuelven inestables.
- 3.-Si se desplazan sobre una región oceánica se forman Cumulus y Cumulonimbus aislados, y si es región continental pierden humedad lentamente.

Masas tropicales (masas de aire caliente)

México, en su vertiente atlántica, se encuentra inmerso en la región de origen tropical, y en esta la zona de anticiclones semipermanentes del Atlántico es la fuente de aire marítimo tropical. En esta zona la temperatura del aire es muy uniforme y la dirección del viento es claramente anticiclónica.

Sus principales características en su lugar de origen son:

- Elevada temperatura
- Alto contenido de humedad.
- Inestables en sus niveles inferiores
- Debido a que su región de origen es anticiclónica, es estable en la altura.

Al desplazarse en invierno van haciéndose estables desde sus niveles inferiores; esto se debe que va comportándose como masa caliente.

Al desplazarse en verano e invadir el continente, actúa como masa fría por lo que sus características varían así:

- 1.- Aumento de temperatura, debido a que los continentes están más calientes que los océanos.
- 2.- Elevada humedad
- 3.- Inestabilidad creciente desde abajo.
- 4.- Formación de Cumulus y Cumulonimbus con gran turbulencia y precipitaciones.

Estas masa de aire húmedo son las causantes de los chubascos y tormentas eléctricas que afectan al sur de EUA y el oeste de México.

El origen de masas de aire continental tropical que afecta a México son las zonas desérticas del norte de México y SW de Estados Unidos de América. Esta zona afecta únicamente por el lado del Pacífico, desde la península de Baja California Sur hacia el norte.

Sus principales características de origen son:

- Temperatura muy elevada.
- Muy escasa humedad.
- Gran inestabilidad.
- Cielos despejados, buena visibilidad.



5.2.7.2 Frentes.

Un frente es la zona de contacto de dos masas que tienen diferentes temperaturas y densidad.

El frente se produce en la zona de convergencia de los vientos del W con los vientos polares. Debido a la diferencia de las características de ambas masas, la línea del frente es ondulada y da lugar a la formación de distintos frentes.

Así, los frentes pueden clasificarse según el sentido de su movimiento:

- 1.-Frente frío.
- 2.-Frente caliente.
- 3.-Frente ocluido.
- 4.-Frente estacionario.

Para el tema de heladas, granizo y nevadas, interesa principalmente conocer un poco más el frente frío.

Se dice que es un frente frío cuando el aire frío es el que va desplazando al aire caliente.

Las condiciones del tiempo que acompañan al paso de un frente frío en el hemisferio Norte son las siguientes:

5. Marcado descenso de la temperatura y de la humedad.
6. Sensible aumento de la presión; esto se debe a que el aire frío es más denso que el aire caliente.
7. Cambio de la dirección del viento. En el aire caliente el viento es del SW, y cambia a NW en el aire frío que viene detrás del frente.
8. Nubosidad cumuloniforme a lo largo de la línea frontal, que origina una zona de mal tiempo, aunque de poca extensión.

Un ejemplo de las consecuencias que acarrea un frente frío es el siguiente reporte del frente frío No. 11, del SMN emitido el día 7 de noviembre del 2011: “Para el día de hoy, se espera nublados con lluvia ligera, vientos fuertes con rachas de hasta 80 km/hr, así como un marcado descenso de la temperatura sobre los estados del Noroeste y Norte de la República Mexicana. No se descarta la caída de aguanieve o nieve ligera en La Rumorosa, BC. y zonas montañosas del Norte de Chihuahua y Norte de Durango. Esta situación será provocada por el frente frío no. 11.

Se pronostican temperaturas menores a los 5 °C en los Estados de Baja California, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Jalisco, etc.” Ver Figura 5.2.7.2.1.

5.2.7.3 Heladas.

Se considera la ocurrencia de heladas cuando la temperatura del aire registrada en un termómetro instalado dentro de la casilla de observaciones meteorológicas y a una altura de 1.50 m sobre el nivel del suelo, es de 0°C. Esto constituye el concepto de helada meteorológica.

Con respecto a la anterior definición de helada, se ha señalado que no se puede restringir el concepto de helada a la ocurrencia de una temperatura, ya que en el ámbito agrícola existen cultivos que pueden ser



dañados por las bajas temperatura sin que estés lleguen a cero °C, como el cacao, el café, las orquídeas, etc., esto es, se considera, entre otros aspectos, tolerancia propia del cultivo o variedad de éste, etapa de desarrollo y condiciones sanitarias. Cuando ocurre daño a temperaturas por encima de 0 °C, se denomina daño por “enfriamiento” más que por “congelación”. En los climas templados, el daño a los cultivos de grano puede ocurrir también antes de la fase de hinchamiento de las espigas bajo condiciones severas, o a las flores incluso con heladas moderadas.

Así, resulta útil manejar los conceptos de helada biológica y helada agronómica, en donde el primer concepto implica daño al tejido de plantas y el segundo implica, además del daño a tejidos de plantas, daño económico.

Las bajas temperaturas provocan en las regiones donde se presentan graves problemas a la agricultura y la salud de la población expuesta y dañan la infraestructura y entorpecen los servicios que esta presta. Las heladas suelen clasificarse según tres criterios: Épocas de ocurrencia, proceso físico que las origina y efecto visual que provocan.

De acuerdo con el primer criterio se dividen en: Otoñales o tempranas, invernales y tardías o primaverales.

Desde el punto de vista de la disciplina agro económica las más dañinas son las tempranas y las tardías, las primeras dañan cosechas o frutos y las segundas plántulas y cultivos en sus brotes iniciales.

Según el proceso que las origina las heladas pueden ser: Por advección, irradiación, y mixtas.

Las heladas por advección son provocadas por masas de aire frío con temperatura inferior al punto de congelación. Este fenómeno puede presentarse a cualquier hora del día o de la noche, y el grado de intensidad de los daños provocados dependen en gran medida de los tipos de cultivo y otros factores asociados como el viento y la topografía. Figura 5.2.7.3.2. y Figura 5.2.7.3.3.

Es frecuente que los fenómenos advectivos se combinen con la radiación, dando lugar a heladas de naturaleza mixta.

Las heladas por radiación se caracterizan por una gran pérdida de calor del suelo durante la noche, viento escaso o nulo y por un cielo sin nubosidad, que provoca un fuerte enfriamiento de suelo y de las capas de aire en contacto con él. La helada radiativa es precedida por la ocurrencia de inversión térmica, por lo que la temperatura es mas baja en la zona cercana a la superficie terrestre y aumenta con la altura. La inversión térmica se forma una vez que se rompe el ciclo convectivo del aire, debido al enfriamiento del suelo. Figura 5.2.7.3.4.

Hay dos subcategorías de heladas de radiación: Una es la llamada “helada blanca”, ocurre cuando el vapor de agua se deposita sobre la superficie y forma una capa blanca de hielo que se denomina normalmente “escarcha”. La otra es la “helada negra”, ocurre cuando la temperatura cae por debajo de 0 °C y la humedad es suficientemente baja por lo que no se forma hielo sobre la superficie. Sin embargo, los cultivos son dañados y al día siguiente las plantas presentan una coloración negruzca, por la congelación de la savia o del



agua de sus tejidos. Durante este tipo de helada sucede que al congelarse el agua, se origina un incremento de su volumen, que deriva en el rompimiento y quemaduras en el follaje. Estas heladas causan daños más severos que las blancas.

Cuando la humedad es alta, es más probable que se produzca una “helada blanca”. Como el calor se libera durante el proceso de formación del hielo, las heladas blancas normalmente producen menos daño que las heladas negras. Ver Figura 5.2.7.3.5.

Normalmente, el daño por heladas en climas subtropicales está asociado con el movimiento lento de masas de aire frío que puede traer 2–4 noches de 8–10 horas de temperatura bajo cero.



Información meteorológica

El SMN emite un boletín de alerta por heladas de lunes a viernes a las 15:00, durante los meses octubre a abril. Este sitio publica proyecciones de temperatura mínima en 24 horas como la que se muestra en la Figura 5.2.7.3.6.

Factores meteorológicos que influyen en la formación de heladas.

Reflexión solar y capacidad de conducción térmica del suelo. La reflexión se entiende como la capacidad de reflexión de luz de la superficie del suelo y se mide en albedos. La capacidad térmica es la habilidad de conducción de calor de un cuerpo o sustancia, ya sea por mecanismos conductivos o convectivos.

Radiación solar. Es la cantidad de energía solar en watt/m^2 que recibe, en función de su latitud, una determinada área de la superficie del planeta. En los trópicos donde el Sol está en el cenit, la Tierra recibe más radiación que en las regiones situadas hacia los polos. Cuando de una región de la superficie terrestre se desprende una mayor cantidad de calor que la que recibe, ocurre un enfriamiento que favorece la formación de la helada.

Altura sobre el nivel del mar. A medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar disminuye la presión atmosférica, por lo que al aire tiende a expandirse, tomando calor de sí mismo para efectuar ese trabajo y por lo tanto enfriándose. La temperatura disminuye aproximadamente $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ con la altitud.

Topografía y viento. La topografía juega un papel de primera importancia en la ocurrencia de heladas en una región, ya que determina el patrón de vientos de la zona y por lo tanto influye en los regímenes de mezcla y velocidad de las corrientes y flujos de viento.

Nubosidad. Las nubes sirven para retener gran parte del calor que, de otro modo, se perdería para la tierra en forma de reflexión y absorben cierta proporción de la energía que interceptan. Las nubes altas normalmente tienen un efecto de calentamiento que se llama efecto invernadero, porque dejan pasar la radiación solar pero absorben la radiación terrestre, enviando parte de ésta hacia el suelo. En cambio, las nubes bajas y, sobre todo, nubes con gran espesor tienen el efecto de enfriar, porque reflejan o absorben la radiación solar.

Humedad atmosférica. Cuando disminuye la temperatura a 0°C o menos y no existen vientos o corrientes, la humedad del aire se condensa, si la humedad es relativamente abundante este produce niebla, si la humedad es baja, ocurre la helada.

Existen informes sobre heladas (Ver: Tiefenbacher, Hagelman y Secora, 2000) en los que quedan asentadas observaciones acerca de una clara relación entre la latitud y el daño producido y entre la latitud y la cosecha anticipada a la helada. Estos investigadores observaron que las plantaciones más al norte de la zona de estudio sufrieron más daño por helada, pero también que cosecharon considerablemente antes que la primera helada, lo que les permitió sobrevivir con menos pérdidas económicas.



También observaron una relación entre la longitud y la edad y tamaño de las plantaciones, y a su vez la relación con la elevación.

Normalmente, las zonas topográficas bajas tienen temperaturas más frías y por tanto pueden sufrir más daño. Hay que tener en cuenta que el daño a veces puede ocurrir en una parte del área cultivada y no en otra, sin que se aprecien diferencias topográficas. En algunos casos ello puede ser debido a las diferencias en el tipo de suelo, que puede afectar a la conducción y al almacenamiento del calor en el suelo.

Los suelos arenosos y secos transfieren el calor mejor que los suelos arcillosos pesados y secos, y ambos transfieren el calor mejor que los suelos orgánicos (turbas). Cuando el contenido de agua está cerca de la capacidad de campo (i.e. un día o dos después de una buena humectación del suelo), muchos suelos presentan las condiciones que son más favorables para la transferencia y almacenamiento del calor. No obstante, los suelos orgánicos tienen una pobre transferencia y almacenamiento de calor independientemente del contenido de agua. Cuando se selecciona un emplazamiento en una región propensa a las heladas, hay que evitar plantar en los suelos orgánicos.

El aire frío es más denso que el aire caliente, y por consiguiente fluye ladera abajo y se acumula en las zonas bajas igual que el agua en una inundación. Ver Figura 5.2.7.3.7.

El aire frío drena hacia abajo por la ladera y se establece en las zonas más bajas, donde hay más probabilidad de daño por helada. Ver Figura 5.2.7.3.8.

Por ello se deben evitar las posiciones más bajas de fondo.

Por ejemplo, a escala regional, los fondos de valle cercanos a los ríos son normalmente más fríos que las pendientes situadas más arriba. Estas zonas pueden identificarse a partir de mapas topográficos, recogiendo datos de temperatura, y localizando las áreas donde se forman primero las nieblas a nivel del suelo. Las zonas bajas tienen consistentemente las noches más frías, cuando el cielo está despejado y el viento es débil, durante todo el año. Por esto, las medidas de temperatura para identificar las zonas frías pueden realizarse en cualquier momento del año. Ver Figura 5.2.7.3.9.

La plantación de cultivos de hoja caduca en las pendientes cara norte retrasa la floración en primavera y, a menudo, proporciona protección. En el caso de los árboles subtropicales, es mejor plantarlos en las pendientes de las solanas, mismas que son las laderas donde el suelo y los cultivos pueden recibir y almacenar más energía directa del Sol. En comparación con las vertientes o laderas de umbría.

Bases matemáticas de la transferencia de energía.

Las tasas de transferencia de energía determinan a que nivel de enfriamiento se llegará y que tan eficaces pueden ser los métodos de protección contra heladas. Esta fuera de los alcances de este estudio una explicación del proceso de transferencia de energía durante un evento de temperaturas bajas, pero es útil recordar que se trata de un proceso gobernado por las leyes de la termodinámica, es decir, se trata de un proceso de transferencia de energía calorífica, las cuales se mencionan sucintamente enseguida.



Las cuatro formas principales de transferencia de energía, que son importantes en la formación de heladas, son la radiación; la conducción (o flujo de calor al suelo); la convección (i.e. la transferencia de calor sensible y calor latente en el fluido); y los cambios de fase asociados con el agua.

Lo anterior se expresa mediante la fórmula:

$$R_n = G - H - LE \quad \text{ec. 1}$$

Donde:

R_n = Cantidad neta de energía radiante retenida por la superficie, (W/m^2)

G = Densidad de flujo de calor en el suelo, (W/m^2)

H = Densidad de flujo de calor sensible, (W/m^2)

LE = Densidad de flujo de calor latente, (J/kg)

La radiación añade energía a la superficie, por lo que en términos matemáticos se dice que tiene signo positivo. Cuando G es positivo, la energía va hacia dentro del suelo, y cuando H y LE son positivos, el flujo de energía es hacia arriba, a la atmósfera. Por consiguiente, los flujos de H y LE son positivos hacia afuera de la superficie y negativos hacia la superficie.

Finalmente, cabe mencionar que el conocimiento más profundo de estos principios ayuda a predecir de manera más exacta tanto la ocurrencia como la intensidad de los fenómenos de heladas a nivel regional. En la Figura 5.2.7.3.10. se muestra una gráfica con la medición de algunos de los parámetros comentados en este apartado.

10 Temperaturas del aire (T_a) y del punto de rocío (T_d) a 1,5 m de altura, radiación neta (R_n) y densidad de flujo de calor al suelo (G) medidos en un campo de nogales.

Análisis probabilístico de ocurrencia de heladas.

La longitud media del periodo libre de heladas, que se extiende desde la ocurrencia de la última temperatura bajo cero en la primavera hasta la primera en otoño, es a veces utilizada para caracterizar geográficamente el potencial de daño.

La temporada de invierno abarca parte de dos años, es decir, comienza al final de un año y termina en el siguiente año. Ver Tabla 5.2.7.3.1.

Es importante señalar que en los registros realizados se consideró el período invernal completo. Al hacerlo de esta manera, la primera helada no se limita al 31 de diciembre del primer año, sino hasta la fecha en que realmente ocurra, pudiendo suceder hasta el siguiente año, y la última helada no se limita a que sea en el segundo año del período invernal, sino que puede ocurrir en el primer año.



La metodología utilizada es la propuesta por la FAO, la cual se deriva del trabajo de Haan (1979) quien elaboró una metodología para determinar la probabilidad y el riesgo para los cultivos que son dañados normalmente por congelaciones graves a mediados de invierno. Mostró cómo calcular la probabilidad de que la temperatura caiga por debajo de la temperatura crítica de daño en un año cualquiera y mostró cómo determinar el riesgo de ocurrencia una o más veces en un número dado de años.

Conocer la probabilidad exacta de alcanzar una temperatura crítica específica de daño en una fecha determinada, en primavera y en otoño, es útil para determinar fechas de siembra y de cosecha en cultivos anuales y la duración deseable de la estación de crecimiento para evitar el daño por helada. El procedimiento consiste en la utilización de una función de distribución de probabilidad de valor extremo tipo I:

$$P(T < T_c) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{T_c - \mu}{\sigma}\right)} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde: $\alpha = \sigma/1.28$; $\beta = \mu + 0.45\sigma$

μ = temperatura media mínima

σ = Desviación típica de las temperaturas mínimas en los años registrados.

La FAO, a partir de este procedimiento desarrolló los programas TempRisk y FrisKs, para ambos programas se requieren mínimo 20 años de información diaria de temperaturas mínimas. La información que se aporta en el presente estudio es de 30 años de información meteorológica.

TempRisk nos da la probabilidad y el riesgo de que la temperatura caiga por debajo de un nivel crítico cuando se ha establecido la sensibilidad del cultivo al daño. Los datos que se deben ingresar son hasta 50 años de datos de temperatura mínima, las fechas de inicio y de finalización para el período a evaluar y la temperatura crítica. Ver Figura 5.2.7.3.11 y Figura 5.2.7.3.12.

FrisKs hace los cálculos de probabilidad y de riesgo asociados con las fechas de la última helada de primavera y de la primera helada de otoño. Se eligió una temperatura crítica $T_c = 1 \text{ }^\circ\text{C}$, ya que a esta temperatura pueden ocurrir daños tanto en aguacate (Hass), como en limón (Citrus limon). Ver 5.2.7.3.13.

En la figura 5.2.7.3.13. se muestra la probabilidad de tener una temperatura por debajo de la temperatura crítica más tarde en primavera y más temprano en otoño.

Por su parte en la figura 5.2.7.3.14. La gráfica muestra la probabilidad de días entre la última helada de primavera y la primera de invierno con temperatura debajo de la temperatura crítica.

Con la figura 5.2.7.3.15. se muestra la probabilidad de que no ocurra un evento con temperaturas por debajo de la temperatura crítica después del 15 de abril, para periodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 años.

La figura 5.2.7.3.16. muestra la certeza de que no ocurran heladas con temperaturas por debajo de la temperatura crítica antes del 01-Oct, para periodos de retorno de 1,10, 15, 20, 25 y 30 años.



Explicación del mapa 14006_HeI_cult.

El mapa señala las zonas de distribución de los cultivos de caña de azúcar, aguacate, y diferentes variedades de limón y su relación con las zonas de grados de intensidad de heladas. Se puede observar que existe una consistencia entre el conocimiento de las zonas de ocurrencia de heladas por los campesinos, (manifiesto en la distribución de las áreas de cultivo) y las zonas determinadas en el presente estudio. Estas zonas se delimitaron considerando los factores mostrados en la Tabla 5.2.7.3.2.

Explicación del mapa 14006_HeI_isot

Este mapa se construyó con base en los datos de las estaciones climatológicas con influencia en la zona y que son las que se han mencionado anteriormente.

Los datos tomados en consideración fueron los valores extremos de temperaturas mínimas registradas para los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre de cada año y por el rango de años disponible en el SMN para cada estación. Esto con el objetivo de establecer una relación entre la ocurrencia de heladas y el comportamiento histórico de la temperatura durante esos meses en el Municipio de Ameca.

Explicación del mapa 14006_HeI_grdo.

Este mapa representa los grados de ocurrencia de heladas tomando en consideración los factores mencionados en la Tabla 5.2.7.3.2. Los grados son: alto, bajo, medio, muy alto y muy bajo. Entre más factores se combinaran en una zona, mayor la posibilidad de ocurrencia de heladas y mayor su intensidad. Un resultado que sobresale de este mapa es que existen por lo menos tres comunidades situadas en zonas de alta incidencia de heladas: Los Arcos, Las Pilas y La Pareja, con 131, 326 y 292 habitantes según el Censo de Población y Vivienda 2010.

Estos habitantes pueden estar expuestos a riesgos a la salud por ocurrencia de heladas por lo que en seguida se aborda este tema.

Daños a la salud provocados por bajas temperaturas.

Un clima con bajas temperaturas puede ocasionar la aparición en el ser humano de infecciones respiratorias agudas, entre las que se encuentran: rinofaringitis, faringoamigdalitis, laringitis, bronquitis, otitis media y neumonía. Además pueden provocar muerte por congelación (una persona con ropa mojada puede sufrir congelación si la temperatura desciende a los 10 °C.) La hipotermia se presenta cuando la temperatura corporal desciende a los 35 °C y se le llama avanzada cuando desciende a los 26 °C, lo que puede provocar la muerte de las personas.

Los niños y ancianos son especialmente vulnerables a las bajas temperaturas.

En el caso de los adultos mayores, su cuerpo adquiere una deficiencia para regular la temperatura del cuerpo, debido a que la edad modifica el flujo sanguíneo en ellos. Por su parte, en la etapa de la niñez el cuerpo



humano es menos eficiente para regular la temperatura por lo que los cambios bruscos de temperatura lo afectan gravemente.

Un análisis de vulnerabilidad del sector de la población del Municipio de Ameca expuesta a este peligro se presenta más adelante.

7.2.7.4 Ocurrencia de granizo.

Se define el granizo como granos o corpúsculos de hielo con un diámetro que oscila entre 5mm y más y que han crecido mediante el proceso de agregación de partículas o cristales de hielo.

En cuanto a su forma, el granizo puede ser de forma irregular o regular. Estas partículas generalmente constan de un núcleo congelado envuelto por varias capas de hielo uniforme. Estas capas pueden ser opacas o transparentes y son indicativas del tipo de masa de aire y del proceso de crecimiento del núcleo de granizo. Si son opacas es porque el crecimiento ha sido rápido y quedó atrapado aire en la capa. En cambio, si la capa es transparente es porque el crecimiento ha sido lento y las burbujas de aire tuvieron tiempo de escapar. Ver figura 5.2.7.3.17.

Formación del granizo

Desde el punto de vista de la microfísica de nubes, la formación del granizo tiene lugar en el interior de la nube y se forma a partir de los núcleos de condensación existentes siempre que existe un ambiente sobre-enfriado, es decir que exista agua líquida a temperaturas inferiores a los 0 °C. Para mantener y aumentar estas cantidades de agua líquida con temperaturas inferiores a los 0 °C, se requiere la presencia de una fuerte corriente ascendente, ya que en el caso de tener una corriente ascendente débil, el agua sobre-enfriada se congelaría antes de poder tener las cantidades de agua necesarias para poder formar una piedra de granizo. Por otro lado, la presencia de agua sobre-enfriada implica que el cristal de hielo a partir del cual se formará la piedra de granizo, aumentará de tamaño gracias a la agregación de partículas de hielo y de difusión de vapor de agua, a la vez que es suspendido por las fuertes corrientes ascendentes. De esta forma el granizo podrá seguir incrementando su tamaño. Una vez el tamaño del granizo ya no puede ser mantenido por la corriente ascendente este precipita fuera de la nube.

Factores climatológicos asociados al granizo.

- 1) Presencia de una fuerte corriente ascendente. Esta corriente ascendente se verá reforzada por las perturbaciones de presión no hidrostáticas. Este punto pone en evidencia la dificultad de la predicción del fenómeno, ya que habría que modelar la estructura de vientos a escala de la tormenta, y esto es muy difícil de obtener en entornos operativos.
- 2) Efecto de la fusión, es decir, la distancia desde el nivel de congelación medioambiental a la superficie.
- 3) Altura de la isoterma de 0 °C o isocero, en valores medios se ha obtenido que para situaciones de granizo, la isocero del termómetro húmedo debe estar entre 1500 y 3700 m por encima del suelo y para situaciones de granizo de gran tamaño entre 2000 y 2700 m.



4) Es más probable la presencia de granizo de gran tamaño en superceldas convectivas debido a separación entre las corrientes ascendentes y descendentes.

6) Por otro lado, las variables de entorno termodinámicas tienen un papel muy importante en la formación y mantenimiento del granizo en nubes de desarrollo vertical. Para la formación del granizo son necesarios un alto valor de CAPE (Energía Potencial Convectiva Disponible), cizalladura (CIZ) moderada, la posición de la isocero y las isotermas de -10 , -15 y -20 °C a una determinada altura y una determinada combinación de los índices de CAPE y CIZ (0-1km) y CIZ (0-6km). Ver Figura 5.2.7.3.18.

Tamaño, peso y velocidad de caída de las partículas de granizo.

Para tener un punto de referencia adecuado, se compara las magnitudes de las gotas de lluvia y el granizo en cuanto a tamaño, peso y velocidad de caída que pueden alcanzar.

En tamaño las gotas de lluvia normales alcanzan de 1 a 2 mm. de diámetro, una piedra de granizo normalmente puede tener de 10 a 20 mm. de diámetro.

En peso una gota de lluvia, en promedio, pesa aproximadamente 1mg, mientras que en el caso del granizo, las piedras pueden llegar a sobrepasar el medio kilogramo de peso. Este orden de magnitud nos da la evidencia directa de los daños que puede provocar el granizo en superficie. En diversos estudios se ha intentado establecer relaciones entre el tamaño y los daños en superficie como en Hohl et al (2002a y 2002b) y Sánchez et al (1996), donde se encuentra que una granizada de tamaños igual o superior a 5 mm en superficie provoca daños en frutales, o cereales.

Ligado al factor peso y a las dimensiones, está la velocidad de caída de las partículas precipitantes. Las velocidades de caída de una gota de lluvia y del granizo son muy diferentes, alcanzando, en término medio para la lluvia, los 6 m/s dentro de la nube, mientras que para la piedra, en el caso de un tamaño de 20 mm, la velocidad de caída corresponde a unos 20 m/s (es decir, el recorrido dentro de la nube no durará más de 3 segundos). Existen algunos estudios que pretenden llegar a determinar la velocidad de caída del granizo. Dichos estudios son empíricos y estiman la velocidad terminal del granizo con curvas del estilo de la Figura 5.2.7.3.19, obtenidas a partir de ecuaciones en las que la velocidad terminal es función del diámetro y de algunas constantes empíricas.

Escalas de tamaño

Así como para otros fenómenos hidrometeorológicos existen escalas para ponderar la magnitud de los mismos, en el caso de las tormentas de granizo, también se han propuesto diferentes escalas, por ejemplo, la escala de The TORnado and storm Research Organisation, TORRO (Webb et al, 1986). El objetivo es, a partir de una escala de intensidades de tormentas establecida y la cual va de H0 a H10, clasificar el granizo en función del diámetro (Tabla 3.4 y Tabla 3.5), el cual está relacionado con unos daños típicos y un código de tamaño vinculado a otra tabla de 10 clases. La escala fue obtenida en 1986



por J. Webb et al y está disponible en la página web:

<http://www.torro.org.uk/TORRO/severeweather/hailscale.php>.

Esta escala nos da una idea acerca de los daños que puede causar una tormenta de granizo a partir de su tamaño. Ver Tabla Tabla 5.2.7.3.3.

Climatología del granizo

El problema de las climatologías de tiempo severo o en el caso de la climatología del granizo, reside en los datos registrados, es decir, en la consistencia y homogeneidad de las observaciones en superficie.

Para el caso de Ameca, se cuenta con los datos de las estaciones ya comentadas anteriormente. También con datos del Atlas Estatal de Riesgos, así como del Nuevo Atlas Nacional de México, del Instituto de Geografía de la UNAM.

Se presentan los datos de normales por estación de días con granizo en la región de estudio. Ver tabla Tabla 5.2.7.3.4.

5.2.7.5 Nevadas.

Las nevadas son una de las manifestaciones en que puede ocurrir una precipitación (figura 19). Éstas se presentan cuando la temperatura en la atmósfera, al nivel superficial, es igual o menor de los 0° centígrados, además de otros factores, como es el viento, principalmente su componente vertical, y la humedad, entre otras.

En Jalisco existen sólo una región con nevadas recurrentes: El nevado de Colima a 4260 msnm.

En el resto del Estado se han presentado nevadas esporádicas, como la del 15 de enero del 2010 que afectó a los municipios de Huejuquilla, Mezquitic, Villa Guerrero y Huejúcar.

La nevada del 13 de diciembre de 1997, que afectó a Guadalajara y municipios del norte del Estado.

La nevada del 14 de diciembre de 1888, también afectó a Guadalajara. En esta ocasión, la estación Ameca registró 4 °C, la estación Etzatlán 6 °C, En la 14089 5 °C, esto es no hubo condiciones climatológicas para que el fenómeno afectará a la región Valles.

No existen registros de nevadas en la región del Municipio de Ameca.

5.1. Vulnerabilidad y riesgo ante fenómenos de origen geológicos e hidrometeorológicos.



5.3.1. Introducción.

Tal como señala CENAPRED (2006), "equivocadamente se tiene la percepción de que los desastres se deben exclusivamente a los peligros. Se suele señalar, por ejemplo, al huracán o al sismo como el responsable de las pérdidas durante un desastre o emergencia. En realidad es la sociedad en su conjunto la que se expone con su infraestructura física, organización, preparación y cultura característica al encuentro de dichos fenómenos, manifestando usualmente diversos grados de vulnerabilidad en estos aspectos. Se concluye por tanto, que los desastres no son naturales, es decir, son producto de condiciones de vulnerabilidad y exposición derivados en gran medida por aspectos socioeconómicos y de desarrollo no resueltos, como elevados índices de construcciones informales, marginación, pobreza, escaso ordenamiento urbano y territorial, entre otros".

Hablar de prevención necesariamente es hablar de riesgo. Los desastres se dan por la presencia de una condición de riesgo, como resultado de la acción de un fenómeno perturbador sobre un bien expuesto.

El riesgo de desastres, entendido como la probabilidad de pérdida, depende de dos factores fundamentales que son el peligro y la vulnerabilidad. Comprender y cuantificar los peligros, evaluar la vulnerabilidad y con ello establecer los niveles de riesgo, es sin duda el paso decisivo para establecer procedimientos y medidas eficaces de mitigación para reducir sus efectos. Es por ello que se expone en este apartado el desarrollo y aplicación de la metodología para diagnosticar los niveles de vulnerabilidad y riesgo que tiene el municipio de Ameca, Jalisco.

La metodología aplicada se compone de las siguientes partes:

$$\text{Riesgo} = (\text{Peligro}) + (\text{Vulnerabilidad física}) + ((\text{Rezago Social} * 0.50) + (\text{Capacidad de respuesta} * 0.25) + (\text{Percepción local} * 0.25))$$

El Peligro ya ha sido medido y ubicado en los capítulos anteriores y de todos y cada uno se ha medido su intensidad en escala de muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto.

La vulnerabilidad física es medida en relación a la infraestructura y población que está expuesta a cada peligro, así por ejemplo, los elementos que están expuestos a un peligro de heladas son las áreas de cultivo en la época de heladas. Otro caso es por ejemplo, la exposición al peligro de las viviendas e infraestructura urbana a los hundimientos diferenciales y a las fracturas en la cabecera municipal de Ameca. En este caso también se asignó un rango de valores que van de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

El rezago social se expresa con los indicadores del Consejo Nacional de Evaluación (CONEVAL), estos valores se calcularon a partir de los resultados del censo de 2010, de INEGI. Para este proceso se generó lo que los expertos en sociología llaman regiones homogéneas, aplicando un rango también de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Para construir cartográficamente las regiones homogéneas a partir de los resultados del rezago social se aplicó un método de vecindad con el uso de un proceso de interpolación "spline" empleando un polinomio de primer orden.



La capacidad de respuesta se mide con una encuesta diseñada por el CENAPRED, 2006. La entrevista se aplicó a las autoridades de Protección Civil del municipio de Ameca, la vulnerabilidad por este concepto también se establece en rangos de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

La percepción local del peligro se obtuvo al aplicar la cédula de percepción local, CENAPRED, 2006, de esta cédula se aplicaron dos reactivos en las comunidades de más de 500 habitantes (12 localidades, 24 encuestas en total) y como lo señala la metodología de CENAPRED se calculó un promedio de la vulnerabilidad social por este concepto, aplicando un rango de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Una vez obtenido el valor para cada uno de estos componentes, es decir, vulnerabilidad física, rezago social, capacidad de respuesta y percepción local, se realizaron los diferentes escenarios de riesgo, para ello se utilizó un sistema de información geográfico, lo que permitió calcular el riesgo a través de la operación de álgebra de mapas, con la siguiente estructura:

$$R = (P) + (Vf) + (Vs)$$

Donde:

R= Indicador del riesgo

P= Intensidad del peligro

Vf= Valor asignado según condición de vulnerabilidad física.

Vs= Es el resultado de (Rezago Social * 0.50) + (Capacidad de respuesta * 0.25) + (Percepción local * 0.25)

Este proceso se aplicó para cada uno de los peligros naturales identificados e integrándose además en un escenario donde se conjugan todos los peligros, la vulnerabilidad y el riesgo.

Para la elaboración de mapas de riesgo, se utilizó información confiable y con un alto nivel de desagregación, esto debido a la complejidad de simular la interacción entre los peligros (amenazas), la vulnerabilidad física y social. Se lograron aproximaciones con mapas de índices de riesgo, donde sin llegar a cuantificar el costo esperado como consecuencia de un fenómeno se puede determinar, a través de un modelo, **la probabilidad de pérdida**, mediante simplificaciones que requieren de monitoreo y evaluación. El ajuste de los modelos se deberá hacer tras evaluar los daños y pérdidas ocasionados por un fenómeno y compararlos con los resultados obtenidos de escenarios previos. Derivado de esto, los modelos serán mejorados y representarán mejor la realidad.



5.3.2. Vulnerabilidad física

Respecto a la vulnerabilidad física se produjeron una serie de mapas y bases de datos de vulnerabilidad, a través de la identificación cualitativa de los agentes expuestos, como: vivienda, escuelas, infraestructura, hospitales, entre otros.

Estos mapas y bases de datos de vulnerabilidad física se prepararon a partir de la ponderación de los elementos expuestos a cada peligro. Los valores de ponderación, que se usaron en este Atlas de Riesgos, están basados en la importancia relativa de cada uno de los elementos de riesgo respecto al daño causado por un desastre. En la realidad estos valores de vulnerabilidad serán diferentes para diferentes tipos de peligro. Por ejemplo: la vulnerabilidad de caminos es menor para inundaciones que para deslizamiento de tierras o terremoto. Mientras ocurre una inundación, los caminos no se pueden usar temporaneamente, mientras que un deslizamiento de tierras o terremoto, los caminos pueden ser (en parte) destruidos.

Se realizaron dos niveles de análisis para la vulnerabilidad física, uno a escala 1:50,000 para el municipio de Ameca y dos detalles a escala 1:10,000 para la cabecera municipal de Ameca y para la localidad de Exhacienda el Cabezón (El Limón).

Para determinar la vulnerabilidad física se utilizó una versión modificada de la metodología que plantea el International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) de la Universidad de Twente, Holanda; en esta metodología los peligros y las vulnerabilidades son ponderados por cada experto para cada tema; estos elementos se suman determinando así el riesgo para cada tema.

Este proceso se realiza con el apoyo de un sistema de información geográfica (Arc Gis 9.2, 9.3 y 10), para los peligros de deslizamientos (derrumbes) y detritos estos se ponderaron según la pendiente y el tipo de sedimento; para el caso de la vulnerabilidad física se ponderaron valores de exposición para la población y la infraestructura social y productiva del Municipio de Ameca asignándose los siguientes valores de la tabla 5.3.2.1.

Posteriormente a estos valores se les suma la vulnerabilidad social y esto es lo que la final se considera como cálculo del riesgo por deslizamientos (derrumbes) y por detritos (avalanchas y desprendimientos).

La vulnerabilidad de las carreteras y las terracerías en el municipio se expresa en kilómetros en la Figura 5.1.6.6.

Vulnerabilidad física a sismos (nivel municipal).

Para la vulnerabilidad por sismo las ponderaciones se realizaron en función a población, construcción y servicios; para el caso de la vulnerabilidad física se ponderaron valores de exposición para la población y la infraestructura social y productiva del Municipio de Ameca asignándose los valores de la tabla 5.3.2.2.



Posteriormente a estos valores se les suma la vulnerabilidad social y esto es lo que la final se considera como cálculo del riesgo por sismos, ante una aceleración máxima superficial, derivada de un evento con un período de retorno de 500 años.

El mapa de vulnerabilidad física (14006_Sis_vul_fis) en el tema de sismos a nivel municipal muestra las zonas con mayor o menor vulnerabilidad a este fenómeno de acuerdo a los 5 rangos establecidos, (MUY BAJO, BAJO, MEDIO, ALTO Y MUY ALTO). A partir de este mapa se pueden obtener tablas y gráficas como las que se presentan en la tabla 5.3.2.3. y figura 5.3.2.1. Se muestra los tipos de infraestructura, el porcentaje de superficie que cubren y su nivel de vulnerabilidad ante sismos.

Vulnerabilidad física a sismos (cabecera municipal).

Se llevó a cabo el mismo proceso pero a nivel de la cabecera municipal, donde se agregaron varias capas más de infraestructura para asignarles una intensidad de vulnerabilidad al fenómeno perturbador (sismos).

El mapa de vulnerabilidad física resultante (14006_Sis_vul_fis2) para el tema de sismos a nivel cabecera muestra que tan vulnerable es cada zona dentro de los 5 niveles definidos (MUY BAJO, BAJO, MEDIO, ALTO Y MUY ALTO) a partir de este mapa se puede obtener tablas y graficas como las que se muestran en la tabla 5.3.2.4. y figura 5.3.2.2.

Vulnerabilidad física a la sequía. (nivel municipal).

La vulnerabilidad a la sequía de los cultivos de riego es media y de la agricultura de temporal es alta. Véase la figura 5.3.2.2.3. La superficie de bosque con vulnerabilidad media a la sequía son 22,247 Ha, principalmente de encino, matorral subtropical, pastizal inducido y selva caducifolia. Véase Tabla No. 5.3.2.2.3. Esta vegetación natural se localiza principalmente en las laderas y pie de monte, las partes altas de la sierra donde se localiza bosque de coníferas y bosque de encino es la parte con vegetación natural más húmeda del municipio. Véase el mapa de peligro a la sequía en vegetación natural.

Vulnerabilidad física a las temperaturas máximas extremas (nivel municipal).

Las temperaturas máximas extremas que se han presentado en el municipio de Ameca, que oscilan entre 30 y 40 grados Celsius, exponen al peligro a elementos muy importantes como las áreas urbanas, las áreas de cultivo y los bosques. Las áreas agrícolas presentan una vulnerabilidad alta y suman 33,251 Ha. Al tiempo que las áreas urbanas presentan una vulnerabilidad muy alta y representan 1560 Ha. Otro elemento alto en vulnerabilidad son los bosques de coníferas con cerca de 500 Ha. Otro componente altamente vulnerable a la sequía son los pastizales inducidos con 9,532 Ha. Véase las tablas No. 5.3.2.2.4.1 y No. 5.3.2.2.4.2.

Vulnerabilidad física a las heladas (nivel municipal).

La vulnerabilidad respecto a las heladas es una superficie de 3,786 Ha de cultivos de riego, de los que la mayor parte es de caña de azúcar con una extensión de 3,708 Ha. Véase Tabla No. 5.3.2.2.7.



5.3.3. Vulnerabilidad social

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

Respecto a lo anterior, se define para efectos de este Atlas de Riesgos, a la vulnerabilidad social asociada a los desastres naturales, 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”. CENAPRED, 2006.

Para poder estimar la vulnerabilidad social asociada a desastres según la definición anterior, el presente trabajo se divide en tres partes: la primera es una aproximación al grado de vulnerabilidad de la población con base en sus condiciones sociales y económicas, la cual proporciona un parámetro para medir las posibilidades de organización y recuperación después de un desastre. Para lograr lo anterior se utilizaron los resultados del Censo 2010 de INEGI para alimentar los indicadores de Rezago Social, establecidos por el Consejo Nacional de Evaluación (CONEVAL), mismo que toma en cuenta tres grandes elementos: Rezago educativo, acceso a los servicios de salud y calidad y espacios de la vivienda.

La segunda parte permitirá conocer la capacidad de prevención y respuesta de los órganos responsables de llevar a cabo las tareas de atención a la emergencia y rehabilitación. La tercera, se enfocará a la percepción local del riesgo que se tenga en el municipio, lo que permitirá diseñar estrategias y planes de prevención.

En la fórmula del riesgo, al resultado del rezago social (características socioeconómicas) le corresponde un peso del 50%, la segunda (capacidad de prevención y respuesta) tendrá un peso del 25%, mientras que la tercera (percepción local de riesgo) tendrá un peso de 25%.

Al resultado final se le asignaron valores a través de los cuales se establece un grado de vulnerabilidad social que se divide en 5 categorías, que abarca desde muy alto hasta muy bajo grado de vulnerabilidad.

Conocer la vulnerabilidad social es parte medular para evaluar la magnitud y el impacto de futuros eventos naturales, ya que ésta tiene una relación directa con las condiciones sociales, la calidad de la vivienda y la infraestructura, y en general el nivel de desarrollo del municipio.

Rezago social

El rezago social en el municipio de Ameca se analizó en dos niveles, uno de ellos es a nivel municipal y otro a nivel localidad con dos puntos específicos, la cabecera municipal de Ameca y la localidad de El Cabezón.

La fuente de información como ya se ha mencionado, son los resultados del censo de INEGI 2010. A nivel municipal se aborda para cada una de las localidades, y para la cabecera y la localidad de El Cabezón es a nivel de manzana.



El análisis del rezago social se realiza con el uso de tres ejes, rezago educativo, acceso a los servicios de salud y calidad y espacios de la vivienda.

Rezago educativo

La Norma de Escolaridad Obligatoria del Estado Mexicano (NEOEM) establece que la población con carencia por rezago educativo es aquella que cumpla alguno de los siguientes criterios:

1. Tiene de tres a quince años, no cuenta con la educación básica obligatoria y no asiste a un centro de educación formal.
2. Nació antes de 1982 y no cuenta con el nivel de educación obligatoria vigente en el momento en que debía haberla cursado (primaria completa).
3. Nació a partir de 1982 y no cuenta con el nivel de educación obligatoria (secundaria completa).

Acceso a los servicios de salud

El Artículo 4° de la Constitución establece que toda la población mexicana tiene derecho a la protección de la salud. En términos de la Ley General de Salud (LGS), este derecho constitucional se refiere al derecho de todos los mexicanos a ser incorporados al Sistema de Protección Social en Salud (artículo 77 bis1 de la LGS).

A partir de estos criterios, se considera que una persona se encuentra en situación de carencia por acceso a los servicios de salud cuando:

No cuenta con adscripción o derecho a recibir servicios médicos de alguna institución que los presta, incluyendo el Seguro Popular, las instituciones públicas de seguridad social (IMSS, ISSSTE federal o estatal, Pemex, Ejército o Marina) o los servicios médicos privados.

Calidad y espacios de la vivienda

El Artículo 4° de la Constitución establece el derecho de toda familia a disponer de una vivienda digna y decorosa; sin embargo, ni en este ordenamiento ni en la Ley de Vivienda se especifican las características mínimas que debe tener ésta.

Los criterios formulados por la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) para el indicador de calidad y espacios de la vivienda incluyen dos subdimensiones: el material de construcción de la vivienda y sus espacios. De acuerdo con estos criterios, se considera como población en situación de carencia por calidad y espacios de la vivienda a las personas que residan en viviendas que presenten, al menos, una de las siguientes características:

1. El material de los pisos de la vivienda es de tierra.
2. El material del techo de la vivienda es de lámina de cartón o desechos.
3. El material de los muros de la vivienda es de embarro o bajareque; de carrizo, bambú o palma; de lámina de cartón, metálica o asbesto; o material de desecho.



4. La razón de personas por cuarto (hacinamiento) es mayor que 2.5.

Acceso a servicios básicos en vivienda

El Artículo 4° de la Constitución establece el derecho de toda familia a disponer de una vivienda digna y decorosa; sin embargo, ni en este ordenamiento ni en la Ley de Vivienda se especifican las características mínimas que debe tener ésta.

De acuerdo con los criterios propuestos por la CONAVI, se considera como población en situación de carencia por servicios básicos en la vivienda a las personas que residan en viviendas que presenten, al menos, una de las siguientes características:

1. El agua se obtiene de un pozo, río, lago, arroyo, pipa; o bien, el agua entubada la obtienen por acarreo de otra vivienda, o de la llave pública o hidrante.
2. No cuentan con servicio de drenaje, o el desagüe tiene conexión a una tubería que va a dar a un río, lago, mar, barranca o grieta.
3. No disponen de energía eléctrica.
4. El combustible que se usa para cocinar o calentar los alimentos es leña o carbón sin chimenea.

Considerando estos criterios, las localidades de Ameca se encuentran en las condiciones de rezago social que se señalan en la Tabla 5.3.3.1.

Tomando los resultados de rezago social para cada una de las localidades se realizó un análisis espacial para obtener, lo que los expertos llaman regiones homogéneas. El concepto de región homogénea hace referencia a la diferenciación espacial de un territorio determinado, a partir de una o varias características de interés, de tal forma que los elementos (unidades de análisis) que conforman una región presentan variaciones mínimas entre ellos, y mayores con respecto a aquellos ubicados en otra. En este sentido, las regiones homogéneas tradicionalmente se expresan como áreas continuas con características similares a su interior, que no se traslapan y que constituyen una partición exhaustiva del territorio en estudio.

En el caso de las regiones homogéneas del municipio de Ameca, éstas constituyen conjuntos de localidades con condiciones de vida más o menos similares, para lo cual fue necesario: 1) identificar en cada caso las dimensiones que integran y dan cuenta de los conceptos de calidad de vida; 2) traducir estas dimensiones en indicadores empíricamente observables, con base en las bases de datos del Censo 2010 de INEGI; 3) sintetizar dichos indicadores en índices que resumieran las diferencias de calidad de vida; y 4) definir las localidades que integran cada región, con base en el valor de sus índices y sus características de vecindad.

Con este proceso, espacialmente se formaron 11 regiones homogéneas, seis de ellas integradas por localidades con rezago social muy bajo, una región con rezago social bajo, tres regiones con rezago social medio y una región con rezago social alto. Véase la Figura 5.3.3.1.



El proceso de análisis de rezago social para la cabecera municipal de Ameca y para la localidad de El Cabezón se realizó bajo la misma metodología de CONEVAL, los detalles se integran en el sistema de información geográfica y se representan en la figura 5.3.3.2. y figura 5.3.3.3. Lo que se muestra como resultado principal de estos análisis es que en ambas localidades los niveles de rezago social son bajo y predominantemente muy bajo.

Capacidad de respuesta

El resultado de la entrevista con las autoridades municipales de protección civil, realizada el día 18 de Noviembre de 2011, en las instalaciones de la unidad municipal de protección civil del municipio de Ameca, indica que la capacidad de prevención y respuesta del Sistema Municipal de Protección Civil es muy alta, con lo que la condición de vulnerabilidad del municipio por este concepto es muy baja.

Su alta capacidad de respuesta le permite prestar el servicio a otros municipios de la Región Valles en casos de accidentes, incendios forestales e industriales, entre otras emergencias, cuenta con diversos especialistas y normalmente realizan actividades de capacitación, prácticas, planeación y evaluación de planes operativos. (Anexo, Cédula Capacidad de Respuesta).

Percepción local del riesgo.

La percepción local de riesgo es el imaginario colectivo que tiene la población acerca de las amenazas que existen en su comunidad y de su grado de exposición frente a las mismas. Esta información se obtuvo con el cuestionario diseñado por CENAPRED, 2006, dicho cuestionario nos permitió conocer la percepción local del riesgo que se tiene en 12 de las localidades más pobladas del municipio de Ameca. Los resultados a detalle de cada localidad se expresan en la tabla No. 5.3.3.2.

La percepción se considera fundamental para conocer la vulnerabilidad social de la población frente a los desastres. En muchas ocasiones la población no tiene una percepción clara del peligro que representa una amenaza de tipo natural o antrópica en su localidad, lo que incide directamente en la capacidad de respuesta de la población ante un desastre.

El cuestionario aplicado a dos personas de las 12 localidades del municipio, con más de 500 habitantes, contiene 25 preguntas que buscan de manera muy general dar un panorama de la percepción de la población acerca del riesgo. En este caso, la importancia de las preguntas se enfocó tanto a la percepción de los peligros en su entorno, así como a la manera en que consideran las acciones preventivas en su comunidad y la información o preparación que poseen acerca de cómo enfrentar una emergencia.

Las preguntas del cuestionario las diseñó CENAPRED con el objetivo de que a cada respuesta se le pudiera asignar un valor entre 0 y 1. Los rangos en algunos casos son distintos según la naturaleza de la pregunta, sin embargo, el valor de las respuestas se sitúa entre los rangos establecidos para las dos fases anteriores.

El valor 0 se le asigna a la respuesta que mayor percepción local del riesgo presente según las respuestas preestablecidas, lo que significa que su grado de vulnerabilidad será menor, contrariamente se le aplicará el



valor más alto (que en este caso es 1) a la respuesta que menor percepción posea, ya que entre menor sea ésta, el grado de vulnerabilidad será mayor.

De una manera muy general, el cuestionario es una primera aproximación para conocer la opinión de la población en esta materia. Los cuestionarios con las respuestas se anexan a este Atlas de Riesgos. En promedio se obtuvo un grado de vulnerabilidad medio por percepción local del riesgo, (ver tabla No. 5.3.3.2.).

Percepción social del riesgo en la cabecera municipal de Ameca

El estudio llamado “percepción social de Riesgos”, SEDEUR, 2009, señala que respecto a las grietas, los entrevistados están..

“conscientes de que un sismo (de los que han sido afectados históricamente y muy recientemente), puede generar un desastre de proporciones mayores en la ciudad. No son opuestos a los derribos de casas, sino a los procesos o “trampas” que se derivan de ello, de una “mala organización” o de la falta de inclusión a la participación social.

Preocupa más el hecho de un sismo desquicie a toda la ciudad, por el mal estado de la red de servicios y la propia infraestructura; por las evidencias de mala construcción en edificios públicos contemporáneos, como ocurrió con la escuela primaria del Barrio de La Ciénega, que debió ser reconstruida recientemente; la suma de los problemas de salud, seguridad, inundación, contaminación en un hecho de desastre, y porque no se está preparado para ello.

El estudio de percepción social de riesgos descubre algo muy interesante:

“Aún cuando, la probable mayor percepción de riesgo de “las grietas” y desastre por sismo, aparecía como hipótesis inicial y motivación para promover un diagnóstico social en la población, es el tema de la contaminación y la salud los que centran la mayor preocupación... a este escenario de contaminación, se denuncian las más difíciles condiciones provocadas durante la temporada de lluvias, cuando se inundan algunos sectores de la ciudad como: barrios marginales y “las orillas” de Ameca, Santa Cecilia, Las Arboledas, La Reina, La Ciénega, La Loma, La Mezquitera, el Rastro Municipal, “la salida a La Coronilla”, las calles 16 de septiembre y por el Aurrera, que no decir del ingreso y entorno del Ingenio azucarero.

Para el presente Atlas de riesgos y considerando que tanto en el municipio de Ameca como con su cabecera municipal se presentan otros fenómenos peligrosos diferentes a las grietas y sismos, se tomará como una vulnerabilidad media por la percepción local del riesgo. Este valor medio (3) se aplicará en los modelos para generar indicadores de riesgo a nivel local. La localidad de El Cabezón (El Limón) también tiene un nivel de vulnerabilidad medio por percepción local del riesgo, véase los resultados de encuestas que se anexan en la tabla No. 5.3.3.2. .

Vulnerabilidad social

En conclusión y aplicando la fórmula siguiente:

$V_s = \text{Es el resultado de (Rezago Social * 0.50) + (Capacidad de respuesta * 0.25) + (Percepción local * 0.25)}$



La vulnerabilidad social en el municipio de Ameca y de la cabecera municipal así como de la localidad de El Cabezón se expresan en la Figura No. 5.3.3.3.; figura No. 5.3.3.4.; figura 5.3.3.5. Los resultados observados es que en el municipio de Ameca, la vulnerabilidad social va de Muy bajo, Bajo y Medio. Mientras que en la cabecera municipal y en la localidad de El Cabezón la Vulnerabilidad social es baja.

5.3.4. Riesgo

Metodología para calcular el riesgo.

Como ya se ha señalado la fórmula del riesgo utilizada en el presente Atlas es la siguiente:

$$R = (P) + (Vf) + (Vs)$$

Esta fórmula se resuelve con el uso de mapas de peligros, mapas de vulnerabilidad física y de vulnerabilidad social. El resultado son mapas de escenarios de riesgo a través de indicadores de riesgo. Véase las tablas 5.3.4.1; 5.3.4.2; 5.3.4.3. que contienen diferentes escenarios de peligro.

Resultados de riesgo

Como producto de estos análisis se obtuvieron mapas y matrices de riesgo, que identifican las zonas en donde confluye el peligro y la vulnerabilidad. Así mismo se obtuvieron mapas de riesgo que identifican las zonas en donde, para un fenómeno de intensidad dada, las consecuencias son muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

Estadísticas sobre la ocurrencia y efecto de los fenómenos perturbadores.

Riesgo por sismos (nivel municipal).

Para elaborar la capa de riesgo a sismos a nivel municipal (14006_Sis_ries) se utilizaron las capas de aceleración máxima 14006_Sis_amax, la capa de vulnerabilidad física 14006_Sis_vul_fis, y la capa de vulnerabilidad social. A partir de este análisis se generó un indicador espacial con el cual es posible obtener los datos de la tabla 5.3.4.4. y figura 5.3.4.1.



ELEMENTOS EN RIESGO POR SISMO		
ELEMENTO	NIVEL DEL RIESGO	
	ALTO	MEDIO
HABITANTES (No de personas)	11,414	43,389
CARRETERA MUNICIPAL ASFALTO (Km lineales)	5.5	5.4
CARRETERA FEDERAL ASFALTO (Km lineales)	12,9	16.8
CARRETERA ESTATAL ASFALTO (Km lineales)	17.4	21.2
TERRACERÍA (Km lineales)	1.1	1.7
TERRACERÍA EMPEDRADA(Km lineales)	.6	3.9
TERRACERÍA REVESTIDA (Km lineales)	34.3	76.2
BRECHA (Km lineales)	3.1	60.6
VEREDA (Km lineales)	4.6	66.5
1 LÍNEA EN POSTERÍA DOBLE (H) (Km lineales)	7.0	8.8
1 LÍNEA EN POSTERÍA SENCILLA (Km lineales)	50.5	48.0
1 LÍNEA EN TORRES DE ACERO (Km lineales)	1.6	3.8
2 LÍNEAS EN POSTERÍA SENCILLA (Km lineales)	2.3	.6
ACUEDUCTO SUBTERRANEO (Km lineales)	5.9	13.6
ACUEDUCTO SUPERFICIAL (Km lineales)	.1	1.3
MÁS DE DOS LÍNEAS EN TORRES (Km lineales)	5.8	3.9

Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco.

Riesgo por sismos (cabecera municipal).

Para elaborar la capa de riesgo por sismo a nivel cabecera (14006_Sis_ries2) se utilizaron la capa de aceleración máxima 14006_Sis_amax2, la capa de vulnerabilidad física 14006_Sis_vul_fis2 y capa de vulnerabilidad social para la cabecera municipal. A partir de este análisis se genero un indicador espacial con el cual es posible obtener los datos de la tabla 5.3.4.5. y figura 5.3.4.2.

Tabla 5.3.4.5. Riesgo por sismos en la cabecera municipal de Ameca.

NIVEL DE RIESGO POR SISMO A NIVEL CABECERA MUNICIPAL			
ELEMENTO	MEDIO	BAJO Y MUY BAJO	TOTAL
SUPERFICIE DE RODAMIENTO (m2)	213798	1441091	1654889
CANALES	7	6	13
CANALES SECOS	15	27	42
CONSTRUCCIONES (Número)	4208	33813	38021
HIDROCONECTORES (Número)	8	12	20
POSTES (Número)	1375	2200	3575
PUENTES (Número)	4	9	13
TANQUES (Número)	4	16	20
TANQUES ELEVADOS (Número)	4	23	27



Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco.

Vulnerabilidad de las construcciones por resonancia

Ameca cuenta con más de 2 millones de metros cuadrados de construcción, estos por si solos representan una vulnerabilidad ante eventos sísmicos, para cuantificar esta vulnerabilidad se realizó un trabajo de integración de información cartográfica para después intersectar esta información con los resultados generados de los levantamientos en campo para periodos fundamentales de vibración del suelo (peligro) que se realizó ex-profeso para este Atlas.

Se extrajo de la cartografía catastral de la cabecera municipal la capa de bloques de construcción y el número de niveles para cada bloque; aplicando herramientas de análisis espacial se vincularon los número de niveles a cada bloque de construcción, una vez hecho esto se cuenta ya con un mapa de edificaciones por nivel (14006_Sis_isop_vul_fis), para este mapa se calculó la superficie en metros cuadrados; la vulnerabilidad queda evidenciada en la tabla 5.3.4.6. Quedando vulnerabilidad muy baja para todos los niveles, hasta no determinar si existe o no resonancia.

Tabla 5.3.4.6. Aproximación al periodo de vibrar de las edificaciones en la cabecera municipal.

Niveles	Periodo vibrar (S)	Vulnerabilidad
0	SD	No determinado
1	0.1	Muy Baja
2	0.2	Muy Baja
3	0.3	Muy Baja
4	0.4	Muy Baja
5	0.5	Muy Baja

Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco.

Peligro por resonancia, periodo de vibrar del suelo

Derivado de los estudios de la respuesta del terreno realizados para este atlas, se generó el mapa de isoperíodos del terreno (14006_Sis_isop), este mapa representa el peligro por resonancia ante un evento sísmico con periodo de retorno de 500 años; con la información obtenida en campo se interpolaron los valores para los puntos de muestreo, este mapa se realizó para la cabecera; los isoperíodos marcan zonas donde el período fundamental de vibración del terreno durante el evento sísmico mencionado generaría igual valor.

Riesgo por resonancia

Para calcular el riesgo se intersectó mediante técnicas de análisis espacial la información el periodo fundamental de vibración del suelo con el periodo de vibrar de la edificación; en este nuevo mapa (14006_Sis_isop_ries) se plasma el riesgo de que una edificación entre en resonancia en un evento sísmico (período e retorno de 500 años); en este mapa se clasificó el riesgo como se muestra en la tabla 5.3.4.7. Donde los periodos del suelo y la edificación no concuerdan de acuerdo a esta tabla el riesgo se consideró muy bajo.



Tabla 5.3.4.7. Establecimiento del riesgo por resonancia en la cabecera municipal de Ameca.

Periodo de vibrar (s)		Riesgo
Estructura	Suelo	
0.1	0.08 a 0.12	Muy Alto
0.2	0.18 a 0.22	Muy Alto
0.3	0.28 a 0.32	Muy Alto
0.4	0.38 a 0.42	Muy Alto
0.5	0.48 a 0.52	Muy Alto

Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco.

Los metros cuadrados de construcción que están en riesgo se plasman en la tabla 5.3.4.8. y en la figura 5.3.4.3.

Tabla 5.3.4.8. Establecimiento del riesgo por resonancia en la cabecera municipal de Ameca.

Riesgo	Metros construidos	Número de bloques de construcción	Costo estimado en pesos con valor de \$5,000 por M2
PROBABILIDAD ALTA DE RESONANCIA PARA EDIFICACIONES DE 1 NIVEL (PERIODO DE LA EDIFICACION = 0.1 SEG. Y PERIODO DEL SUELO ENTRE 0.08 Y 0.12 SEG)	678,042	14,916	\$3,390,212,362.46
PROBABILIDAD ALTA DE RESONANCIA PARA EDIFICACIONES DE 2 NIVELES (PERIODO DE LA EDIFICACION = 0.2 SEG. Y PERIODO DEL SUELO ENTRE 0.18 Y 0.22 SEG)	780	10	\$3,902,245.11
PROBABILIDAD BAJA DE RESONANCIA (EL PERIODO DE LA EDIFICACION NO COINCIDE CON EL PERIODO DEL SUELO)	1,443,693	26,711	\$7,218,464,514.06

Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco

Riesgo por deslizamientos (derrumbes) en el municipio

Para elaborar la capa de riesgo a deslizamiento (14006_Desl_ries) se utilizaron las capas de peligro (14006_Desl), la capa de vulnerabilidad física a deslizamiento (14006_Desl_vul_fis) y la capa de vulnerabilidad social a nivel municipio. A partir de este análisis se pudo generar un indicador espacial con el cual se obtuvieron la tabla 5.3.4.9. y las figura 5.3.4.4; 5.3.4.5. y 5.3.4.6.

Tabla 5.3.4.9. Nivel de riesgo a deslizamiento (derrumbes).

NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO (m)		
ELEMENTO	ALTO	MEDIO
HABITANTES	73	123
CARRETERA MUNICIPAL ASFALTO	0	5,858
CARRETERA ESTATAL ASFALTO	869	21,667
CARRETERA FEDERAL ASFALTO	0	20,391
TERRACERÍA	0	2,032
TERRACERÍA EMPEDRADA	0	1,365



TERRACERÍA REVESTIDA	376	80,054
BRECHA	0	4,363
VEREDA	0	5,976

Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco.

Riesgo por desprendimientos o avalanchas de detritos en el municipio

Para elaborar la capa de riesgo por avalancha de detritos a nivel municipal (14006_Det_ries) se utilizaron la capa de peligro (14006_Det_avalan), la capa de vulnerabilidad física para el municipio (14006_Det_vul_fis) y la capa de vulnerabilidad social a nivel municipal. A partir de este análisis se puede generar un indicador espacial con el cual es posible obtener los datos de la tabla 5.3.4.10.

Tabla 5.3.4.10. Nivel de riesgo a desprendimiento o avalancha de detritos.

NIVEL DE RIESGO POR AVALANCHA DE DETRITOS	
ELEMENTO	ALTO
CARRETERA FEDERAL ASFALTO	174 m
CARRETERAESTATAL ASFALTO	466 m
1 LÍNEA EN POSTERIA DOBLE (H)	218 m
ACUEDUCTO SUBTERRANEO	1,254 m

Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012.

Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco

Riesgo alto por hundimientos

La extracción de agua subterránea no es un factor que de origen a los hundimientos y asentamientos en el terreno sino una variable que localmente puede producir daño, debido a que los suelos en el terreno de la zona urbana no son potentes en espesor, se componen de una alternancia de capas de grava, arena gruesa y arcilla no litificadas o consolidadas y sobre puestas a una alternancia de grava, arena, limo y arcilla, en capas gruesas, tabulares, ligeramente inclinadas hacia el sur (como muestran los modelos del subsuelo de los estudios de geofísica), de un espesor estimado de 200 m y que conforman al aluvión de Ameca, una unidad geológica formada en los últimos 10,000 años por la erosión, transporte y depósito de sedimentos provenientes de las rocas de las sierras circundantes del valle de Ameca. Dentro de la zona determinada como de riesgo alto se encuentran en peligro la vida, los bienes y los servicios. Es importante mencionar que esto se da sobre la cabecera Municipal, que comprende la siguiente infraestructura.

- 413 postes.
- 29 luminarias.
- 322 metros de vía del ferrocarril.
- 3 hidroconectores.
- 2 Instalaciones deportivas.



- 3,265 construcciones de un nivel.
- 1074 construcciones de dos niveles.
- 119 construcciones de tres niveles.
- 9 construcciones de cuatro niveles.
- 1 construcción de cinco niveles.
- 73,325 m2 de calles (Incluye sistema de drenaje y agua potable).

Riesgo por falla geológica

La zona de riesgo alto quedó definida, como aquella en donde la presencia de fallas geológicas es considerada tectónicamente activas que pone en peligro la vida, los bienes, los servicios, los radios de exposición, por lo que se consideran de vulnerabilidad alta y no es mitigable. La actividad tectónica de las fallas, comprende un peligro potencial sobre la zona urbana y se ve favorecida por la actividad sísmica de la región de Ameca y Amatlán de Cañas (esto se debe confirmar con monitoreo sísmico a nivel municipal para el caso de Ameca) así como, la influencia de los sismos que provienen de la costa del Pacífico, en la región de Bahía de Banderas y Puerto Vallarta. También, se ve favorecida por los efectos de sitio debido a las características de la granulometría, porosidad, permeabilidad y grosor de los materiales detríticos del aluvión de Ameca. La infraestructura que se estableció en zona de riesgo alto y muy alto por falla a nivel Municipal y de la Cabecera.

A) Riesgo alto a nivel de la Cabecera Municipal

- 67 luminarias.
- 348 postes.
- 320 m de canal de riego.
- 323 metros de vía del ferrocarril.
- 2 instalaciones deportivas.
- 1 tanque elevado.
- 3 Tanques.
- 113,762 m2 de calles (Incluye sistema de drenaje y agua potable).
- 2755 construcciones de un nivel.
- 940 construcciones de dos niveles.
- 104 construcciones de tres niveles.
- 9 construcciones de cuatro niveles.



- 1 construcción de un nivel.

B) Riesgo alto por fallas geológica a nivel municipal

- 1.8 km de carreteras.
- 1.3 km de caminos rurales.
- 2.4 km de líneas eléctricas.
- 595 m de canales.
- 1.3 km de acueductos.
- 404 m de vías férreas.
- 1 Estación de abastecimiento de combustible.

C) Riesgo muy alto por fallas geológicas a nivel municipal

- 2.5 km de líneas eléctricas.
- 672 m de acueductos.
- 466 m de vías férreas.
- 1.8 km de carreteras.
- 1.4 km de caminos rurales.
- Plaza de toros la Unión.
- La Capilla de la Concha.
- Telesecundaria Baldomero Sandoval Arredondo.
- Las escuelas primarias Miguel Hidalgo y Costilla y Benito Juárez García.
- Un puente vehicular.
- La localidad de El Guayabo con 7 habitantes.
- El Portezuelo con 649 habitantes.
- El Naranja o la Gigantera con 160 habitantes.

Riesgo alto a acumulación de lodos por erosión

- Las localidades de Ameca, Los Amiales, Arroyo Hondo, La Calera de Arriba, La Nueva Cantería (El Pochote), El Cerrito del Cuis, El Cuis (El Tasajo), La Estancita, Guarachilla, La Higuera, Labor de Solís, Malpasito, Los Morillos, Los Pilares, Los Pocitos, Queixpan, Las Raíces, San Antonio Puerta de la Vega, San Ignacio, San Miguel, San Nicolás, La Villita, El Mono, Ponderosa [Granja], El Verde,



- 9.8 km de carreteras en riesgo de acumular lodos en posibles inundaciones.
- 2.2 km de acueductos en riesgo de acumular lodos en posibles inundaciones.
- 33 km de canales en riesgo de acumular o conducir lodos.
- Presa el Palomar en riesgo de azolve.
- 2.5 km de vías férreas.

Riesgo alto a heladas

- 565 hectáreas de caña de azúcar.
- 1 hectárea de aguacate.

Riesgo a temperaturas máximas extremas

- 2,712 hectáreas de agricultura de riego con riesgo alto.
- 22,082 hectáreas agricultura de temporal con riesgo alto.
- 56,623 personas en riesgo alto.
- 2,025 hectáreas bosque de encino con riesgo alto.
- 1,548 hectáreas matorral subtropical con riesgo alto.
- 6,049 hectáreas pastizal inducido con riesgo alto.
- 3,032 hectáreas selva caducifolia con riesgo alto.

Riesgo a sequías

- 787 hectáreas de cultivos de temporal con riesgo alto a sequías en áreas marginadas.
- 25,964 hectáreas de bosques con riesgo medio a sequías.

Riesgo alto a inundaciones en la cabecera municipal de Ameca

- Tres alcantarillas.
- 12 puentes.
- 1.5 km de vías férreas.
- 550,767 m² de calles.
- 12,500 construcciones de un nivel.
- 295 construcciones de tres niveles.



- 20 construcciones de cuatro niveles.

- 1 construcción de un nivel.
- 1.7 km de canales secos.
- 2.2 km de canales.

Riesgo alto a vientos

- 24 km de carreteras con niebla de valle provocando obstáculos a la visibilidad en superficie.
- 28 km de líneas eléctricas con riesgo alto a vientos fuertes.

Riesgo alto a tormentas eléctricas

- 47 km de líneas eléctricas
- 9 construcciones de cuatro niveles
- 1 construcción de cinco niveles
- 5 Gasolineras
- 4 Instalaciones de telecomunicaciones



5.4. Acciones y obras para conocer y mitigar el riesgo

5.4.1. Propuesta de Red de monitoreo sísmico para fallas geológicas en el Municipio de Ameca.

Introducción

La única manera de prevenir la ocurrencia de desastres causados por peligros naturales es por medio de su caracterización y estudio que permitan tomar medidas preventivas, o en su caso de mitigación de posibles escenarios de desastre. Esta propuesta consiste en instalar por lo menos 6 estaciones sísmicas telemétricas digitales de alto rango dinámico con sensores de velocidad y posteriormente ampliar las estaciones sísmicas agregando sensores de aceleración que generan los datos en cantidad y calidad necesaria para evaluar el peligro por falla en el municipio de Ameca.

Estas estaciones cubrirán las zonas de fallamiento identificados. Para su operación, la red se configurará por nodo de tres estaciones los cuales se distribuirán de acuerdo a las condiciones topográficas de la zona. En cada nodo se recomienda utilizar el sistema de adquisición de datos Earthworm que recibirá las señales de las estaciones sísmicas las cuales serán sistematizadas, almacenadas y enviadas vía internet de banda ancha a la estación central, que por la infraestructura se proponen considerar al CuValles, donde un sistema inteligente realizará la localización y evaluación preliminar de los eventos sísmicos en tiempo cuasi-real. Estos resultados serán distribuidos con base a protocolos a definir por las dependencias e instancias involucradas, y se publicaran rutinariamente en una página de internet.

Está propuesta pretende cubrir una necesidad inmediata para empezar a trabajar en el estudio del peligro sísmico a nivel regional. Redes de este tipo tienen más de 40 años funcionando en otras partes del mundo con características tectónicas similares y la información que genere será la plataforma para desarrollar tecnologías propias y adecuadas que permitan diseñar códigos y normas para la construcción de infraestructura, edificaciones y unidades habitacionales sismo resistentes y de esta forma disminuir el riesgo sísmico en la región.

Antecedentes

La historia macrosísmica en el Occidente de México se remonta en 1544 y en los últimos 160 años han ocurrido 10 terremotos con magnitud mayor a 7.4 incluido el mayor terremoto ocurrido en México durante el siglo XX (1932). Si bien el Servicio Sismológico Nacional se ha modernizado con instrumentación en la zona, su cobertura no es la adecuada para evaluar el peligro sísmico en Jalisco con la precisión y calidad necesaria.

Históricamente existen referencias de al menos dos grandes sismos ocurridos el 27 de diciembre de 1568 y el 11 de febrero de 1875 y que afectaron de manera importante la región centro del Estado de Jalisco (Acosta y Suárez, 1996). Se desconoce con precisión la ubicación de los epicentros de estos sismos, sin embargo es posible que en el primer caso se haya localizado al sur de Guadalajara en el denominado Punto Triple (Suárez et al., 1994). El epicentro del segundo estaría localizado en las coordenadas 20°49' de latitud norte y 103°23'



de longitud Oeste a una profundidad de 33.0 km. Esto significa que la actividad sísmica no solo debe estudiarse al nivel de las costas del occidente mexicano dado que existen otras fallas geológicas que pueden contribuir considerablemente a que se desarrolle la actividad sísmica.

Las razones fundamentales por la que se requiere un monitoreo sísmico en la zona, se ha observado que el SSN solo reporta eventos con magnitud igual o superior a ML 4.25 calculada a partir de la Red local (con una estación sísmica instalada en la zona), por lo que la gran mayoría de los sismos en la región quedan por debajo de esta magnitud, concluye lo siguiente:

1. El SSN reporta el 55% de los eventos ocurridos con magnitud superior a ML 4.25 en esta región.
2. Las diferencias en las localizaciones hipocentrales varían según cada una de las zonas propuestas. Esto puede deberse a la existencia de una zonificación sísmica donde hay que tener en cuenta el efecto de fuente y el medio de propagación para cada zona en particular.
3. La diferencia entre las localizaciones del Servicio Sismológico Nacional y las presentadas en dicho estudio difieren considerablemente en la zona de Amatlán de Cañas, concretamente en la profundidad hipocentral de los eventos profundos con un promedio de 40 km de diferencia. Este dato es trascendental ya que el origen del temblor cambia de ser cortical en nuestro caso a relacionarlo con la zona de Benioff de la placa en subducción en los reportes del SSN.

Justificación

La región de Jalisco es una de las regiones sísmicas más activas de México, las principales estructuras geológicas potenciales para la generación de sismos son: la zona de subducción, y las fronteras norte y oriente del bloque Jalisco que son el graben de Tepic-Zacoalco y el graben de Colima.

A lo largo de la historia geológica de Jalisco han ocurrido eventos sísmicos tanto superficiales como a grandes profundidades. Algunos de ellos causaron daños materiales y hasta pérdidas humanas en muchos lugares del estado, ya que estos han alcanzado valores altos de magnitud en la escala de Richter. Por otra parte, es indispensable conocer las fuentes potenciales (fallas geológicas) donde pueden originarse terremotos cuyas ondas sísmicas generadas tienen el potencial de arribar con gran energía a las ciudades importantes de Jalisco, incluida Guadalajara. Adicionalmente, se necesita conocer las características con que estas ondas golpearan a las edificaciones de la ciudad para estar lo mejor preparados. Es un hecho irrefutable que donde se ha producido un terremoto, con seguridad algún día otro evento de cuando menos la misma magnitud volverá a ocurrir.

En el Municipio de Ameca, de acuerdo al análisis de riesgo por falla se encuentran más de 3000 construcciones en zonas de alto riesgo por fallamiento. Asimismo corren peligro de algún daño en infraestructura como postes, luminarias, canales de riego, tanques, calles, avenidas, etc.

Los sismos, sin embargo, no solo se presentan asociados al proceso de subducción, también los hay originados en el continente como los eventos de 1568 en Zacoalco, en 1875 destructor en San Cristóbal de



la Barranca, y el enjambre de sismicidad ocurrida en 1912, que afectó la ciudad de Guadalajara.

Hasta hace poco se pensaba que la microsismicidad asociada con la subducción de la placa Rivera bajo la de Norteamérica era escasa; sin embargo, ahora se ha observado que esta hipótesis se deben principalmente a dos razones: la falta de estaciones sismológicas en el centro del estado de Jalisco y a que el nivel medio de magnitud de los temblores es inferior al registrado en la zona de contacto entre la placa de Cocos y Norteamérica.

En los últimos 160 años han ocurrido 10 sismos importantes con $M_s > 7.4$. El mayor terremoto ($M=8.2$) ocurrido en México en el siglo XX (1932), tuvo lugar en la costa de Jalisco, este fue seguido por otro de magnitud 7.8 quince días después. En 1995 un terremoto de magnitud 8.0 ocurrió en la costa de Jalisco, pero su área de ruptura fue solo la mitad sur del área propuesta para los terremotos de 1932, esto sugiere que la costa Norte de Jalisco incluyendo Bahía de Banderas es una zona de alto potencial sísmico, (también conocido como brecha sísmica. En la región también existen 3 volcanes activos el Sanganguey, el Ceboruco y el mas activo de México el volcán de fuego (también conocido como Colima o Zapotlán). Pero a pesar de esto y del riesgo asociado a estos procesos tectónicos, en la Costa de Jalisco, solo existía hasta el 2001 una estación sismológica permanente en Chamela perteneciente al Servicio Sismológico Nacional y la Red Sísmica Telemétrica de Colima (RESCO), localizadas sobre el volcán y la parte sur de la zona del Graben de Colima.

El monitoreo sísmico continuo permitiría definir en un futuro, si estas zonas son regiones donde la energía se disipa sin producir grandes temblores o son potencialmente peligrosas.

Sin embargo, también se ha observado que la sismicidad es bastante alta en otras áreas sin que exista una evidente relación con estructura (falla) geológica alguna, es decir, que está asociada a estructuras que aun no han sido caracterizadas, por ello es necesario realizar un muestreo apropiado de la sismicidad, incluyendo la microsismicidad, que permita evaluar el peligro sísmico. La determinación del peligro sísmico es, pues, un problema interdisciplinario en el que es necesaria la colaboración de sismólogos, geólogos e ingenieros. A la información de las características de la sismicidad actual y del pasado se ha de unir la que aporta la geología, sobre todo la microtectónica, con referencia a las fallas activas, y finalmente la consideración de la respuesta del suelo y la interacción entre éste y las estructuras civiles.

Por otro lado, el desconocimiento de las autoridades en relación a las actividades que realizan los especialistas de estas disciplinas ha sido obstáculo para el fomento y formación tanto de profesionales como de grupos de investigación en estas ramas. Estos problemas han formado un círculo vicioso que afecta el fortalecimiento de las Geociencias y Ciencias Ambientales a nivel nacional y específicamente en el ámbito local. A nivel de la Universidad de Guadalajara existen diversos Centros Universitarios que de manera cotidiana trabajan con proyectos relativos a o vinculados con alguna temática relacionada con los peligros naturales, el medio ambiente y la ingeniería civil.



La región occidental de México, como en cualquier otra, en la medida que se incrementa su densidad de población se demanda mayores cantidades de recursos y servicios (agua, suelo, etc.), y se incrementan los problemas ambientales. La problemática de la ribera del Lago de Chapala con sus hundimientos y contaminantes, las grietas de Nextipac, el peligro de la ciudad de Guadalajara, y regiones vecinas, por la actividad sísmica, las más de 300 casas dañadas en Ameca, la actividad permanente del Volcán Colima, solo por citar algunos ejemplos, hacen de Jalisco, en particular, y del occidente de México en general, un laboratorio natural excepcional para estudios de ingeniería sísmica, riegos, mecánica de suelos y medio ambiente, etc.

Considerando los planes de desarrollo, la puesta en marcha de una red sísmica es una oportunidad única para llenar un gran vacío en el ámbito gubernamental a nivel local y regional en cuanto a la interrelación entre las Ciencias Naturales y el Ordenamiento Territorial. Así considerado, es claro ver el impacto que los datos generados tendrán en la sociedad.

Una actividad relevante de la Red Sísmica se relaciona con el monitoreo continuo en zonas en donde se tiene noticia de la ocurrencia de grandes eventos sísmicos históricos para ubicar y determinar la geometría de las fuentes sismogénicas (San Cristóbal de la Barranca, Zacoalco), ya que estos tienden a repetirse con una magnitud similar en un cierto periodo de tiempo o de retorno llamado también de recurrencia.

Es muy probable que las zonas sismogénicas generen ondas sísmicas que arriben a la Ciudad de Ameca con gran energía por ello es necesario conocer las características de las ondas que golpearan a las edificaciones de la ciudad para estar lo mejor preparados. Es muy importante identificar aquellas estructuras geológicas que estén generando actividad sísmica.

Objetivos

El objetivo de esta red es instrumentar con el equipo necesario para poder estudiar el peligro sísmico asociado a los terremotos que ocurre en la región de Ameca, ante la presencia de fallas geológicas.

La Red Sísmica tiene dos propósitos fundamentales, en primera instancia es atender una necesidad real e impostergable del Municipio de Ameca. En este sentido su colaboración en los programas municipales y estatales es fundamental para el mejoramiento de los planes de desarrollo. La información que sea generada por la Red se debe poner a disposición de la sociedad de tal manera que le permita tomar las decisiones adecuadas.

El segundo propósito es el de atender una de las actividades fundamentales para la generación del conocimiento, ello con lleva a formar cuadros de investigadores que mantengan un interés permanente por el análisis de la información sísmica en el área de las Geociencias e Ingeniería Sísmica. Los propósitos de la Red Sísmica no estarían completos si se obvian sus aplicaciones para prevenir alguna contingencia, en este



sentido la información generada contribuiría a mejorar los planes y programas para la prevención y el análisis del riesgo por fallamiento.

Por lo anteriormente expuesto, la Red Sísmica debe convertirse en el instrumento de referencia en el ámbito local y regional, una consulta obligada para la identificación y análisis de las amenazas geológicas (fallas) pero sobre todo con propuestas de solución, adicionalmente, su buen manejo fomentará la cultura de la prevención en cuanto a desastres naturales y antrópicos se refiere.

Para cumplir tales objetivos se debe pensar en desarrollar las siguientes actividades:

1. Monitorear en tiempo real la sismicidad y otros parámetros geofísicos asociados a rasgos tectónicos de las fallas activas.
2. Detectar cualquier cambio en los niveles base de actividad sísmica de la región.
3. Generar una base de datos confiables y actualizados con disponibilidad inmediata para los expertos en Sismología e Ingeniería Sísmica.
4. Establecer las zonas sismogénicas.
5. Evaluar la probabilidad de ocurrencia de sismos de magnitud considerable ($> 6^0$)
6. Identificar y analizar las estructuras sismo-tectónicas, en el Municipio de Ameca, identificando zonas de peligro sísmico).
7. Proporcionar información científica y técnica a las autoridades, así como al sector público, social y privado.
8. Difundir mediante publicaciones nacionales e internacionales sobre los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas.
9. Diseñar y actualizar los reglamentos de construcción.
10. Utilizar la red sísmica para la docencia y la investigación.



La ubicación exacta de por lo menos de tres estaciones en el Municipio de Ameca se instalarán después de que se hagan estudios de ruido sísmico, línea de vista para la telemetría hacia el nodo y la seguridad del equipo, ver figuras 5.4.1. y 5.4.2. Por las características geográficas de la región se proponen que la red se estructure por nodos, el nodo recibirá la señal de por lo menos 3 estaciones en función de la línea de vista que tengan para la transmisión de la señal u otro tipo alternativo de telemetría digital (enlaces inalámbricos, WiMax, etc.) disponible. No necesariamente coincidirán con las zonas sismogénicas propuestas. Se propone un servidor con el sistema de adquisición de datos EARTHWORM que procesara y almacenara preliminarmente la información. El servidor del nodo se recomienda se ubique en las instalaciones de la Universidad de Guadalajara (Campus Universitarios o Preparatorias) de donde estarán conectados a nivel regional vía Internet de banda ancha una estación central en el CUCEI (Centro Universitario de Ciencias e Ingenierías). De acuerdo a la propuesta regional, en el CUCEI se instalara el servidor central de la Red que tendrá el software ANTELOPE que es un sistema inteligente que recibirá la información de cada nodo, la sistematizara, almacenara, procesara, localizara y calculara los parámetros sísmicos de los temblores preliminarmente enviar a esta información a las dependencias gubernamentales enlistadas, la información será revisada por un experto antes de subirla a la página WEB.

Políticas:

- El municipio propondría y nombraría un equipo de trabajo multidisciplinario y probablemente multistitucional, en el cual podrían participar, incluso, siendo muy ambiciosos, profesores e investigadores de las distintas universidades de la localidad.
- Se establecerían los acuerdos, políticas y funciones de cada persona y de cada institución.
- Se imprimiría un boletín mensual o bimestral de los puntos de interés para la comunidad Ingenieril por parte del grupo de trabajo y se le daría difusión, por medio del municipio, las Universidades y demás instituciones participantes.
- Se redactaría un informe mensual o bimestral (podría intercalarse con el boletín) acerca de los alcances y/o logros del proyecto.

Beneficios directos para el municipio:

- Contar con una base de datos sísmicos.
- Posicionar al municipio como institución preocupada por la sociedad y su entorno a nivel local, regional y nacional.
- Ayudar al entendimiento de los fenómenos de afectación locales (hundimientos, fallas y fracturas).



- Generar información que ayude a enriquecer el reglamento de construcción del municipio.
- Tener contacto directo con investigadores y profesores especialistas en el tópicico ya mencionado.
- Fomentar la actualización profesional, en el área ya descrita.
- Ayudar a la elaboración de tesis, con propuestas bien fundamentadas, que deriven en soluciones viables a problemas graves de ingeniería en la localidad.
- Vincular a los alumnos directamente con la vida profesional.

Primeros pasos:

Presentar un presupuesto de los costos que serían generados para activar la red.

Generar este presupuesto podría originar algunos gastos iniciales de operación que deben ser discutidos previa autorización del proyecto, ya que se requiere un grupo de trabajo de arranque (que podría ser la base del equipo de trabajo y manejo de la Red) que por lo menos conste de:

- Un coordinador
- Un especialista en geofísica
- Un especialista en ingeniería sísmica geotécnica
- Un especialista en ingeniería sísmica de estructuras

5.4.2. Medidas de mitigación del riesgo de derrumbes y detritos

La caída de rocas puede variar desde unas rocas del tamaño de un puño a grandes secciones de acantilados y peñascos que, dependiendo de su tamaño y forma, pueden rodar, rebotar y caer a toda velocidad por las laderas, aterrizando a grandes distancias de las líneas de caída.

En el municipio de Ameca las áreas afectadas por el fenómeno son en su mayoría carreteras, y las personas se ven expuestas con frecuencia a estos peligros.

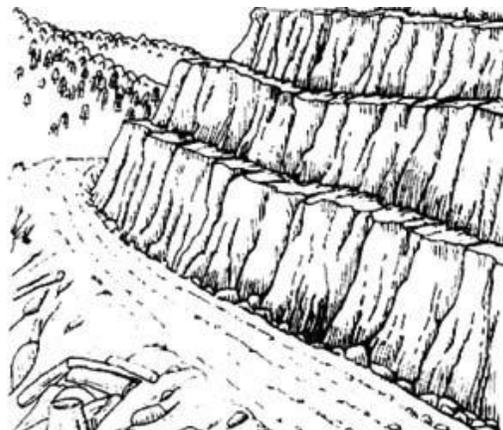
Hay técnicas de ingeniería que se pueden usar para ayudar a mitigar los efectos de la caída de rocas. En algunos casos, hay más de un tipo de solución de ingeniería óptimo, y una combinación de estas medidas de rehabilitación aplicadas a una zona donde existe el peligro en ocasiones resulta ser lo más eficaz.

Para el caso del riesgo por derrumbe de rocas y por desprendimiento o avalancha de detritos, los dos casos encontrados en el municipio, las soluciones más adecuadas son:

- Mallas de alambre
- Bermas
- Gaviones



Mallas de alambre



Bermas



Gaviones

5.4.3. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo

Con la finalidad de complementar el reglamento de construcción local, se propone generar, con base en la información obtenida del análisis de la respuesta del terreno y de los mapas de isoperiodos, aceleraciones máximas superficiales, ordenadas máximas espectrales, etc; las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, que ayuden a llevar a cabo un diseño sismoresistente acorde a las necesidades del municipio para las construcciones que se proyectan.

Adicionalmente con la información generada en el atlas de riesgo, podrían establecerse o modificarse los planes de desarrollo en función a las áreas de riesgo, ya sea por aceleraciones o por isoperiodos.



5.4.3. Medidas y acciones de mitigación para la reducción de riesgo por erosión de suelos

Presas de Piedra Acomodada:

Ubicación de las obras

DETALLES	VEGETACION	X	Y
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 19.15 HA	SOBREPASTOREO	584358.2777	2284060.152
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 12.96 HA	SOBREPASTOREO	584940.2616	2284319.294
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 4.88 HA	SOBREPASTOREO	584799.1596	2283250.441
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 23.17 HA	SOBREPASTOREO	585625.3917	2283532.621
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 11.7 HA	SOBREPASTOREO	588297.8944	2283533.573
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 57.91 HA	SOBREPASTOREO	589516.5927	2283093.041
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 39.59 HA	SOBREPASTOREO	590491.3628	2282561.414
EROSION VERTICAL DESMONTE 10.77 HA	DESMONTE	592582.074	2281982.667
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 2.08 HA	SOBREPASTOREO	592885.2697	2282499.307
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 39.37 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	594591.8922	2281751.916
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 7.14 HA	SOBREPASTOREO	586819.2502	2282816.76
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 2.16 HA	SOBREPASTOREO	594521.392	2279787.788
EROSION VERTICAL DESMONTE 0.54 HA	DESMONTE	598550.5505	2280141.406
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 2.13 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	609503.0606	2281616.244
EROSION VERTICAL DESMONTE 1.23 HA	DESMONTE	611129.7964	2280656.922
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 5.28 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	611699.9022	2281585.228
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 8.33 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	611984.9412	2282420.186
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 3.08 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	613439.4067	2281601.419
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 14.51 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	613370.3385	2281221.228
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 24.58 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	614643.7357	2278880.847
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 6.42 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	613668.4741	2280849.535
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 59.47 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	614324.0924	2280324.381
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 25.31 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	616510.9176	2277511.165
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 8.5 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	614814.2129	2275567.457
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 56.86 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	617224.6514	2274366.895
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 35.78 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	614913.8063	2271224.037
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 15.26 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	612701.325	2270084.12
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 4.03 HA	SOBREPASTOREO	579544.5566	2280061.919
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 9.51 HA	SOBREPASTOREO	579546.248	2280835.553
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 7.92 HA	SOBREPASTOREO	583230.0199	2279229.796
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 29.23 HA	SOBREPASTOREO	584244.6048	2279011.735
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 5.94 HA	SOBREPASTOREO	586326.8895	2278490.147
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 2.36 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	584777.2913	2277032.648



EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 6.9 HA	SOBREPASTOREO	587747.5693	2278458.173
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 1.58 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	585590.2647	2277811.202
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 8.53 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	586258.0225	2277993.3
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 10.24 HA	SOBREPASTOREO	588679.0533	2277060.596
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 29.93 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	589881.7294	2274283.649
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 30.29 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	592435.4213	2276036.096
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 48.78 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	597063.7878	2275504.245
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 13.31 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	599975.8373	2277136.26
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 1.88 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	602798.8897	2276054.144
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 7.04 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	603028.0392	2275843.71
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 7.38 HA	SOBREPASTOREO	579424.693	2279347.319
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 4.66 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	584841.6136	2278415.72
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 2.63 HA	SOBREPASTOREO	584731.4479	2278835.243
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 2.59 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	589664.3343	2273501.697
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 15.7 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	593033.3446	2275088.812
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 3.87 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	594910.1492	2275572.16
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 17.94 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	612235.4627	2266548.411
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 11.72 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	607104.837	2265356.657
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 5.41 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	599273.4508	2269289.394
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 13.28 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	610107.8323	2265015.909
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 39.61 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	608176.1213	2265508.457
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 5.14 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	603962.5608	2266270.399
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 2.48 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	602710.0437	2267133.57
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 34.82 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	602389.3745	2267838.493
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 37.89 HA	SOBREPASTOREO	588750.155	2272198.016
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 13.61 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	587816.4762	2272524.227
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 10.52 HA	SOBREPASTOREO	585881.8833	2275135.938
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 2.99 HA	SOBREPASTOREO	589476.0644	2270640.293
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 43.6 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	592031.8583	2268593.811
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 12.99 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	598327.9422	2267743.58
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 29.26 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	604036.5436	2262501.672
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 60.23 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	602613.6815	2260425.642
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 35.63 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	604326.4963	2260964.861
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 26.29 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	601674.6958	2259286.455
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 11.47 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	600637.5048	2259255.822
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 11.95 HA	SUELO DESNUDO POR USO	599273.5276	2259483.69



	AGRICOLA		
EROSION VERTICAL SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA 13.11 HA	SUELO DESNUDO POR USO AGRICOLA	596151.7504	2259826.199
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 24.15 HA	SOBREPASTOREO	591921.7767	2258432.818
EROSION VERTICAL DESMONTE 8.82 HA	DESMONTE	592973.8157	2257806.215
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 214.49 HA	SOBREPASTOREO	595146.7327	2255740.298
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 147.94 HA	SOBREPASTOREO	596378.5555	2254820.542
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 30.63 HA	SOBREPASTOREO	597493.7912	2253814.79
EROSION VERTICAL DESMONTE 49.12 HA	DESMONTE	581193.4807	2270533.983
EROSION VERTICAL SOBREPASTOREO 111.89 HA	SOBREPASTOREO	601601.6428	2256479.98

Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco.

Descripción de la obra

Presas de Piedra Acomodada:

Son estructuras construidas con piedras acomodadas, que se colocan transversalmente a la dirección del flujo de la corriente y se utiliza para el control de la erosión de cárcavas.

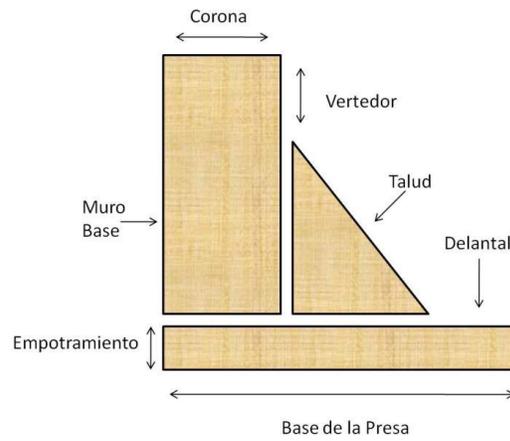
Este tipo de obra se recomienda para cárcavas con pendientes moderadas donde la superficie del área de escurrimiento genere flujos de bajo volumen. En promedio miden entre 1.2 y 2.5 metros de altura, por lo que en caso de presentarse cárcavas de mayor dimensión, solo se construirán hasta este límite; en cuanto a su ancho de preferencia deben ubicarse en sitios no mayores de 7 metros.

Beneficios:

- Retiene suelo.
- Estabiliza lecho de cárcavas.
- Permite el flujo normal de escurrimientos superficiales.
- Incrementa la calidad del agua.

Diseño:

Durante el proceso de planeación de la obra, es importante conocer las partes de una presa:





Cimentación y empotramiento:

En esta primera etapa, una de las actividades primeras es la excavación de una zanja en el fondo y partes laterales de la cárcava para obtener el empotramiento o cimentación. Dependiendo de las dimensiones de la presa se establece la profundidad de la zanja, la que se recomienda sea de un cuarto de la presa y con un ancho ligeramente mayor que el grosor de la misma.

Se recomienda extremar medidas de seguridad en la construcción de estas presas cuando se trata de suelos con texturas gruesas o arenosas o bien en aquellos donde se presenten grietas en sus taludes.

Es conveniente que el fondo de la zanja este bien nivelado para evitar deslizamientos del material y durante el acomodo de piedras para la cimentación, se debe procurar quede colocado lo más estable posible. Por ejemplo, cuando se trate de piedra bola, se debe buscar el ángulo de reposo, es decir, la parte de mayor peso debe quedar hacia abajo.

Formación de la estructura:

La construcción de la cortina consiste en el acomodo de piedras para formar una barrera o trinchera que servirá para controlar la erosión de las cárcavas, así como para filtrar el agua de escurrimiento y retener azolves.

Los métodos de construcción dependen del tipo de piedra que se disponga; si las piedras son tipo laja o planas solo se acomodan unas sobre otras siguiendo las dimensiones iniciales para formar una barrera de la misma anchura y con paredes rectas y estables. Se debe preferir roca o piedra que tenga mayor peso y dureza, pero también es posible aprovechar otros materiales disponibles.

No es conveniente utilizar roca que se desintegren fácilmente y que sean de bajo peso, debido a que pueden ocasionar el desmoronamiento de la presa, el arrastre de material y mal funcionamiento de la obra. Con el objetivo de lograr que la barrera retenga la mayor cantidad de sedimentos y funcione como presa filtrante, se debe procurar que entre las piedras acomodadas no queden espacios grandes y que sean cubiertos con piedras pequeñas.

Construcción:

1) Primer paso: La primera acción para la formación de la estructura, es la construcción de un muro o trinchera de 0.75 a 1 metro de ancho promedio, que se extiende a lo ancho de la cárcava abarcando los taludes laterales excavados para el empotramiento.

2) Segundo paso: Durante la construcción del muro base, se debe formar el vertedor, el cual es una sección rectangular o cóncavo sin piedras que sirve para encauzar el paso de los volúmenes de agua. Puede consistir de una sección más baja que el resto de la presa ubicada en la parte central de la estructura o ligeramente a un costado de ella, por donde pasa la corriente principal.



3) Posteriormente se forma el talud, con el fin de dar mayor resistencia a la estructura ante la fuerza de las corrientes que impactaran en las paredes de la presa. Existen diseños de presas de piedra acomodada con dos taludes: uno, aguas arriba y otro aguas abajo; sin embargo se ha observado que con un talud aguas abajo las presas funcionan adecuadamente y se reducen costos en mano de obra y material.

4) Para proteger el fondo de la cárcava de la erosión hídrica provocada por la caída del agua que pasa por el vertedor y mantener la estabilidad de la presa, se recomienda construir un delantal con piedra acomodada aguas abajo.

Espaciamiento:

El criterio utilizado es el denominado cabeza pie, consiste en que la cota de la base de una represa, coincide con la cota del vertedor de la presa inmediata aguas abajo.

La cantidad y calidad del agua de lluvia superficial en las microcuencas no se ven afectadas por la construcción de presas de piedra acomodada, ya que su diseño permite el paso del agua sin sedimentos.

Generalidades:

- El control de las cárcavas se debe iniciar por la parte alta de las cuencas donde inicia.
- La construcción de presas de piedra acomodada se recomienda en cárcavas con pendientes máximas de 35%.
- La altura total no deberá exceder 2.5 metros de altura total.
- Es conveniente plantar especies forestales o pastos en los terraplenes que se van formando con la acumulación de sedimentos, una vez que se hayan estabilizado.
- Los resultados de la aplicación de estas obras, serán más efectivos cuando se integran con otras obras de suelo, como cabeceo de cárcavas, afine de taludes, reforestación, etc.

**Costos:**

En este apartado se muestran los costos promedios de los trabajos requeridos para la construcción de esta obra, considerando que el número de presas propuestos para la zona de estudio puede variar a la hora de que el prestador técnico ejecute las obras, en función de lo ya señalado como **la pendiente o grado de inclinación que presente la cárcava, así como la cantidad y profundidad de escurrimientos superficiales.**

Costo promedio para la construcción de presas de piedra acomodada por metro cúbico en la zona de estudio				
Concepto	Unidad de Medida	Costo Unitario (\$)	Cantidad Requerida	Costo de la Actividad
Medición de pendientes y ubicación de presas	Jornal	\$200	0.1	\$20
Limpieza, trazo, nivelación y retiro de material.	Jornal	\$200	0.25	\$50
Excavación para cimentación	Jornal	\$200	0.5	\$100
Excavación para empotramiento	Jornal	\$200	0.5	\$100
Acomodo de piedra	Jornal	\$200	3	\$600
Pepena	Jornal	\$200	2.5	\$500
Acarreo	Jornal	\$200	2.5	\$500
Total				\$1870

Fuente: SAP, Servicios Ambientales Profesionales, S.C., 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ameca, estado de Jalisco.

Por lo anterior considerando la construcción de presas con las siguientes medidas:

0.7 metros de grosor, 1 metro de altura, teniendo que las medidas de la zanja serán de 0.75 metros de ancho y 0.22 metros de profundidad, por un ancho de cárcava de 3 metros promedio, tenemos que cada presa será de 2.25 m³, a razón de \$1,870 pesos por metro cúbico. De ahí que cada presa costará 4,207.5, considerando la construcción de 78 presas en el municipio de Ameca, resulta una inversión de \$ 328,185.00 MN.



5.4.4. Obras de mitigación de riesgos en Inundaciones

- 1) Establecer un sistema de alerta temprana para inundaciones repentinas
- 2) Desazolve y recuperación de causas en sitios cercanos a las comunidades señaladas como de alto riesgo a las inundaciones
- 3) Levantamiento topográfico a detalle del Arroyo Santiago en sus cercanías a la zona urbana de Ameca y determinación de área inundable.
- 4) Desarrollar obra hidráulica para evitar inundaciones en el fraccionamiento el Diamante.
- 5) Desazolve y limpieza en el Arroyo San Martín.
- 6) Construcción de planta de tratamiento de agua en la comunidad del Cabezón para evitar la contaminación de las aguas del Arroyo San Martín a su paso por la comunidad.
- 7) Construcción de vaso regulador en el Arroyo Tablones-Magistral.
- 8) Construcción de dique en San Antonio Matute.
- 9) Establecer programa de cursos sobre peligros y riesgos en las comunidades más expuestas a estos fenómenos.
- 10) Programa de reforestación en las partes altas de las cuencas para evitar el arrastre y deposición de sedimentos en los lechos de arroyos y ríos.
- 11) Construcción de obra hidráulica que evite la contaminación de los escurrimientos provenientes de las cuencas urbanas 6 y 14.
- 12) Construcción de canal de desvío del arroyo que incide directamente en la cuenca urbana 2.

5.4.5. Obras de mitigación de riesgos en hundimientos

De acuerdo a los resultados del análisis de riesgos se plantea reconstruir de 73,325 m² de calles, esta reconstrucción incluye reparar los sistemas de drenaje y agua potable. Véase el mapa de obras de mitigación del riesgo a hundimientos en la cabecera municipal de Ameca, Jalisco.