



Atlas de Riesgos Naturales de la Alcaldía de Cuajimalpa de Morelos

ENTREGA FINAL

EM CAPITAL SOLUCIONES INTEGRALES



Contenido

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Antecedentes	4
1.2	Eventos de desastre antecedente	6
1.3	Objetivos	9
1.3.1	Objetivos particulares	9
1.4	Caracterización de elementos del medio Natural.....	9
1.4.1	Fisiografía	9
1.4.2	Geomorfología	10
1.4.3	Geología	11
1.4.4	Edafología.....	13
1.4.5	Hidrología	14
1.4.6	Clima.....	15
1.4.7	Uso de suelo y vegetación.....	16
1.5	Aspectos Cartográficos.....	17
1.5.1	Mapa Base	17
1.6	Análisis de Riesgo de Desastres	20
2	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	21
2.1	Vulnerabilidad Física	21
2.1.1	Características de la vivienda	22
2.1.2	FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA INUNDACIONES.....	32
2.1.3	FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (PRM) ...	37
2.1.4	FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD POR SISMO EN SAN PABLO CHIMALPA	38
2.2	Vulnerabilidad Social.....	45
2.2.1	Análisis de Vulnerabilidad Social	45
3	ANÁLISIS DE PELIGRO	57
3.1	Geológicos	57
3.1.1	Sismos.....	57
3.1.2	PRM	64
3.1.3	SUBSIDENCIA	82
3.1.4	AGRIETAMIENTOS	83
3.1.5	TSUNAMIS	85

3.2	Hidrometeorológicos.....	86
3.2.1	Ondas cálidas.....	86
3.2.2	Ondas gélidas	94
3.2.3	Sequías	98
3.2.4	Heladas	103
3.2.5	Tormentas de granizo.....	104
3.2.6	Tormentas de nieve.....	108
3.2.7	Ciclones tropicales.....	111
3.2.8	Tormentas polvo	111
3.2.9	Tormentas eléctricas	111
3.2.10	Viento	115
3.2.11	Lluvias extremas.....	121
3.2.12	Inundación fluvial	121
3.2.13	Inundación Pluvial	140
4	Bibliografía	149

1 INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México vive una etapa de transición, donde las políticas reactivas están siendo complementadas con iniciativas orientadas a la generación de capacidades preventivas y adaptativas, ante la ocurrencia fenómenos perturbadores de origen natural. Estas acciones, enmarcadas dentro de la Gestión Integral de Riesgos, dotan a los *gobiernos de bases técnicas sólidas* para la planeación y ejecución de proyectos específicos, enfocados a prevenir pérdidas humanas y materiales, apoyar las decisiones en materia de transferencia de riesgo, gestión de recursos para prevención y fortalecimiento de las capacidades de respuesta, así como la vinculación de los estudios de riesgo con otros instrumentos de planeación del territorio, además de ser incluidos como **parte fundamental de los programas de gobernanza de las alcaldías**.

La Alcaldía de Cuajimalpa, como punta de lanza en la materia, lleva a cabo la actualización del Atlas de Riesgos Naturales, buscando profundizar los análisis de peligro, considerando los eventos que ocasionaron daños materiales en la demarcación después de 2014. Se Profundiza en los análisis de vulnerabilidad física y como elemento particular, se genera un análisis específico en la localidad de San Pablo Chimalpa, ya que, debido al sismo del 19 de septiembre de 2017, cientos de pobladores se vieron afectados.

Un elemento que suma al proyecto es el trabajo de campo desarrollado, el cual brinda a los especialistas una visión clara del entorno natural, las afectaciones potenciales y las realidades sociales. Consecuentemente, estos datos son usados activamente para la determinación de factores detonantes y la generación de propuestas de mitigación, para disminuir el impacto de los eventos de origen natural de naturaleza similar.

Se culmina con un foro ante las autoridades responsables de protección civil, administración de los recursos naturales y personal de desarrollo urbano, para implementar un ejercicio de retroalimentación aplicando el método de Marco Lógico y con esto tipificar el orden de prioridad de las medidas que se originen en el post-análisis.

Imagen 1 Participación de la comunidad para los trabajos de reconstrucción en Cuajimalpa (San Pablo Chimalpa)



1.1 Antecedentes

Durante el ejercicio fiscal 2013, y con apoyo del Programa de Prevención de Riesgos en Asentamientos Humanos (PRAH) que impulsa la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU), la entonces Delegación de Cuajimalpa de Morelos, se posicionaba como una de las primeras demarcaciones en elaborar su Atlas de Riesgos Naturales, realizado con el propósito de mitigar el impacto negativo de los fenómenos naturales y aumentar la capacidad de respuesta de las autoridades delegacionales mediante el diseño, elaboración y puesta en marcha de planes y programas de emergencia, así como del desarrollo de obras de mitigación.

Como parte de los resultados de este primer estudio se identificó que los fenómenos geológicos como los Procesos de Remoción en Masa (PRM), e Hidrometeorológicos, como las inundaciones fluviales, son los fenómenos que mayores daños y pérdidas generan, esto de un total de 20 fenómenos naturales analizados. Sin embargo, y tras los eventos sísmicos de septiembre del 2017, resulta imperante e impostergable que se realice una actualización de este estudio. ***El objetivo es incrementar el nivel de análisis para cada uno de los fenómenos e incorporar los datos estadísticos generados por las estaciones climatológicas durante los últimos seis años.***

Debemos concebir un Atlas de Riesgos como un estudio técnico dinámico, que refleja la realidad del territorio en un tiempo determinado, sin embargo, las características y condiciones del territorio cambian constantemente, por lo que las condiciones de riesgo también.

Claro ejemplo de esta situación, es lo que sucedió en la localidad de San Pablo Chimalpa, donde un número considerable de viviendas resultaron dañadas después del terremoto del 19 de septiembre del 2017, pese a que, con base en la zonificación geotécnica de la Ciudad de México, no se preveía que la demarcación sufriera de daños por ser considerada como Zona de Lomas de acuerdo con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

Imagen 2 Afectaciones en San Pablo Chimalpa derivados del sismo del 19 de septiembre de 2017



Fuente: TelevisaNEWS.com

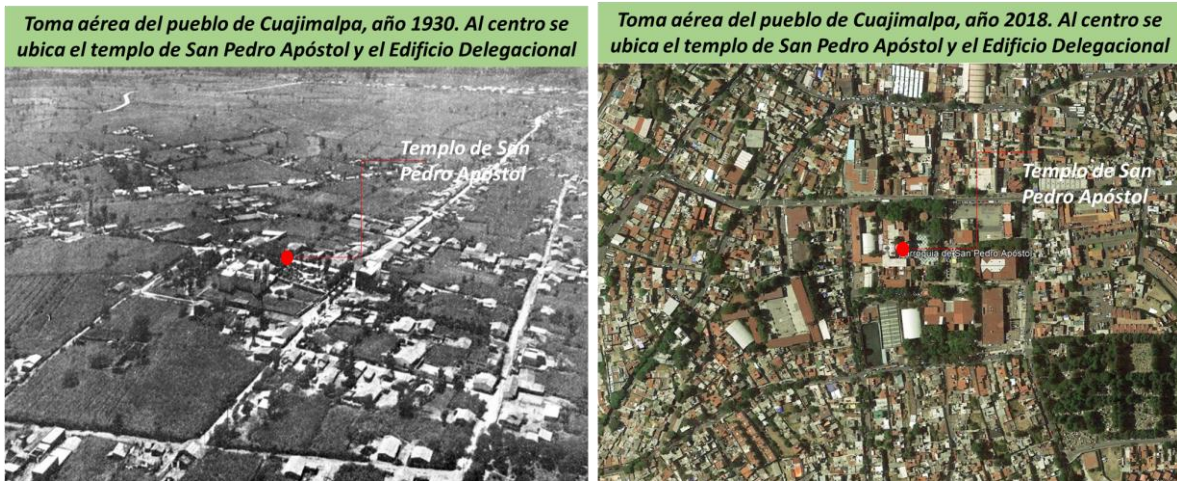
La pérdida de los bienes materiales de la población, pero fundamentalmente la ocurrencia de víctimas por este tipo de eventos, han sido significativos, basta mencionar que tan sólo para el sismo de septiembre de 2017, en Cuajimalpa aproximadamente 156 viviendas tuvieron fuertes afectaciones, 60 colapsaron y/o fueron derribadas por personal de esta demarcación, tras evaluarlas como viviendas de alto riesgo.

El riesgo sísmico para Cuajimalpa puede acrecentarse como consecuencia del aumento en las condiciones de desigualdad económica, social y territorial, así como por otros factores como el crecimiento de la población, la diversificación de actividades económicas, el posicionamiento de la alcaldía como una de las demarcaciones con mayor crecimiento de viviendas, el aumento en el número de asentamientos irregulares, la nula aplicación de criterios constructivos adecuados, entre otros.

El **crecimiento de la población y la diversificación de sus actividades** son variables reconocidas como elementos condicionantes del grado de vulnerabilidad de la población ante un peligro y por consiguiente del grado de riesgo. Es decir, cuanto mayor sea el número de personas localizadas en un área (**crecimiento poblacional**), más alta es la probabilidad de tener víctimas humanas o pérdida de bienes, como resultado del impacto de fenómenos perturbadores de origen natural (geológicos e hidrometeorológicos).

Por otra parte, el crecimiento de la población incide en el uso de más recursos naturales, es decir, entre mayor sea el número de personas que habitan un territorio, mayores son los requerimientos de espacio. En una alcaldía como Cuajimalpa, en la que solo el 20% de su territorio es apto para la urbanización, esta situación cobra especial importancia, pues como consecuencia de la expansión de los centros urbanos, se propicia la eliminación de barreras naturales que actúan como protección ante los fenómenos naturales. Por ejemplo, cuando eliminamos una zona arbolada favorecemos el desarrollo de fenómenos como inundaciones o deslizamientos de laderas.

Imagen 3 Retrospectiva del desarrollo urbano en Cuajimalpa



Fuente: El Universal. La Ciudad en el tiempo

Por otro lado, si bien el aumento y diversificación de las actividades económicas incide en el uso de más recursos naturales, debe advertirse que no es la única variable que condiciona el nivel de vulnerabilidad y riesgo, pues existen otros factores como la generación de residuos y desechos, que potencializan los efectos de algunos fenómenos como las inundaciones, pues éstos obstruyen y dificultan el funcionamiento de los drenajes. Lo mismo puede mencionarse respecto a la contaminación y generación de tiraderos de escombros en las zonas de barrancas.

Con base en lo descrito anteriormente, pretendemos dejar en claro la importancia de realizar este estudio de actualización del Atlas de Riesgos Naturales, pues tras cinco años de ejecución, las condiciones sociales, demográficas y económicas de esta alcaldía han cambiado, y algo relevante a resaltar y explicar, es *el efecto del sismo del 19 de septiembre de 2017, que en definitiva obliga a pensar en modificar el Reglamento de Construcciones a la luz de los peligros geológicos que han afectado a la Ciudad en los últimos años (grietas, subsidencia, socavaciones, y en el caso sísmico, los efectos de sitio en zonas de barrancas).*

1.2 Eventos de desastre antecedente

Con base en los datos de EM-DAT (Base Internacional de Desastres OFDA/CRED), se ha estimado que entre el año 2000 y el 2018 en México se ha presentado para el centro del país, poco más de 65 fenómenos naturales, que han dejado un total de 1,385 muertos y costos del orden de los 13 mil millones de dólares. Asimismo, informa que los fenómenos naturales que más daños generan son los de origen hidrometeorológico, sin embargo, los que mayores pérdidas económicas generan son los de origen geológico como se muestra en la siguiente tabla.

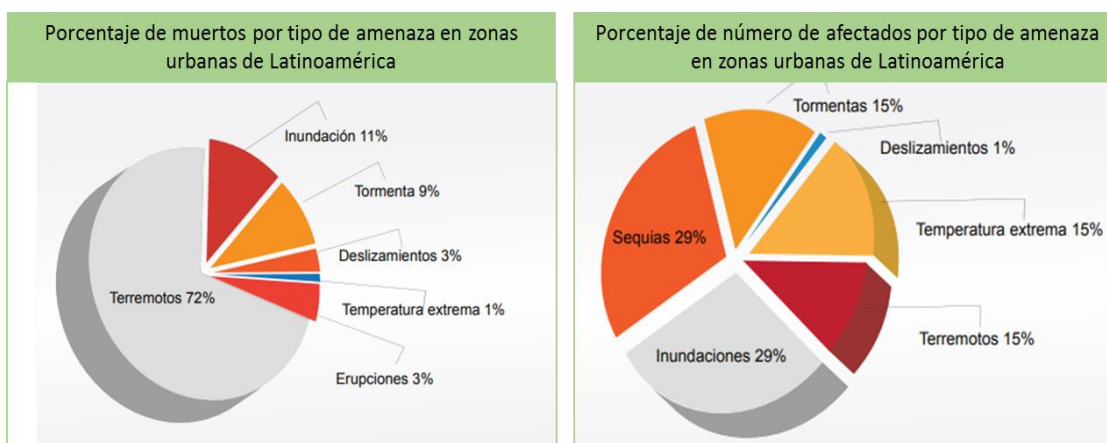
Tabla 1 Desastres por fenómenos de origen natural en el centro de México de 2000 a 2018

Tipo de Desastre	No. Eventos	Muertes	Total de afectaciones (miles de pesos)
Actividad volcánica (Caída de Ceniza)	2	0	41,300
Sismos	10	505	1,739,634
Proceso de Remoción en Masa	7	140	200
Ondas frías	6	159	120,000
Sequías	2	0	2,500,000
Tormenta	3	36	4,091
Inundación pluvial	5	149	15,000
Inundación fluvial	20	256	3,260,384
Inundación súbita	10	140	72,660

Fuente: EM-DAT, Base Internacional de Desastres OFDA/CRED, Universidad de Louvaine, Bruselas, Bélgica

Por otra parte, de acuerdo con el Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres, 2011 (UNISDR, 2011), se estima que más del 80 por ciento de los desastres ocurren en áreas o centros urbanos y de éstos, entre un 40 y 70 en aquellas con más de 100 mil habitantes como lo es la alcaldía. Siendo los terremotos, las sequías e inundaciones los de mayor impacto.

Imagen 4 Tipificación de amenazas (derecha) y disgregación de personas fallecidas (izquierda)



Fuente: EM-DAT, Base Internacional de Desastres OFDA/CRED, Universidad de Louvaine, Bruselas, Bélgica

Los fenómenos naturales siguen provocando importantes daños y cuantiosas pérdidas económicas y humanas para la población de Cuajimalpa, y retomando los resultados del Atlas de Riesgos que antecede a este trabajo de actualización, se ha definido que, al igual que las tendencias a nivel nacional, Cuajimalpa es severamente impactado por sismos, inundaciones, deslizamientos y sequías.

Basta mencionar, como un claro ejemplo de esta situación, el hecho de que sólo durante el periodo comprendido entre enero del 2013 y noviembre del 2018, Cuajimalpa obtuvo al menos cinco declaratorias de emergencia o desastre ante el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), por alguno de estos fenómenos (una por año como mínimo), y el número de alertas en sus diferentes fases (amarilla, anaranjada, roja) asciende a más de uno por año (Boletines de Alertamiento del Sistema de Alerta Temprana). En la tabla siguiente se detalla cuáles han sido los fenómenos (naturales o antrópicos) más relevantes y da a conocer algunas precisiones de los eventos:

Tabla 2 Inventarios de declaratorias de emergencia, desastre o alertamiento en Cuajimalpa

Fecha	Fenómeno	Causa	Zona(s) afectada(s)	Tipo de Declaratoria	Fuente
26/09/2013	Deslizamientos	Lluvias atípicas	Paraje Oyametitla,	Emergencia	La Jornada
17/04/2014	Tormenta de Granizo	Tormenta de Granizo	Calle José María Castorena	Emergencia	El Semanario
29/01/2015	Explosión	Fallas en Pipa de Gas	Colonia Contadero	Desastre	El Economista
01/07/2017	Inundación	Lluvia torrencial atípica	San José de los Cedros	Emergencia	El Sol de México
19/09/2017	Sismo	Sismo 7.1	San Pablo Chimalpa	Desastre	El Universal
14/06/2018	Lluvias	Lluvias intensas	Cuajimalpa	Alerta roja	Expansión
19/08/2018	Lluvia y granizo	Lluvia y granizo	Cuajimalpa	Alerta roja	El Herald de México
18/11/2018	Frente Frío	Frente Frío	Cuajimalpa	Alerta amarilla	El Universal
19/11/2018	Deslave	Fuertes lluvias	San Pablo Chimalpa	Alerta	Excélsior

1.3 Objetivos

Elaborar la actualización del Atlas de Riesgos de la Alcaldía de Cuajimalpa de Morelos.

1.3.1 Objetivos particulares

- Incrementar el nivel de análisis de los fenómenos naturales de mayor incidencia al interior de la alcaldía.
- Constituir bases de datos meteorológicas actuales que contengan datos por lo menos a diciembre de 2017.
- Actualizar el análisis de vulnerabilidad social de la alcaldía, incorporando las actualizaciones de variables sociales, económicas y demográficas.

1.4 Caracterización de elementos del medio Natural

Buscando caracterizar los elementos físicos de la alcaldía se describen de manera sintética los siguientes elementos.

1.4.1 Fisiografía

El esquema fisiográfico regional que enmarca a la Alcaldía de Cuajimalpa es una formación de origen volcánico identificada como Eje Neovolcánico Transmexicano, que se caracteriza por tener diversas formas del relieve, desde elevaciones de más de 5 000 m de altura hasta extensas llanuras, que han sido el resultado de los diversos procesos exógenos a los que ha estado sometida la provincia desde su génesis.

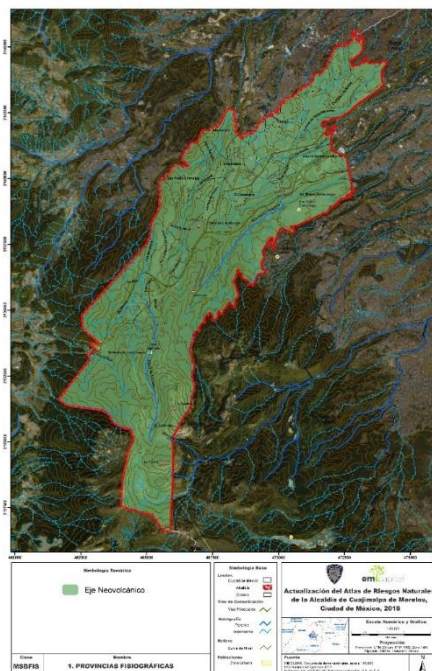
Tabla 3 Provincia fisiográfica: Superficie y porcentaje

Provincia Fisiográfica	Superficie (ha)	% de Superficie
Eje Neo-volcánico	15851610	100

En el contexto local, la alcaldía se localiza dentro de la Cuenca de México con una superficie aproximada de 9,560 Km². Su fisiografía presenta un sistema de topoformas a partir de sierras de origen volcánico, lomeríos, mesetas de composición basáltica, llanuras lacustres y lacustres salinas.

Las topoformas en la delegación son sierras volcánicas de laderas escarpadas en la zona suroeste - centro del territorio de la alcaldía y lomeríos con cañadas en la zona noreste. En general la alcaldía se asienta sobre la Sierra de las Cruces y sus respectivos depósitos vulcanoclásticos.

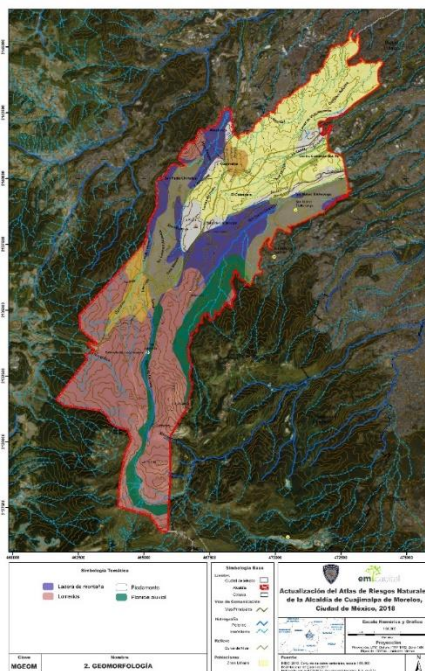
Imagen 5 Provincias Fisiográficas Cuajimalpa



1.4.2 Geomorfología

La morfología está directamente influenciada por la formación de la *Sierra de las Cruces*, conjunto montañoso que limita la cuenca de Toluca y la cuenca de México, con una extensión de aproximadamente 110 km de largo y 47 km de ancho. Tiene una elevación máxima de 3,800 m.s.n.m. y se encuentra conformada por estratovolcanes, siendo el volcán San Miguel donde se emplaza el territorio de la alcaldía. Es característico por la presencia de drenajes orientados NE-SW que se desvanecen en valles escalonados y profundos (García-Palomo, *et. al.*, 2008).

Imagen 6 Geomorfología Cuajimalpa



Las estructuras morfológicas que se observan el territorio son principalmente laderas de montaña, lomeríos, piedemonte y planicie aluvial, predominando en extensión territorial los lomeríos, con un 37% de la extensión del territorio.

Tabla 4 Estructuras geomorfológicas

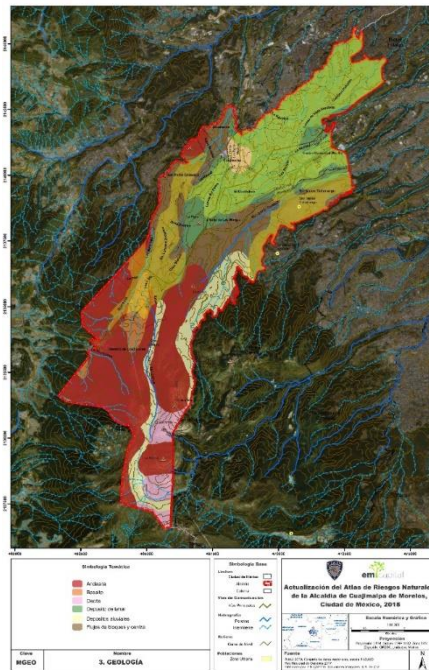
Nombre	Superficie (ha)	% en superficie
Ladera de Montaña	1747	24
Lomeríos	2693	37
Piedemonte	2120	29
Planicie Aluvial	640	9

1.4.3 Geología

La Sierra de las Cruces data del Mioceno Tardío al Pleistoceno, compuesto por rocas de origen ígneo y material asociado a los remanentes de volcanes colindantes (formación Tarango). La actividad volcánica que se presentó en la formación de la Sierra de las Cruces fue a partir de derrames de lava de composición andesítica y dacítica, con alternancias de piroclásticos, cenizas y flujos de pómez. La interacción entre los materiales emplazados, coladas de lava, flujos piroclásticos, lahares y material de caídos tiene como resultado la formación de relieves con pendientes someras (lomeríos) así como escarpes en zonas donde la disección del relieve es importante o donde surcan fallas regionales.

La génesis de la Sierra de las Cruces, se propone a partir del emplazamiento de los materiales sobre un sistema de fallas con orientación N-S, descansando en la zona sur sobre rocas caliza del Cretácico (Alaniz- Álvarez et al., 1998).

Imagen 7 Geología Cuajimalpa



La litología y datación de cada emplazamiento que forman la Sierra de las Cruces, conforme a trabajos en campo realizados por el Servicio Geológico Mexicano, está dado a partir de un derrame de andesita-dacita a mediados del Mioceno, al que sobreyacen lahares y tobas andesíticas de mediados del Plioceno.

Posteriormente, interactuando con emplazamientos de andesitas y basaltos, se presentan procesos sedimentarios, con la deposición de sedimentos lacustres datados en el Pleistoceno, con intercalaciones de depósitos lacustres del Terciario hasta el Plioceno. Estos últimos sobreyacen con depósitos superficiales de aluvión datados en el Holoceno, siendo la capa superficial de la columna estratigráfica de la Sierra de las Cruces. Conforme a la distribución superficial de las rocas y depósitos que afloran en el territorio de la Alcaldía son: derrames de composición andesítica y depósitos de lahar, con una extensión de aproximadamente 2, 120 ha, que cubren más del 50% de la alcaldía.

Tabla 5 Litología

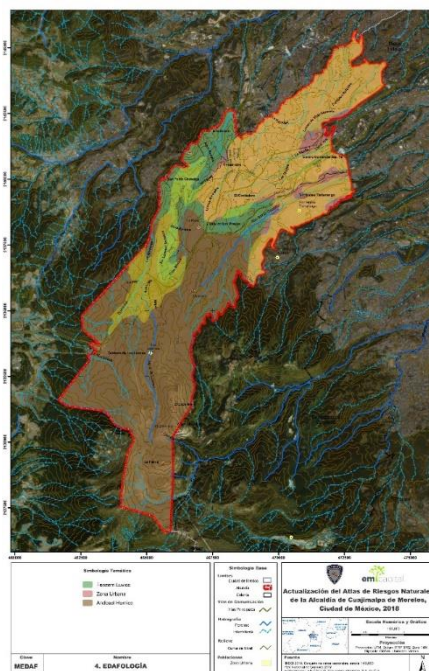
Tipo	Área (Ha)	% de la alcaldía
Andesita	2122	29
Basalto	208	3
Dacita	363	5
Depósito de Lahar	2120	29
Depósitos Aluviales	640	9

Flujos de Bloques y Ceniza	1747	24
----------------------------	------	----

1.4.4 Edafología

Al tratarse de una zona urbana, la presencia de suelos se ha ido reduciendo por la intervención de los asentamientos humanos, sin embargo, el inventario realizado por el INEGI muestra que los suelos presentes en el territorio están distribuidos con una extensión superficial predominante de andosol húmico, cubriendo el 53 % de la demarcación, seguido por la zona urbana (antroposol), con una superficie de 2,417 ha aproximadamente, y finalmente en una menor proporción el suelo feozem lúvico, con un porcentaje de extensión del 12 % aproximadamente.

Imagen 8 Edafología Cuajimalpa



La distribución edafológica en términos de superficie se desglosa en la siguiente tabla.

Tabla 6 Edafología

Nombre	Área (ha)	% en área
Zona Urbana (Antroposol)	2418	34
Andosol Húmico	3822	53
Feozem Lúvico	902	13

1.4.4.1 Características edafológicas

Andosol Húmico: Suelos de origen volcánico, constituidos principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad al suelo.

Feozem Lúvico: Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes.

Antroposol: Contienen una cantidad significativa de artefactos (algo en el suelo reconociblemente hecho o extraído de la tierra por el hombre), o están sellados por otro material duro (material creado por el hombre, que tiene propiedades diferentes a la roca natural). Incluyen suelos de desechos (rellenos, lodos, escorias, escombros o desechos de minería y cenizas), pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con geomembranas y suelos construidos en materiales hechos por el hombre.

1.4.5 Hidrología

Es frontera entre las dos cuencas de aportación a la alcaldía (Cuenca Río Moctezuma, Cuenca Río Lerma-Santiago). La existencia de contrastes altitudinales en distancias cortas y laderas heterogéneas generan un patrón de drenaje dendrítico, el cual confluye hasta formar los diferentes escurrimientos alcanzando un orden de drenaje 7. Dentro de los escurrimientos más destacados se encuentran: Río Borracho con una longitud de 3.5 km drenando al río hondo; Arroyo Agua de Leones que atraviesa los poblados de La Pila, Las Maromas y San Lorenzo Acopilco; el llamado Santo Desierto, que nace en los cerros de San Miguel Colica, pasa por el Parque Nacional Desierto de los Leones, por la zona del Valle de las Monjas y San Mateo Tlaltenango, para desembocar en la Barranca de los Helechos, en la Alcaldía Álvaro Obregón; **el Río Magdalena**, que es uno de los más importantes, está situado en el bosque templado, atraviesa Los Dinamos y **es el escurrimiento en mejor estado de conservación de la Ciudad de México**; su flujo es permanente y alcanza un caudal promedio de 1 m³/s.

Además de estos, existen afluentes de carácter torrencial, con avenidas de corta duración tales como: Corriente la Coyotera, Río Tacubaya, Río Becerra, Río San Joaquín, Río Barrilaco, mismos que tienen su origen en la parte central o norte de la demarcación y al salir de ésta desembocan en las delegaciones Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo o Magdalena Contreras, o bien hacia el Estado de México.

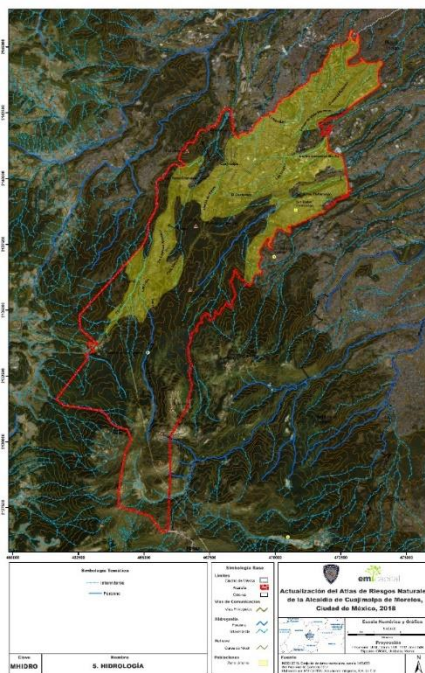
Asimismo, como fuente de abastecimiento de agua potable, afloran diferentes tipos de manantiales situados dentro del Área Natural Protegida *Desierto de Los Leones* así como de los Pueblos Chimalpa o Xometitla. El resto es de pozos profundos, el Ramal Sur del Sistema Lerma Cutzamala y del Acueducto Periférico.

1.4.5.1 Cuencas y subcuencas

La Alcaldía de Cuajimalpa de Morelos pertenece a la Región Hidrológica Administrativa XIII Aguas del Valle de México, en la Región Hidrológica No. 26 Pánuco, Cuenca Río Moctezuma, Subcuenca Lago Texcoco-Zumpango y a la Región Hidrológica No. 12 Lerma Santiago, Cuenca Río Lerma-Santiago, Subcuenca Río Almoloya-Otzolotepec.

En la demarcación de la Alcaldía se limitaron 7 microcuencas con aportación de flujo, de las cuales sus superficies de captación varían entre los 10 km² y 112 km².

Imagen 9 Hidrología Cuajimalpa



1.4.6 Clima

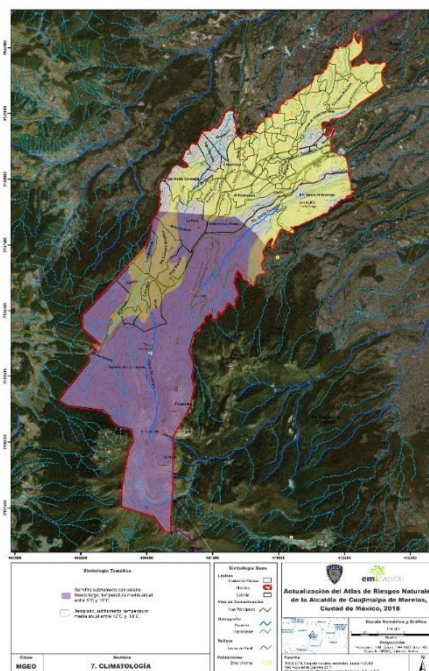
En estrecha relación con las características morfológicas, el clima identificado por la clasificación de Köppen en la modificación de Enriqueta García para México es Templado, subhúmedo, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C; la temperatura del mes más frío varía entre -3°C y 18°C y la temperatura del mes más caliente bajo 22°C; el otro clima presente es Semifrío, subhúmedo, con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, siendo predominante éste último, con un porcentaje de superficie de 57% aproximadamente.

Tabla 7 Clima

Nombre	Área (ha)	% en área
Templado, subhúmedo	2985	41
Semifrío, subhúmedo	4156	58

Debido a que la oscilación térmica está directamente relacionada con la cobertura vegetal, se identifican dos zonas predominantes, templado en la zona norte y semifrío en la zona centro sur.

Imagen 10 Clasificación del clima en Cuajimalpa



1.4.7 Uso de suelo y vegetación

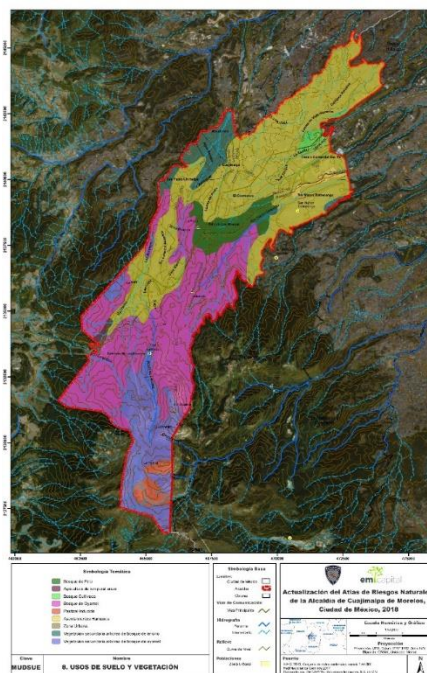
La alcaldía presenta una distribución de uso de suelo de la siguiente forma: el 75 % cobertura vegetal, específicamente bosques de oyamel y pino, pastizales inducidos, agricultura de temporal y vegetación secundaria; el 22% corresponde a las zonas urbanas y menos del 1% a asentamientos irregulares.

Tabla 8 Uso de Suelo y vegetación

Nombre	Área (ha)	% en área
Asentamientos humanos	63	1
Bosque de oyamel	2306	32
Bosque cultivado	83	1
Bosque de pino	342	5
Pastizal inducido	155	2
Agricultura de temporal anual	43	1
Agricultura de temporal anual y permanente	1319	18
Vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel	872	12
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	325	5
Zona Urbana	1634	23

El mapa de distribución de uso de Suelo y vegetación en la Alcaldía se presenta a continuación.

Imagen 11 Uso de Suelo y Vegetación en la Alcaldía



1.5 Aspectos Cartográficos

Buscando cumplir con los lineamientos cartográficos descritos en **los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos** de SEDATU, se genera un mapa base donde se representan todos los resultados derivados de los análisis.

1.5.1 Mapa Base

Los aspectos cartográficos de la información que se sobrepone en el mapa base, se presenta en la siguiente tabla:

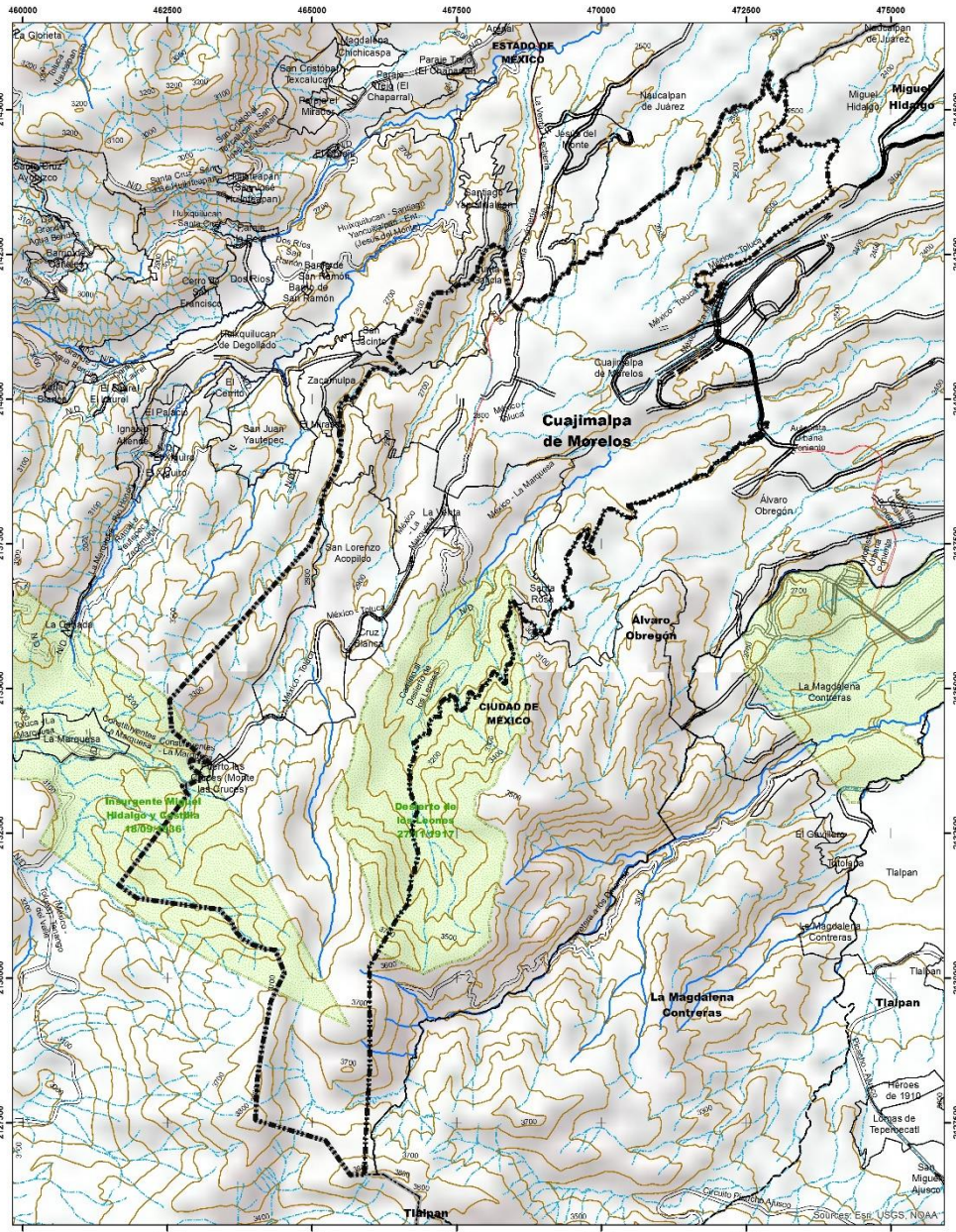
Tabla 9 Aspectos cartográficos dl mapa base

	Medio Natural	Fuentes de Información	Cobertura	Escala Numérica en Mapa Base
Mapa Base	Hidrografía	INEGI Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0	Alcaldía	1:60,000

	Relieve	INEGI Conjunto de datos vectoriales 1:50,000 serie III claves E14A38, E14A39, E14A48, E14A49	Alcaldía	1:60,000
	Vías de Comunicación	INEGI, Red Nacional de Caminos 2017	Alcaldía	1:60,000
	Límites	INEGI Marco Geoestadístico 2010 versión 5.0 A (Censo de Población y Vivienda 2010)	Alcaldía	1:60,000
	Rasgos Naturales	CONANP Octubre, 2018 Áreas Naturales Protegidas	Alcaldía	1:60,000

El mapa base se presenta en la siguiente Imagen.

Imagen 12 Mapa base Cuajimalpa



<p>Escala Gráfica</p> <p>Kilómetros Equidistancia entre curvas de nivel 100 m</p>	<p>Escala Numérica</p> <p>1:60,000</p>	<p>Proyección</p> <p>Proyección: UTM Datum: ITRF 1992, Zona 14N Elipsoidal: GRS80 Unidades: Metros</p>	<p>Simbología Base</p> <p>Hidrografía</p> <p>Perenne</p> <p>Intermitente</p> <p>Relieve</p> <p>Curva de Nivel</p> <p>Acotada en Metros</p> <p>Vías de Comunicación</p> <p>Vías Principales</p> <p>Carreteras con peaje</p> <p>Límites</p> <p>Estatal</p> <p>Municipal</p> <p>Localidad</p> <p>Riesgos Naturales</p> <p>ANP</p>	<p>Actualización del Atlas de Riesgos Naturales de la Alcaldía de Cuajimalpa de Morelos, Ciudad de México, 2018.</p> <p>Clave</p> <p>"Clave del mapa"</p> <p>Mapa</p> <p>"Nombre del mapa"</p>
<p>Simbología Temática</p> <p>"Símbolo y nombre de la capa resultante"</p>		<p>Fuente</p> <p>INEGI, 2010. Conjunto de datos vectoriales, escala 1:50,000 Elaborado por: EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V.</p>		

1.6 Análisis de Riesgo de Desastres

El riesgo de desastre, entendido como la probabilidad de pérdida, depende de dos factores fundamentales: **el peligro y la vulnerabilidad**.

La manera formal de cuantificar la vulnerabilidad es a través de funciones o expresiones matemáticas que establecen una relación entre el nivel del parámetro o variable considerada para representar la intensidad del fenómeno que representa el peligro, por ejemplo las aceleraciones del terreno en un sismo, y la probabilidad de que se presente un daño sobre los diferentes tipos de construcciones. Resulta claro que la forma en que se describan las consecuencias del fenómeno sobre el sistema expuesto dependerá del tipo del mismo sistema y de su uso.

Por ejemplo, si se trata de una edificación destinada a prestar servicios esenciales a una comunidad, tal como un hospital, las consecuencias deberán expresarse en términos de su posible impacto sobre la capacidad para realizar sus funciones. Por otro lado, desde el punto de vista presupuestal, con el propósito de asegurar o crear fondos para la reparación y reconstrucción, resulta necesario expresar las consecuencias en términos de indicadores económicos.

Para estimar los distintos niveles de riesgo, es necesario evaluar la vulnerabilidad ante cada fenómeno perturbador, de cada una de las obras construidas por el hombre como: vivienda, hospitales, escuelas, servicios de emergencia, edificios públicos, vías de comunicación, líneas vitales (electricidad, agua, drenaje, telecomunicaciones, etc.), patrimonio histórico, comercio e industria, sin olvidar tierras de cultivo, zonas de reserva ecológica e incluso turísticas o de esparcimiento.

Para este trabajo de actualización del Atlas de Riesgos Naturales, *se aborda el tema de la vulnerabilidad social evaluado con base en indicadores socio demográficos y económicos; la vulnerabilidad física, es evaluada a partir de las características constructivas de las viviendas o sistemas afectables, ya que éstos presentan las mayores afectaciones ante la acción de los fenómenos perturbadores.*

En relación con el término **costo**, dentro de las definiciones de riesgo más conocidas (p. ej. Ordaz, 1997), se refiere **al presupuesto necesario para reponer lo dañado**. Dentro de la definición de lo dañado o el bien expuesto afectado, se puede generar una gran discusión; por ejemplo, un profesional de la ingeniería estructural podría considerar únicamente a la estructura como elemento de valor, podría incluso omitir los materiales de fachada y acabados. Por otro lado, se puede considerar la pérdida del menaje; y finalmente, desde luego, el aspecto de mayor importancia, pero de mayor complejidad para su consideración como bien analizado, es la vida humana.

2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

La experiencia en la evaluación de los desastres en México ha mostrado que las zonas socialmente más desprotegidas, también resultan ser las más afectadas por la acción de los fenómenos naturales o bien antropogénicos (Bitrán, 2001). Por ejemplo, en el caso de vientos fuertes, se ha estimado que el aspecto socioeconómico (factor social) tiene influencia en al menos un 20 por ciento (Bitrán, 2003). En este trabajo, para tener en cuenta este importante factor, se hace uso del grado de vulnerabilidad social ante desastres.

2.1 Vulnerabilidad Física

La vulnerabilidad física se refiere a la capacidad que tiene un Sistema Expuesto (inmueble, vivienda, edificio, monumento, nave industrial, cualquier obra civil de gran envergadura) para soportar el impacto de los fenómenos naturales. Para evaluarla, diversos autores (García-Sosa J., 2004; Miyashiro Tsukazan, *et al*, 2009) así como el Centro Nacional de Prevención de Desastres, sugieren que las características físicas de la vivienda, suelen ser buenos indicadores que permiten establecer el nivel de vulnerabilidad física de las localidades.

Para realizar el análisis de vulnerabilidad general, fueron empleados los datos del Inventario Nacional de Viviendas 2016, elaborado por INEGI, el cual concentra, a nivel manzana, las **características de las viviendas** que las hacen más susceptibles a daños como:

- El material del piso de la vivienda (piso de tierra o diferente material)
- Acceso a servicios básicos (electricidad, agua, drenaje)
- Acceso a servicio sanitario o letrina.
- Número promedio de habitantes por vivienda

Fueron considerados los elementos del entorno por manzana (vialidades que cuentan con algún tipo de recubrimiento en las calles, manzanas de acuerdo con las vialidades que cuentan con alumbrado público y manzanas de acuerdo con las vialidades que cuentan con banqueteta). Esto permite identificar de forma indirecta:

1. Diferencias en el costo de las viviendas (plusvalía). La plusvalía es un factor determinante en la estimación de los costos de las viviendas, entre mayor es el número de servicios (acceso a transporte público, alumbrado, pavimentación, etc.) y beneficios (acceso a vialidades principales, cercanía con parques o jardines, etc.) existentes en un territorio, el valor de los inmuebles aumenta. Asimismo, entre mayor es el valor del inmueble puede inferirse que los materiales y sistemas constructivos empleados en la construcción de una vivienda, por ejemplo, son menos vulnerables al impacto de los fenómenos naturales.

2. El nivel de atención, o el grado de cercanía que se tiene con autoridades. Habitualmente los territorios más alejados del centro de las alcaldías, no tienen una comunicación permanente con las autoridades, lo que redundará en carencias en el entorno. Por ejemplo, la irregularidad en los servicios de alumbrado público, puede concatenar otro tipo de emergencias que pongan en Riesgo las viviendas, ante la posibilidad de que se genere un corto circuito que dañe los electrodomésticos o provoque un incendio.

De acuerdo con el documento “Los barrios pobres en 31 ciudades mexicanas”, los habitantes de los barrios, como se llama a las zonas marginadas urbanas, presentan demandas específicas que dejan ver cuáles son los problemas propios de estos sitios. La demanda principal es la construcción de calles, la cual, junto con la demanda de acceso a la ciudad, expresa la necesidad de integrarse con los mercados de trabajo, de bienes y servicios de la ciudad.

Sin calles no puede circular por las zonas marginadas el transporte público, los camiones de basura, las ambulancias y las patrullas, lo cual restringe el acceso a oportunidades laborales, al elevar el costo de transporte, del acceso a servicios públicos y seguridad. Las anteriores demandas se relacionan con el acceso a servicios básicos, como el agua, drenaje y luz. Cuando éstas no se satisfacen, se genera contaminación, insalubridad, deterioro de los vínculos sociales, riesgos como inundaciones y deslizamientos, e inseguridad, entre otros problemas.

Conocer los elementos que integran el territorio, permite establecer el grado de vulnerabilidad física de las viviendas, para algunos fenómenos particulares. Por ejemplo, en las inundaciones una localidad o manzana que cuenta con banquetas o guarniciones, propicia un menor grado de vulnerabilidad, pues éstas pueden funcionar como barreras físicas que limitan el flujo del agua.

Otro ejemplo que da idea de cómo los elementos del entorno inciden en la vulnerabilidad física, lo representan el número de calles pavimentadas, pues éstas normalmente dan indicio de que se cuenta con un sistema de drenaje. El Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal y las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas, advierten una serie de motivos por los cuales no es recomendable la inclusión de drenajes en zonas no pavimentadas, siendo una de las principales, el garantizar que las líneas no se azolven.

2.1.1 Características de la vivienda

2.1.1.1 Viviendas con piso de tierra

Que las viviendas tengan pisos de tierra, tiene una relación directa con su grado de vulnerabilidad física, pues esta condición, refleja de forma indirecta, la calidad de los materiales con los que se ha construido una vivienda así como la vulnerabilidad económica de la población.

Se asume que, difícilmente una vivienda en la que se ha invertido mayor cantidad de recursos económicos, y en la que se realizó un mejor sistema constructivo (ej. mampostería de block), mantiene una condición de tener pisos de tierra; por el contrario una vivienda precaria (normalmente ubicadas en zonas de asentamientos irregulares) cuyo material en muros y techos son elementos reciclados (maderas, lonas, láminas, etc.) normalmente no tienen algún tipo de recubrimiento en sus pisos.

Para la alcaldía de Cuajimalpa solo se identificaron 57 manzanas bajo una condición de Muy Alta vulnerabilidad, es decir, del total de manzanas (1,033) que configuran el territorio, solo el 5.5% de éstas tienen entre 80.1 y 100% de viviendas con pisos de tierra.

Las manzanas clasificadas con vulnerabilidad Alta, son aquellas que tienen entre 60.1 a 80% de viviendas en esta condición y representan el 0.97 % respecto al total de manzanas.

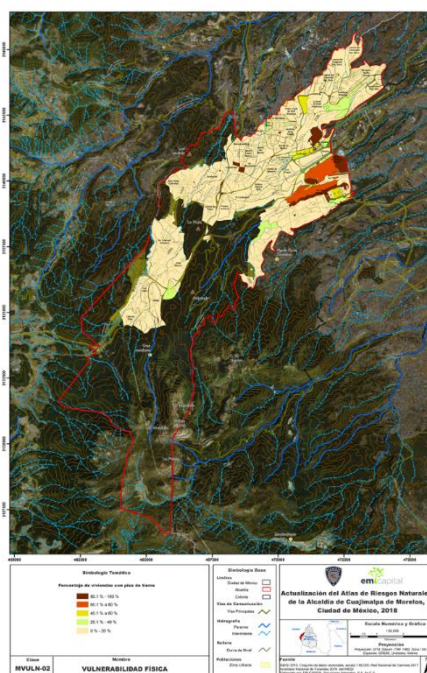
Tabla 10 Número de manzanas y porcentaje de viviendas según condición del piso

Grado de Vulnerabilidad	No. de manzanas	Porcentaje de viviendas por manzana (%)	Porcentaje que representan respecto al total de manzanas (%)
Muy Alta	57	80.1 a 100	6
Alta	10	60.1 a 80	1
Moderada	14	40.1 a 60	1
Baja	28	20.1 a 40	3
Muy Baja	905	0 a 20	88

Fuente: EM Capital, con datos del Inventario Nacional de Viviendas 2016 INEGI

La distribución espacial de vulnerabilidad, considerando el porcentaje de viviendas que aún tienen pisos de tierra por manzana, es la siguiente.

Imagen 13 Distribución espacial de manzanas con mayor porcentaje de viviendas con piso de tierra



2.1.1.2 Acceso a servicios básicos

Al igual que la variable anterior, la presencia de servicios básicos (luz, agua, drenaje y servicios sanitarios), reflejan de forma indirecta las características físicas de las viviendas, pues cada uno de estos servicios requiere de especificaciones constructivas mínimas, con las cuales se garantiza su óptimo funcionamiento. Por ejemplo, que las viviendas cuenten con agua entubada, requiere de la instalación de un complejo sistema de tuberías, que regularmente se colocan al interior de los muros, por lo que en una casa precaria o construida con adobe, esta especificación constructiva no se cumple.

Además, la distribución homogénea y constante de agua, obliga en muchas zonas, a contar con sistemas de almacenamiento como tinacos, lo que obliga a que la vivienda contenga elementos estructurales capaces de soportar el peso adicional (peso muerto). En resumen, la vulnerabilidad física se vincula con la pobreza (aunque no son sinónimos, pues un individuo con buena capacidad económica puede encontrarse vulnerable por falta de información, por ejemplo), siendo así que la pobreza se considera un factor que incrementa el riesgo.

2.1.1.3 Viviendas que no disponen de Electricidad

Con respecto al número de viviendas que no disponen de electricidad, en la alcaldía se identificaron 54 manzanas que concentran el mayor porcentaje de viviendas (80.1 a 100 % de viviendas) bajo esta condición, es decir, solo el 5.2% del amanzanado de Cuajimalpa, tiene un número importante de viviendas aún sin luz eléctrica. Un mayor porcentaje de viviendas bajo esta condición representa una condición de mayor vulnerabilidad.

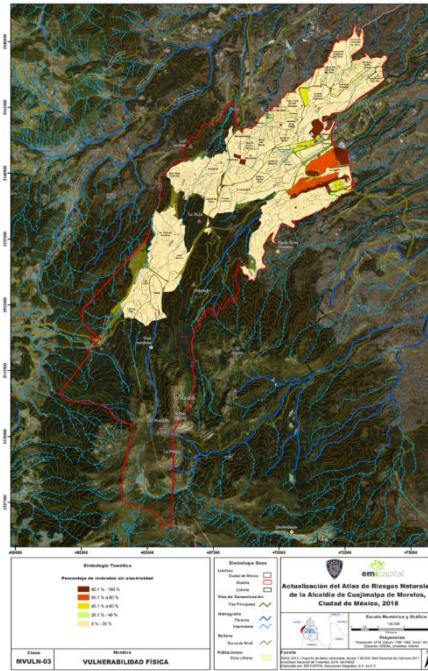
Tabla 11 Número de manzanas y porcentaje de viviendas según condición de acceso a electricidad

Grado de Vulnerabilidad	No. de manzanas	Porcentaje de viviendas por manzana (%)	Porcentaje que representan respecto al total de manzanas (%)
Muy Alta	54	80.1 a 100	5
Alta	10	60.1 a 80	1
Moderada	14	40.1 a 60	1
Baja	22	20.1 a 40	2
Muy Baja	931	0 a 20	90

Fuente: EM Capital, con datos del Inventario Nacional de Viviendas 2016 INEGI

La distribución espacial de vulnerabilidad según la condición de acceso a electricidad, por manzana, se presenta a continuación.

Imagen 14 Distribución espacial de manzanas con mayor porcentaje de viviendas sin electricidad



2.1.1.4 Viviendas que no disponen de Agua entubada

La disponibilidad de agua entubada para Cuajimalpa, está cubierta en 893 manzanas de las 1,033 que integran el territorio, sin embargo, aún existen 65 en las que un porcentaje alto de viviendas viven con esta carencia como se muestra.

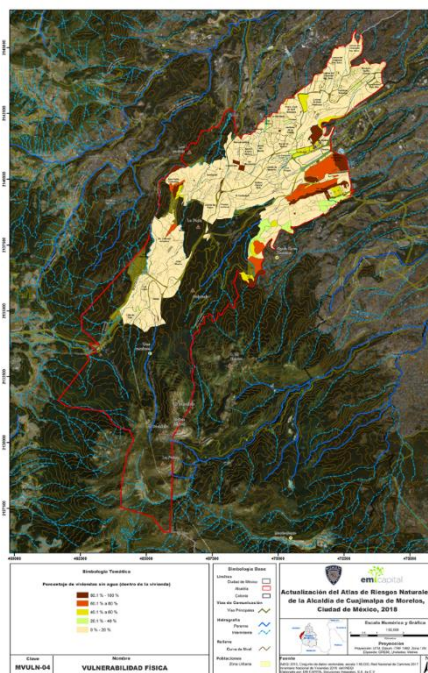
Tabla 12 Número de manzanas y porcentaje de viviendas según condición de acceso a agua entubada

Grado de Vulnerabilidad	No. de manzanas	Porcentaje de viviendas por manzana (%)	Porcentaje que representan respecto al total de manzanas (%)
Muy Alta	65	80.1 a 100	6
Alta	15	60.1 a 80	1
Moderada	22	40.1 a 60	2
Baja	36	20.1 a 40	3
Muy Baja	893	0 a 20	86

Fuente: EM Capital, con datos del Inventario Nacional de Viviendas 2016 INEGI

La distribución espacial de vulnerabilidad según la condición de acceso a agua entubada, por manzana se muestra en la siguiente figura.

Imagen 15 Distribución espacial de manzanas con mayor porcentaje de viviendas sin agua entubada



Fuente: EM Capital, con datos del Inventario Nacional de Viviendas 2016 INEGI

2.1.1.5 Viviendas que no disponen de drenaje

La humedad proveniente del suelo daña en forma importante las construcciones de albañilería y de hormigón armado ya que ambos materiales, dada su consistencia, absorben fluidos a través de vacíos de pequeño diámetro que quedan en el interior de los elementos constructivos. Esta característica permite el ascenso del agua a través de cimientos, sobrecimientos o muros que quedan en contacto directo con suelos húmedos, causando graves problemas de habitabilidad en las edificaciones. El equilibrio hídrico de un muro por ejemplo, se efectúa si en él entra por su base, tanta agua como la que se evapora por sus caras (Fernández Curotto, J.P; 2008). Si este equilibrio no se da, entonces se pueden presentar importantes daños en la vivienda como:

- Criptoflorescencias: Desprendimiento de la superficie de piedras, degradación de la superficie visible de ladrillos y morteros.
- Putrefacción en elementos de madera u otros materiales.
- Corrosión de elementos metálicos.
- Crecimiento de mohos y hongos que inciden en la estructura.
- Eflorescencias: manchas, generalmente blancas, que aparecen frecuentemente en las superficies de los muros afectados por humedad, por mencionar los más característicos.

En uno de los recorridos en campo se pudo evidenciar cómo la falta o deficiencia en el servicio de drenaje afecta gravemente a las viviendas, en la siguiente figura, se observa una imagen general del baño de una vivienda ubicada en Calle Porfirio Díaz No. 9 de la localidad de San Pablo Chimalpa, el deterioro de los materiales con los que está construido es evidente y se observan muros con daños y desprendimiento de materiales, así como una cantidad importante de hongos.

Imagen 16 Vista interior de una vivienda ubicada en Calle Porfirio Díaz No. 9 con deficiencias en su sistema de drenaje



Fuente: EM Capital, levantamiento en campo

Cuajimalpa aún cuenta con 54 manzanas en donde el 80 o 100% de las viviendas carecen de servicio de drenaje, esta situación hace que el nivel de vulnerabilidad física se incremente, para fenómenos como el de inundación. El cuadro siguiente muestra el número de manzanas con relación a su grado de vulnerabilidad.

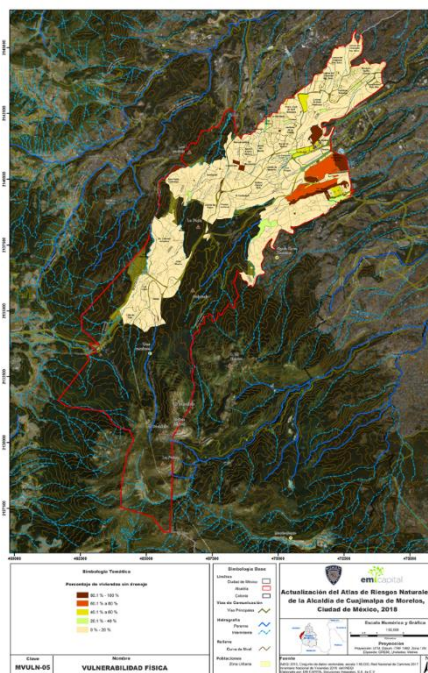
Tabla 13 Número de manzanas y porcentaje de viviendas según condición de acceso a drenaje

Grado de Vulnerabilidad	No. de manzanas	Porcentaje de viviendas por manzana (%)	Porcentaje que representan respecto al total de manzanas (%)
Muy Alta	54	80.1 a 100	5
Alta	10	60.1 a 80	1
Moderada	15	40.1 a 60	1
Baja	27	20.1 a 40	3
Muy Baja	925	0 a 20	90

Fuente: EM Capital, levantamiento en campo

La distribución espacial de vulnerabilidad según la condición de acceso a drenaje, por manzana, es la siguiente.

Imagen 17 Distribución espacial de manzanas con mayor porcentaje de viviendas sin drenaje



2.1.1.6 Viviendas que no disponen de excusado

Finalmente, la disponibilidad de un excusado, advierte una mayor vulnerabilidad de las viviendas pues da indicios de que el nivel socioeconómico de quienes ahí habitan es bajo, y se ven obligados a direccionar sus ingresos en solventar necesidades básicas como la alimentación, en lugar de gastar en mejoras para la vivienda. En Cuajimalpa, hay 55 manzanas en las que del 80 al 100% de las viviendas no cuentan con excusado, como se muestra en el siguiente cuadro:

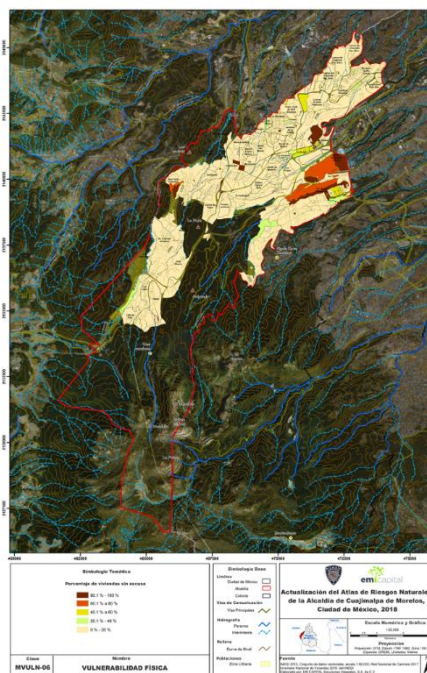
Tabla 14 Número de manzanas y porcentaje de viviendas según condición de acceso excusado

Grado de Vulnerabilidad	No. de manzanas	Porcentaje de viviendas por manzana (%)	Porcentaje que representan respecto al total de manzanas (%)
Muy Alta	55	80.1 a 100	5
Alta	11	60.1 a 80	1
Moderada	14	40.1 a 60	1
Baja	28	20.1 a 40	3
Muy Baja	923	0 a 20	89

Fuente: EM Capital, con datos del Inventario Nacional de Viviendas 2016 INEGI

Se muestra la distribución espacial de vulnerabilidad según la condición de acceso a excusado.

Imagen 18 Distribución espacial de manzanas con mayor porcentaje de viviendas sin excusado



En resumen, podemos afirmar que el problema de acceso a opciones de vivienda digna, incentiva la generación de asentamientos humanos en condiciones de pobreza, en áreas potencialmente inestables; de esta forma tenemos condiciones de peligro, aunado a una alta vulnerabilidad física y social, en suma tenemos lo que se determina como la construcción social del riesgo. Esta conjugación de factores evidentemente termina magnificando las consecuencias de un desastre natural en la zona.

2.1.1.7 Análisis de vulnerabilidad Física considerando elementos del entorno

En el Inventario Nacional de Viviendas 2016, se asigna una clave numérica (1 al 5) que permite identificar si las manzanas, cuentan o no, con los elementos del entorno que inciden en la vulnerabilidad en las viviendas y su cobertura. Dado que se busca identificar de forma cuantitativa la vulnerabilidad, se asignó un valor a cada una de las variables.

Tabla 15 Valor asignado a elementos del entorno para las manzanas

Clasificación de las manzanas de acuerdo a las vialidades que cuentan con algún tipo de recubrimiento en las calles (asfalto, concreto, adoquines o piedras).		
Cobertura	Clave	Valor
Todas las vialidades	1	3
Alguna vialidad	2	2
Ninguna vialidad	3	1
No especificado	4	0
Conjunto habitacional	5	0

Clasificación de las manzanas de acuerdo a las vialidades que cuentan con alumbrado público.		
--	--	--

Todas las vialidades	1	3
Alguna vialidad	2	2
Ninguna vialidad	3	1
No especificado	4	0
Conjunto habitacional	5	0

Clasificación de las manzanas de acuerdo a las vialidades que cuentan con banqueteta.

Todas las vialidades	1	3
Alguna vialidad	2	2
Ninguna vialidad	3	1
No especificado	4	0
Conjunto habitacional	5	0

Fuente: EM Capital, con datos del Inventario Nacional de Viviendas 2016 INEGI

Posteriormente se suman y normalizan los valores obtenidos por manzana, de tal forma que el valor máximo que puede obtener una manzana es 9 (todas las vialidades cuentan con los elementos del entorno) y el mínimo es 3 (ninguna vialidad cuenta con los elementos del entorno). La normalización se realizó con base en la siguiente expresión algebraica:

$$N = (V - V_{\min}) / V_{\max}$$

Donde:

V = Suma de los valores por manzana

V_{\min} = Valor mínimo que puede obtener una manzana

V_{\max} = Valor máximo que puede obtener una manzana

Tabla 16 Ejemplo del manejo de los datos

MZA	CLAVE DEL INVENTARIO NACIONAL DE VIVIENDAS 2016			VALOR ASIGNADO A LAS VARIABLES			Suma de valores	Normalización	Grado de Vulnerabilidad considerando elementos del entorno
	Vialidades que cuentan con algún tipo de recubrimiento	Vialidades que cuentan con alumbrado público	Vialidades que cuentan con banquetas	Valor de vialidades que cuentan con algún tipo de recubrimiento	Valor de vialidades que cuentan con alumbrado público	Valor de vialidades que cuentan con banquetas			
09004002A001	1	1	1	3	3	3	9	1	Muy Baja
90040049001	1	1	2	3	3	2	8	1	Baja
90040053001	1	1	1	3	3	3	9	1	Muy Baja
90040072001	1	1	2	3	3	2	8	1	Baja
90040091001	1	1	2	3	3	2	8	1	Baja
90040354001	1	2	2	3	2	2	7	1	Baja
90040392001	2	2	3	2	2	1	5	0	Moderada
90040250037	3	2	3	1	2	1	4	0	Moderada

Fuente: EM Capital, con datos del Inventario Nacional de Viviendas 2016 INEGI

Finalmente, con base en los percentiles 25, 50 y 75 de los resultados normalizados por manzana, se establecieron los rangos de vulnerabilidad.

Tabla 17 Rangos de vulnerabilidad considerando elementos del entorno

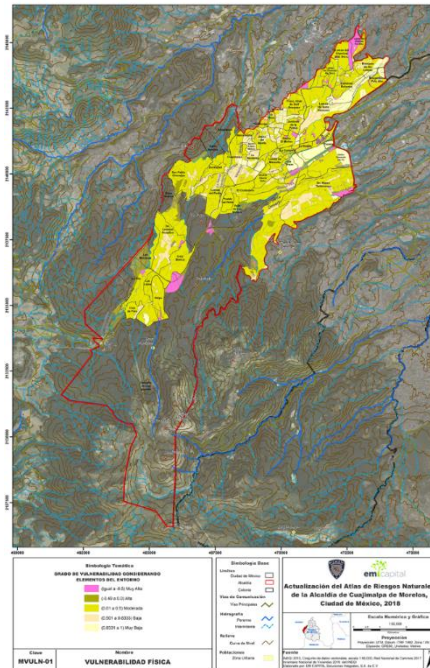
Rangos de Vulnerabilidad	Clase de Vulnerabilidad
Igual a - 0.5	Muy Alta
De -0.49 a 0.0	Alta
De 0.01 a 0.5	Moderada
De 0.501 a 0.8333	Baja
De 0.8331 a 1.0	Muy Baja

Los resultados del análisis de vulnerabilidad física para la alcaldía muestran que el grueso de las manzanas evaluadas están clasificadas con un grado de vulnerabilidad Moderado y Muy Alta, distribuidos de forma heterogénea por todo el territorio:

Tabla 18 Número de manzanas y su grado de vulnerabilidad considerando elementos del entorno

Grado de Vulnerabilidad considerando elementos del entorno	No. de Manzanas
Alta	9
Baja	228
Moderada	328
Muy Alta	314
Muy Baja	154

Imagen 19 Distribución espacial de las manzanas y su grado de vulnerabilidad considerando elementos del entorno



2.1.2 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD PARA INUNDACIONES

El análisis de vulnerabilidad por inundación para Cuajimalpa, se realiza a partir de la información del Censo de Población y Vivienda 2010, en virtud de que, tras realizar una búsqueda de información actualizada, por vivienda o manzana, no es posible relacionar las claves de los datos del Intercensal 2015 del INEGI y el Inventario Nacional de Viviendas 2016 también de INEGI.

Dado que los daños generados en una inundación no repercuten en la parte estructural del inmueble, sino más bien en sus contenidos (menaje), debemos señalar que la vulnerabilidad de las viviendas está en función de dos variables:

1. Los contenidos (menaje) que tienen los inmuebles, determinados en función de una Tipología de viviendas.
2. El porcentaje de daño de las viviendas, con respecto al nivel (tirante) alcanzado por el agua al interior de una vivienda.

2.1.2.1 Tipificación de la Vivienda

Para establecer cuál es el menaje de las viviendas, el primer paso es establecer su tipología; para ello, se emplearon tres grupos de variables que representan sus características:

- Elementos de servicios básicos
- Elementos físicos de las viviendas
- Elementos del menaje

Una vez realizado el análisis, se definieron cinco grupos de viviendas con las características que se observan en la siguiente tabla:

Tabla 19 Tipológica de viviendas y menaje

TIPOLOGÍA DE VIVIENDA	ELEMENTOS DE SERVICIOS BÁSICOS		ELEMENTOS FÍSICOS DE LA VIVIENDA				ELEMENTOS DEL MENAJE DE LA VIVIENDA							
	Electricidad	Drenaje	Piso de tierra	Tienen 1 cuarto	Tienen 2 cuartos	Tiene 3 o más cuartos	Radio	T.V.	Refrigerador	Lavadora	Auto	Equipo de cómputo	Telefonía fija	Internet
Precaria	*	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No	No
Económica	Sí	*	*	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No
Regular	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	*	*
Buena	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	*	Sí	*	*
Lujo	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: EM Capital, con datos del Inventario Nacional de Viviendas 2016 INEGI

Así pues, se construyen grupos de vivienda y se establecen los grados de vulnerabilidad del siguiente modo:

Tabla 20 Descripción de tipología de vivienda

TIPOLOGÍA DE VIVIENDA		CLASE DE VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS AGRUPADAS
Tipo I	Precaria	Muy Alta	sin luz, piso de tierra, un solo cuarto
			con luz, sin drenaje, piso de tierra, un solo cuarto, con T.V. y radio
			con luz, sin drenaje, piso de tierra, dos cuartos, con T.V y radio
			con luz, sin drenaje, piso de tierra, un solo cuarto, solo con T.V.
			con luz, sin drenaje, piso de tierra, un solo cuarto, solo con radio
			con luz, sin drenaje, piso de tierra, dos cuartos, solo con T.V.
			con luz, sin drenaje, piso de tierra, dos cuartos, solo con radio
Tipo II	Económica	Alta	con luz, sin drenaje, piso de tierra, un solo cuarto, con radio, T.V., y refrigerador
			con luz, sin drenaje, piso de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., y refrigerador
			con luz, sin drenaje, piso diferente a tierra, un solo cuarto, con radio, T.V., y refrigerador
			con luz, sin drenaje, piso diferente de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., y refrigerador
			con luz, con drenaje, piso de tierra, un solo cuarto, con radio, T.V., y refrigerador
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, un solo cuarto, con radio, T.V., y refrigerador
			con luz, con drenaje, piso de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., y refrigerador
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., y refrigerador
Tipo III	Regular	Moderada	con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, solo tiene un cuarto, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, con telefonía, sin internet, sin auto y sin equipo de cómputo
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, solo tiene un cuarto, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, sin telefonía, con internet, sin auto y sin equipo de cómputo
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, con telefonía, sin internet, sin auto y sin equipo de cómputo
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, sin telefonía, con internet, sin auto y sin equipo de cómputo
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, tres cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, con telefonía, sin internet, sin auto y sin equipo de cómputo
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, tres cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, sin telefonía, con internet, sin auto y sin equipo de cómputo
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, un solo cuarto, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, con telefonía, con internet, sin auto y sin equipo de cómputo
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, un solo cuarto, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, con telefonía, con internet, sin auto y sin equipo de cómputo

			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, con telefonía, con internet, sin auto y sin equipo de cómputo
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, tres cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, con telefonía, con internet, sin auto y sin equipo de cómputo
Tipo IV	Buena	Baja	con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, con auto, con equipo de cómputo, sin telefonía, sin internet
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, tres cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, con auto, con equipo de cómputo, sin telefonía, sin internet
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, sin auto, con equipo de cómputo, sin telefonía, con internet
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, tres cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, sin auto, con equipo de cómputo, sin telefonía, sin internet
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, sin auto, con equipo de cómputo, con telefonía, sin internet
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, tres cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, sin auto, con equipo de cómputo, con telefonía, sin internet
Tipo V	Lujo	Muy Baja	con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, dos cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, auto, equipo de cómputo, telefonía e internet
			con luz, con drenaje, piso diferente de tierra, tres cuartos, con radio, T.V., refrigerador, lavadora, auto, equipo de cómputo, telefonía e internet

Fuente: EM Capital, con datos de levantamientos en campo

Una vez definido el tipo de vivienda, sus características y contenidos, se determina el porcentaje de daño en función de la altura del tirante de agua, y la clasificación de la vivienda, con base en los datos de la Metodología para la Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones en Zonas Urbanas del CENAPRED, como se muestra en el siguiente cuadro:

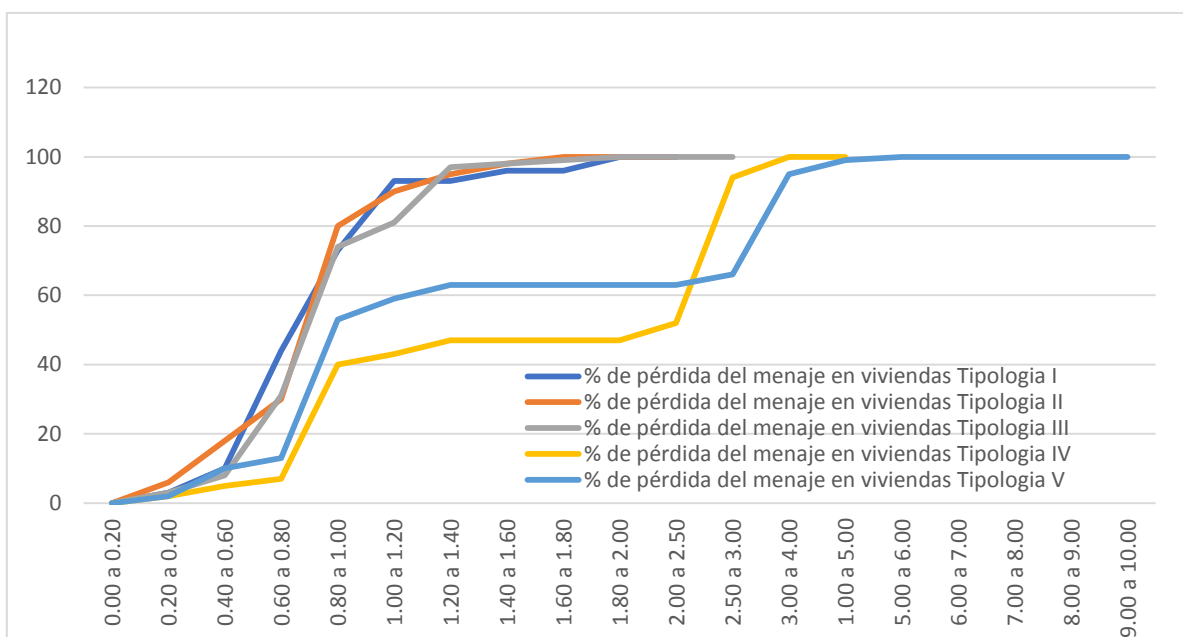
Tabla 21 Porcentaje de daños con respecto a la tipología de la vivienda

Elevación (m)	% de pérdida del menaje en viviendas Tipología I	% de pérdida del menaje en viviendas Tipología II	% de pérdida del menaje en viviendas Tipología III	% de pérdida del menaje en viviendas Tipología IV	% de pérdida del menaje en viviendas Tipología V
0.00 a 0.20	0	-	-	0	0
0.20 a 0.40	3	6	3	2	2
0.40 a 0.60	10	18	8	5	10
0.60 a 0.80	44	30	31	7	13
0.80 a 1.00	73	80	74	40	53
1.00 a 1.20	93	90	81	43	59
1.20 a 1.40	93	95	97	47	63
1.40 a 1.60	96	98	98	47	63
1.60 a 1.80	96	100	99	47	63
1.80 a 2.00	100	100	100	47	63
2.00 a 2.50	100	100	100	52	63
2.50 a 3.00	-	-	100	94	66
3.00 a 4.00	-	-	-	100	95
1.00 a 5.00	-	-	-	100	99
5.00 a 6.00	-	-	-	-	100
6.00 a 7.00	-	-	-	-	100
7.00 a 8.00	-	-	-	-	100
8.00 a 9.00	-	-	-	-	100

9.00 a 10.00	-	-	-	-	100
--------------	---	---	---	---	-----

Fuente: EM Capital, con datos de CENAPRED

Imagen 20 Función de vulnerabilidad para Inundaciones en Cuajimalpa



Fuente: EM Capital, con datos de CENAPRED

Dado que los datos del ITER, 2010, están representados por manzana, se define un grado de vulnerabilidad para inundaciones, en función del porcentaje de viviendas que cumplen con las características definidas para cada tipología de vivienda. El resultado final se muestra a continuación.

Tabla 22 Grado de vulnerabilidad para inundaciones por manzana

No. de manzanas	Tipología de la vivienda		Grado de vulnerabilidad para inundación por manzana
	Tipo	Característica	
54	Tipo I	Precaria	Muy Alta
57	Tipo II	Económica	Alta
352	Tipo III	Regular	Moderada
411	Tipo IV	Buena	Baja
132	Tipo V	Lujo	Muy Baja

Fuente: EM Capital, con datos de CENAPRED

La figura muestra la distribución espacial de las manzanas clasificadas con base en su grado de vulnerabilidad.

2.1.3 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (PRM)

De acuerdo con el marco propuesto en la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, elaborado por el Servicio Geológico Colombiano (2016), el análisis de vulnerabilidad física para PRM, debe considerar la respuesta de los elementos expuestos y las fuerzas de empuje de los materiales. Es por ello que la intensidad, y por consiguiente el nivel esperado de daños de este fenómeno, está dado por dos aspectos fundamentales:

- Características del elemento (tipología de la vivienda)
- Posición relativa con respecto al área afectada por el evento (exposición)

Para evaluar las características de elemento se definieron, con base en los recorridos en campo y datos estadísticos de vivienda del INEGI 2010 y 2017, cinco clases de vivienda con base en las siguientes características:

Tabla 23 Tipología de la vivienda para Cuajimalpa

Tipología vivienda	Descripción
Tipo I. Vivienda PRECARIA	Viviendas de materiales reciclados, madera o adobe, un nivel, 1-2 habitaciones, con luz y agua, puede o no tener drenaje y piso de tierra.
Tipo II. Vivienda ECONÓMICA	Viviendas de Mampostería (Roca, tabique, ladrillo) no confinada, 2-3 niveles, 2-3 habitaciones con luz y agua, puede o no tener drenaje y piso de tierra o diferente material.
Tipo III. Vivienda REGULAR	Viviendas de Mampostería (tabique o ladrillo) confinada, de 2-3 niveles o más, 2-3 habitaciones o más, luz, agua, puede o no tener drenaje, piso diferente a tierra.
Tipo IV. Vivienda BUENA	Viviendas de Concreto o Mampostería (tabique o ladrillo) confinada, de 1 a más de 3 niveles, 1 a más de 3 habitaciones, con servicios básicos, y piso diferente a tierra.
Tipo V. Vivienda de LUJO	Viviendas de Concreto o Mampostería (tabique o ladrillo) confinada, de 1 a más de 3 niveles, 1 a más de 3 habitaciones, con servicios básicos, y piso diferente a tierra y acabados de lujo.

Fuente: EM Capital, con datos de levantamiento en campo

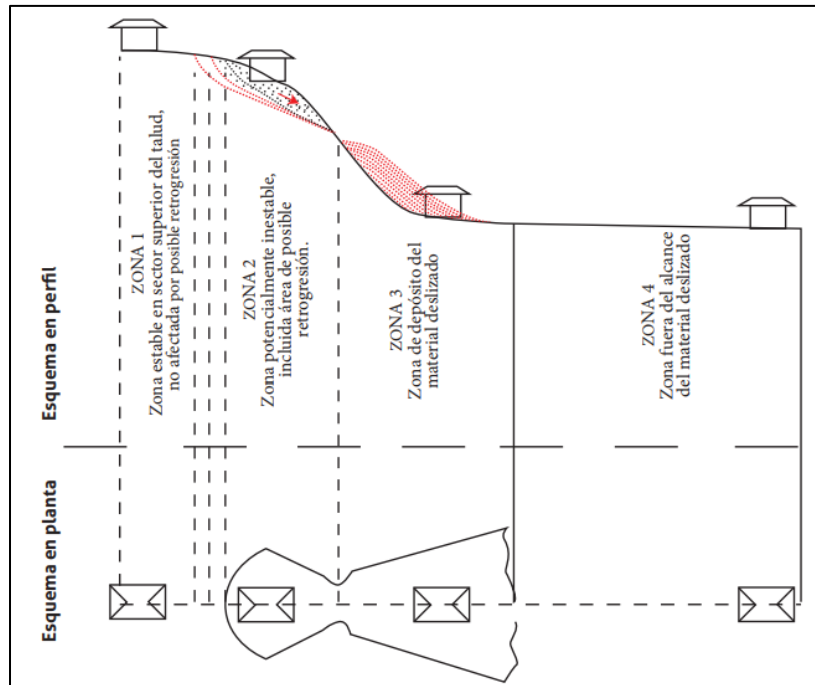
Para la evaluación del grado de exposición, el Servicio Geológico Colombiano ha definido cuatro zonas o escenarios como se detalla en el siguiente cuadro y se muestra en la siguiente figura:

Tabla 24 Grado de exposición con base en la posición relativa de los sistemas expuestos

Zona	Descripción	Daños esperados
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, con muy baja probabilidad de afectaciones por retrogresión.	Se prevén daños menores, no con motivo del PRM, si no como resultado del mismo (vibraciones, reacomodo de suelo, etc.), sobre todo en viviendas T1
2	Elementos ubicados sobre la corona de una ladera potencialmente inestables, potencialmente afectados por efectos de retrogresión	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos, para viviendas, sin importar su tipología.
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, etc., en nivel de daño se correlaciona con la Tipología de la vivienda.
4	Elementos ubicados fuera del alcance del PRM y su área de depósito	No se presentan daños debido al PRM

Fuente: EM Capital, con datos Servicio Geológico Colombiano

Imagen 22 Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2016

Dada la tipificación de la vivienda y su grado de exposición, se plantea que el máximo nivel de daño en las viviendas, generado por un PRM puede ser el siguiente:

Tabla 25 Porcentaje de daños estimados para PRM

Tipología de la vivienda	Grado de exposición			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
	Mínimo porcentaje (%) de daño			
T1. Precaria	0	1	1	0
T2. Económica	0	1	1	0
T3. Regular	0	1	1	0
T4. Buena	0	1	1	0
T5. Lujo	0	1	0	0

2.1.4 FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD POR SISMO EN SAN PABLO CHIMALPA

La sismicidad es un fenómeno que, tras los eventos del pasado 19 de septiembre, cobra especial importancia en la alcaldía, pues en solo cinco años (2013, elaboración del Atlas de Riesgos) éste fenómeno causó más pérdidas económicas que otros.

La manera formal de evaluar la vulnerabilidad ante cualquier fenómeno, es a través de funciones del mismo nombre, es decir, expresiones matemáticas que tratan de establecer una relación entre las variables de intensidad o magnitud del evento y el nivel de daño, de los bienes o sistemas expuestos.

Para identificar la relación entre la intensidad y el nivel de daños causados por el sismo de septiembre 2017, primeramente se analizaron las bases de datos generadas por el personal de Protección Civil de la alcaldía (**Anexo A**), con el propósito de identificar la(s) zona(s) en donde se concentraron los daños. Este primer análisis, determinó que San Pablo Chimalpa, es la zona donde se concentra la mayor cantidad de daños, por lo que la función de vulnerabilidad propuesta en este trabajo, es específica para esta localidad.

Una vez ubicada la zona de estudio, e identificado el universo de viviendas que reportaron algún tipo de daño, se georreferenciaron y mapearon con el objetivo de conocer su distribución espacial. Paralelo a estos trabajos, se diseñó una ficha técnica (**Anexo B**), que fue empleada en los trabajos de campo, por medio de la cual se obtuvieron datos como:

- Materiales de construcción de las viviendas
- Sistema Constructivo
- Características generales de las viviendas (niveles, número de habitantes, acceso a servicios básicos, presencia de grupos altamente vulnerables, etc.)
- Menaje de las viviendas (Bienes)
- Nivel de daño en viviendas (con base en la clasificación de daños establecida en la escala macro-sísmica europea)

Asimismo, la ficha permitió conocer la intensidad del evento, al hablar de intensidad nos referimos a la forma en que las personas perciben el fenómeno, para ello, se empleó la escala de Mercalli, modificada, (Wood & Neumann, 1931).

Por otra parte, con el propósito de cotejar los datos de la base de datos de Protección Civil, se realizaron cuatro jornadas de campo, en las que se visitó una muestra representativa de las viviendas con algún tipo de daño, equivalente al 44.5% respecto al total de viviendas reportadas por P.C., y se hicieron los levantamientos correspondientes.

Tabla 26 Número de viviendas afectadas y su clasificación de nivel de daño

Número total de viviendas en Cuajimalpa con algún tipo de daño, censadas por P.C.	242					
Número total de viviendas en San Pablo Chimalpa	2663					
Número de viviendas en San Pablo Chimalpa con algún tipo de daño, censadas por P.C	145		Alta	Media	Baja	
			53	24	64	
Número de viviendas en San Pablo Chimalpa con algún tipo de daño, censadas por EM	65	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
		7	26	16	11	5

Fuente: EM Capital, con datos Coordinación de Protección Civil, alcaldía de Cuajimalpa y levantamiento en campo

Con los datos obtenidos en campo, y considerando que la vulnerabilidad ante sismos tiene una correlación directa con las características de los inmuebles, se realiza una tipificación del tipo de sistemas expuestos. Para el caso particular de Chimalpa, y con base en la clasificación propuesta de CENAPRED, la totalidad de los sistemas identificados son Tipo I, como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 27 Clasificación de los Sistemas Expuestos

Tipos de Sistemas Expuestos	
Tipo I	Casas para habitación unifamiliar, construidas con muros de mampostería simple o reforzada, adobe, madera o sistemas prefabricados
Tipo II	Edificios para vivienda, oficinas, y escuelas, construidos con concreto reforzado, acero, mampostería reforzada o sistemas prefabricados
Tipo III	Construcciones especiales, teatros, auditorio, iglesias, naves industriales, construcciones antiguas
Tipo IV	Sistemas de gran extensión o con apoyos múltiples como puentes
Tipo V	Tuberías superficiales o enterradas

Fuente Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)

Dado el tipo de sistemas expuestos, se realiza una tipificación de la vivienda, considerando entre otras variables, el tipo de materiales, número de niveles, número de habitaciones, acceso a servicios, materiales del piso en la vivienda, entre otros. Esto con la finalidad de identificar cuáles son los patrones constructivos más representativos en Chimalpa. La hipótesis inicial, advierte que el nivel de daños es mayor en donde la tipología de la vivienda es menor, acorde con la siguiente tabla.


Tabla 28 Tipología de la vivienda propuesta

Tipología de la vivienda		Descripción
Tipo I	PRECARIA MATERIALES RECICLADOS	Viviendas de materiales reciclados (madera, lonas, láminas, etc.), de un solo nivel, y de 1-2 habitaciones, y piso de tierra.
Tipo II	PRECARIA ADOBE	Viviendas de adobe de un solo nivel, y de 1-2 habitaciones, con piso de tierra o diferente material.
Tipo III	ECONOMICA	Viviendas de mampostería (roca, tabique o ladrillo) no confinada, de 2-3 niveles, 2-3 habitaciones o más, piso diferente a tierra.
Tipo IV	REGULAR	Viviendas de mampostería (roca, tabique o ladrillo) confinadas, de 2-3 niveles o más, 2-3 habitaciones o más, piso diferente a tierra.
Tipo V	BUENA	Viviendas de concreto o mampostería (tabique o ladrillo) confinada de 1 a más niveles, 1 a más de 3 habitaciones, piso diferente a tierra.

Fuente: EM Capital Soluciones Integrales

Los trabajos en campo permitieron identificar los porcentajes de daños mínimos y máximos, en relación con la tipología de la vivienda, basado en una metodología sólida y de sencilla aplicación, como es la clasificación de la Escala Macrosísmica.

Tabla 29 Clasificación del nivel de daños (MACROSEISMIC INTENSITY SCALE).

<p>Grado 1. Sin daños a daños leves (sin daño estructural, daño no estructural leve). Grietas muy delgadas en muy pocos muros. Caída de pequeños pedazos de enlucido o acabados. Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.</p>	
<p>Grado 2. Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado). Grietas en muchos muros. Caída de pedazos grandes de acabados. Colapso parcial de Chimeneas o elementos esbeltos adosados a la estructura principal.</p>	
<p>Grado 3. Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo). Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas o elementos ornamentales. Fractura de las chimeneas o bóvedas de iglesias en la línea del techo; fallo de los elementos individuales no estructurales.</p>	
<p>Grado 4. Daños muy severos (daño estructural severo, daño no estructural muy severo). Fallo serio de los muros; fallo estructural parcial de techos y pisos.</p>	
<p>Grado 5. Destrucción (daño estructural muy severo). Colapso total o casi total.</p>	

Fuente: Instituto Geográfico Nacional, Gobierno de España

El equipo multidisciplinario que participó en las jornadas de campo identificó lo que se muestra en la siguiente tabla

Tabla 30 Zonas y escenarios de exposición

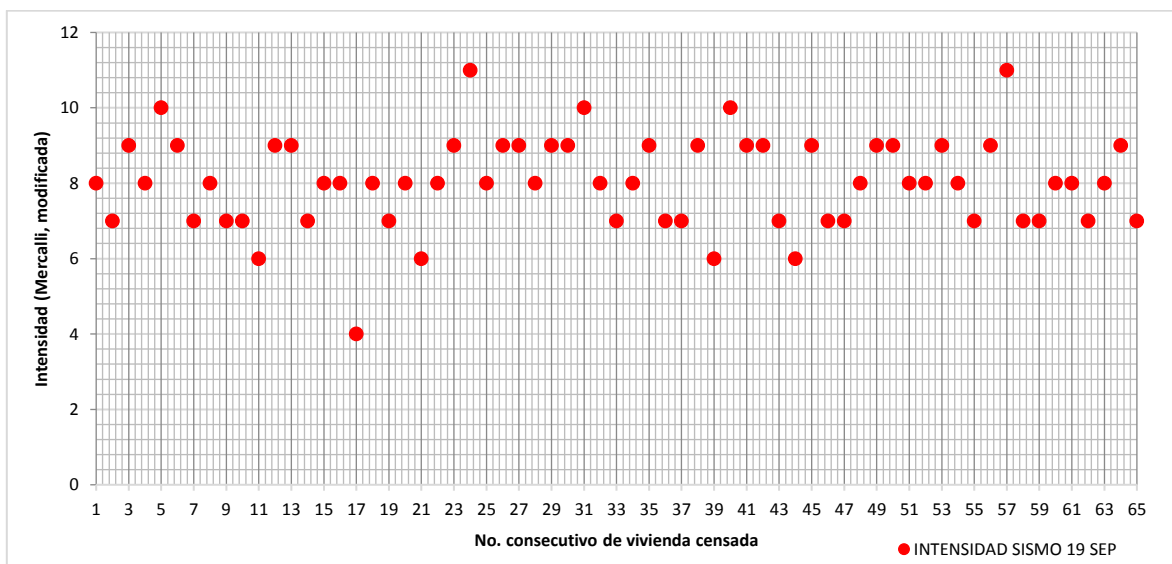
Tipología de vivienda	Definición de nivel de daño mínimo o máximo
T1 Precaria MR y T2 Precaria Adobe	El porcentaje de daños por el sismo del 19's es igual a 1, es decir daño total, para estas dos tipologías
T3 Económica	El porcentaje de daños por el sismo del 19's no rebasa el 0.45% de afectaciones en esta tipología.
T4 Regular	El porcentaje de daños por el sismo del 19's no rebasa el 0.30% de afectaciones en esta tipología.
T5 Buena	El porcentaje de daños por el sismo del 19's no rebasa el 0.20% de afectaciones en esta tipología.

Fuente: EM Capital Soluciones Integrales

Finalmente, los valores de intensidad referidos por las personas entrevistadas, se promediaron por tipo de vivienda, para identificar cuál es el valor que un sismo como el del 19 de septiembre representa en la escala de Mercalli.

El promedio de intensidades, oscila entre los 7.3 para viviendas T4 y 8.1 para viviendas T3, por lo que se asume que la percepción del sismo en Chimalpa es de 8.0 en la escala de Mercalli modificada (ver siguiente figura).

Imagen 23 Valores de intensidad sísmica (Escala Mercalli, modificada) por vivienda



Fuente: EM Capital Soluciones Integrales

Se realiza una reclasificación de las intensidades con base en la información.

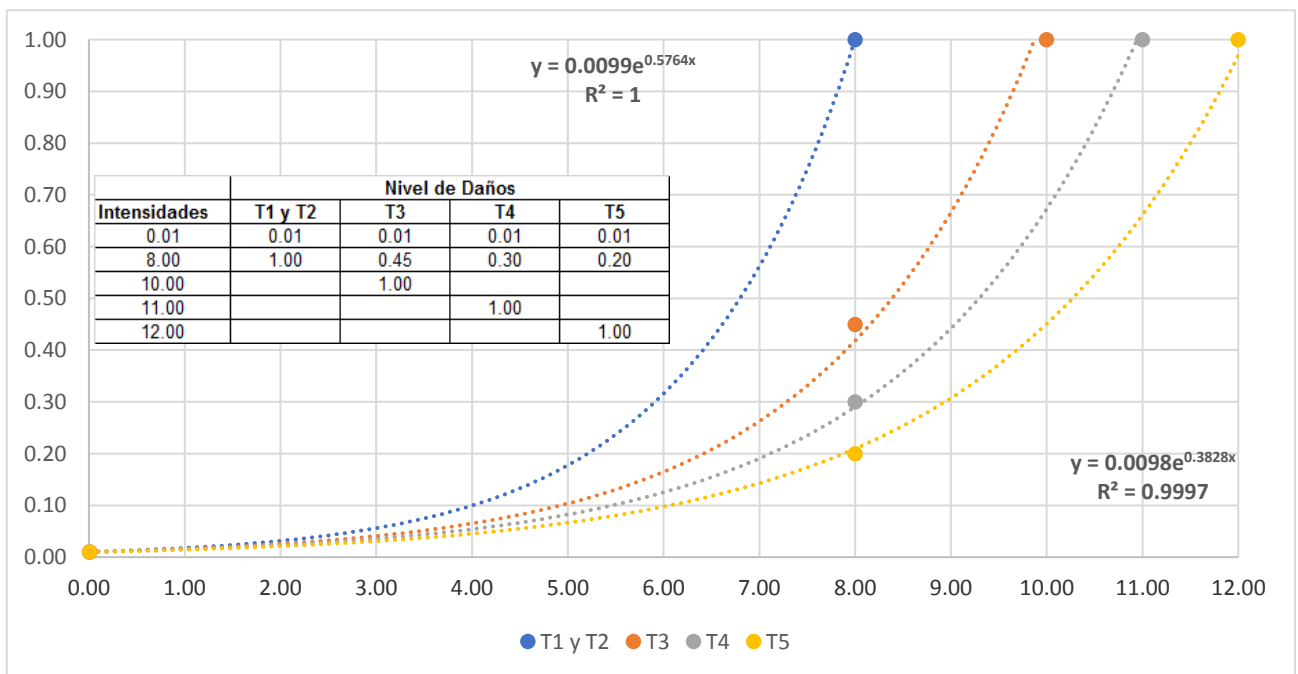
Tabla 31 Reclasificación de intensidades

Tipología intensidad de sismo (Mercalli)		Reclasificación
1	Imperceptible	Muy Baja
2	Muy leve	
3	Leve	
4	Moderado	Baja
5	Un poco fuerte	
6	Fuerte	Moderada
7	Muy Fuerte	
8	Destruccion	Alta
9	Ruinoso	
10	Desastroso	Muy Alta
11	Muy desastroso	
12	Catastrófico	

Fuente: EM Capital Soluciones Integrales

Una vez procesados los datos de los apartados anteriores, se propone la siguiente función de vulnerabilidad, en la que se ha tomado el nivel de intensidad igual a 8 como el que representa al evento del 19's y a partir del cual se correlacione el nivel de daño mínimo o máximo por tipo de vivienda, como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 24 Función de vulnerabilidad para sismos en San Pablo Chimalpa



La distribución espacial del nivel de daño con relación a la tipología de la vivienda y a las intensidades se presenta de manera consecuente.

Imagen 25 Distribución espacial intensidad V.S. tipología de la vivienda

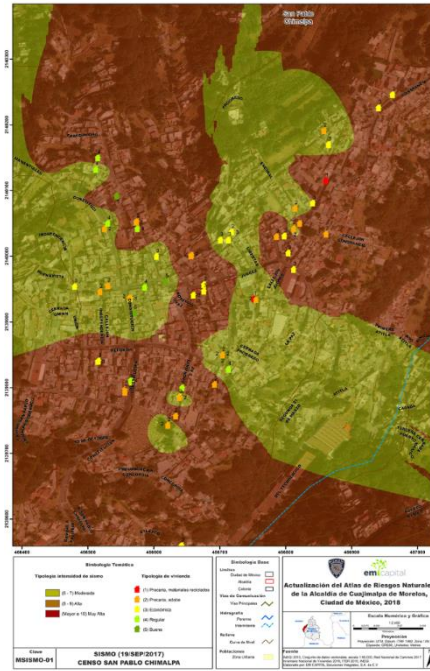
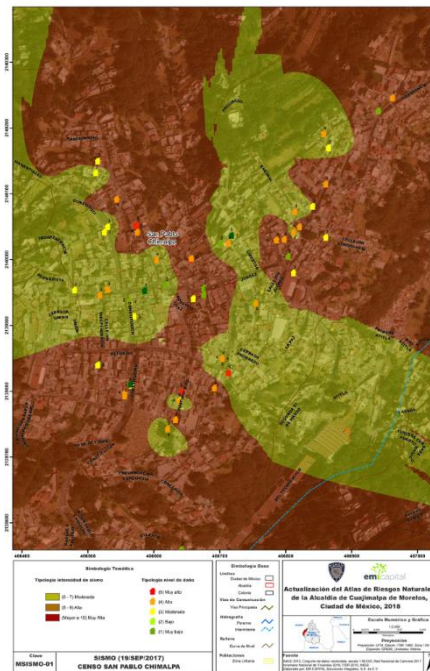


Imagen 26 Distribución espacial de intensidades V.S. nivel de daños



2.2 Vulnerabilidad Social

A través del tiempo el concepto de Vulnerabilidad Social se ha relacionado estrechamente con estudios de pobreza y marginación, sin embargo, diversos autores han llegado a la conclusión de que la Vulnerabilidad Social es aquella propensión que tiene la población de caer, en un momento determinado, en una condición de pobreza y/o marginación.

Por otro lado autores como Kuroiwa (2002), mencionan que, el grado de vulnerabilidad social de una población es consecuencia directa de factores como: empobrecimiento, incremento demográfico y de la urbanización acelerada y sin planeación característica de grandes Ciudades, por lo que el autor define la Vulnerabilidad Social como una serie de factores económicos, sociales y culturales que determinan el grado en el que un grupo social está preparado para responder a un desastre.

Tomando como base estas ideas, para fines de este estudio, se entiende por Vulnerabilidad Social al conjunto de características sociales y económicas de una población, susceptible de sufrir daño en su persona o bienes que posea, a consecuencia de algún fenómeno natural.

El análisis actualizado de Vulnerabilidad Social de Cuajimalpa, se realizó con base el proceso metodológico planteado por CENAPRED en su Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, apartado de Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social, de la Serie Atlas Nacional de Riesgos, sin embargo, dado que la información oficial (base de datos) no tiene el desglose y detalle necesario para este análisis, se realizaron modificaciones metodológicas, que se irán detallando y describiendo en este apartado. El análisis de la Vulnerabilidad Social se realizó a nivel de AGEB's.

El 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 de la alcaldía.

2.2.1 Análisis de Vulnerabilidad Social

Para estimar el grado de Vulnerabilidad Social, se desarrolló una metodología consistente en cinco fases:

- **Fase I. Evaluación de Indicadores Socio-Económicos (I_{SE}):** permiten tener una aproximación del grado de vulnerabilidad de la población con base en sus condiciones sociales y económicas, la cual proporcionará un parámetro para medir las posibilidades de organización y recuperación después de un desastre.

Los indicadores Socio-Económicos que se eligieron para la elaboración de este estudio se dividen en tres grandes rubros: Salud, Educación, y Vivienda, ya que éstos influyen directamente sobre las condiciones básicas de bienestar y de desarrollo de los individuos y de la sociedad en general y fueron evaluados a nivel de AGEB's. Cada rubro está conformado a su vez por variables como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 32 Rubros y variables empleados en la evaluación de Indicadores Socio-Económicos

RUBRO	JUSTIFICACIÓN DE RUBRO	VARIABLES	JUSTIFICACIÓN DE VARIABLES
1.-Salud	Uno de los principales indicadores de desarrollo se refleja en las condiciones de salud de la población, por ello es necesario conocer la accesibilidad que ésta tiene a los servicios básicos de salud, así como la capacidad de atención de los mismos. La insuficiencia de servicios de salud refleja directamente parte de la vulnerabilidad de la población. Para esta metodología se incluyen 2 variables en este rubro.	1. Médicos por cada 1000 habitantes	La Secretaría de Salud indica que es aceptable que exista un médico por cada 1,000 habitantes, por lo que el indicador reporta la disponibilidad de médicos para atender a la población por cada 1,000 habitantes en un periodo determinado. La baja proporción de médicos se reflejará en las condiciones de salud de la población, lo que agudiza las condiciones de vulnerabilidad, situación que se podría acentuar en caso de emergencia o desastre.
		2. Porcentaje de la población no derechohabiente	Este indicador muestra el porcentaje de la población no derechohabiente, la cual es la que menos acceso tiene a servicios de salud y en consecuencia es la que en menor medida acude a las instituciones de salud, esta situación incide directamente en la vulnerabilidad de la población.
2.- Educación	Las características educativas influyen directamente en la adopción de actitudes y conductas preventivas y de autoprotección de la población, asimismo, pueden mejorar sus conocimientos sobre fenómenos y riesgos. Es un derecho fundamental de todo individuo el tener acceso a la educación y es una herramienta que influye en los niveles de bienestar del individuo. Para esta metodología se consideraron 2 variables en este rubro.	1. Porcentaje de analfabetismo	Además de las limitaciones directas que implica la carencia de habilidades para leer y escribir, es un indicador que muestra el retraso en el desarrollo educativo de la población, que refleja la desigualdad en el sistema educativo. La falta de educación es considerada como uno de los factores claves con respecto a la vulnerabilidad social.
		2. Grado promedio de escolaridad	Refleja a la población que cuenta con menos de nueve años de educación formal, la educación secundaria es obligatoria para la conclusión del nivel básico de educación. Se considerará a la población mayor de 15 años que no ha completado la educación secundaria como población con rezago educativo.
3.- Vivienda	La vivienda es el principal elemento de conformación del espacio social, ya que es el lugar en donde se desarrolla la mayor parte de la vida. La accesibilidad y las características de la vivienda determinan en gran medida la calidad de vida de la población. En relación con los desastres de origen natural, la vivienda es uno de los sectores que recibe mayores afectaciones. Los daños a la vivienda resultan ser, en algunos casos, uno de los principales parámetros para medir la magnitud de los desastres. Cuando el estado de una vivienda es precario, el número y la intensidad de los factores de riesgo que se presentan por diversos fenómenos resultan elevados y las amenazas a la salud de sus habitantes se elevan de igual manera. La vulnerabilidad de una vivienda, en una de sus tantas facetas, se reflejará tanto en los materiales de construcción, como en los servicios básicos con los que cuenta o de los que carece. Para efectos de esta metodología se han tomado seis indicadores que permitirán establecer el grado de vulnerabilidad de la población con respecto a la calidad de su vivienda.	1. Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada	La falta de agua entubada en caso de desastre puede llegar a retrasar algunas labores de atención, ya que el llevar al lugar agua que cumpla con las mínimas medidas de salubridad toma tiempo y regularmente la obtención y el almacenamiento de agua en viviendas que no cuentan con agua entubada se llevan a cabo de manera insalubre.
		2. Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje	La carencia de drenaje en una vivienda puede llegar a aumentar su vulnerabilidad frente a enfermedades gastrointestinales, las cuales en situaciones de desastre aumentan considerablemente.
		3. Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad	La falta de energía eléctrica aumenta la vulnerabilidad de las personas frente a los desastres naturales, ya que el no contar con este servicio excluye a la población de formas de comunicación, asimismo la capacidad de respuesta se puede retrasar.
		4. Porcentaje de viviendas con piso de tierra	Este indicador mostrará el número de viviendas que por las características del material con que fue construida puede ser vulnerable frente a cierto tipo de fenómenos.

Las fuentes de información empleadas para el desarrollo de este estudio, emanan de fuentes oficiales como:

- Datos por AGEB y Manzanas del Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI
- Resultados por AGEB de Encuesta Intercensal 2015, INEGI
- Base de datos por AGEB y Manzana del Inventario Nacional de Viviendas 2016, INEGI
- Estimaciones a nivel de AGEB del Índice de Rezago Social y Marginación de CONAPO, 2010

Los datos consultados (resultados) para cada variable se ubicaron en las tablas de rangos y valores propuestas por CENAPRED para cada rubro (estas pueden consultarse en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento, 2006), *por ejemplo, el porcentaje de población no derechohabiente para el AGEB No. 090040001002A, es de 32.98%, por lo tanto, se le asigna un valor de 0.00.*

Tabla 33 Rangos, condición de vulnerabilidad y valor asignado para el indicador de derechohabencia

Porcentaje de la población no derechohabiente			
Indicador/Pregunta	¿Qué porcentaje de la población no cuenta con derechohabencia a servicios de salud?	Condición de vulnerabilidad	Valor Asignado
Rangos	De 17.63 a 34.10	Muy Baja	0
	De 34.11 a 50.57	Baja	0
	De 50.58 a 67.04	Media	1
	De 67.05 a 83.51	Alta	1
	Más de 83.52	Muy Alta	1

Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento, 2006.

Como ya se ha mencionado, algunos datos no están disponibles a nivel de AGEB o Manzana, caso específico el del número de médicos por habitante, por tal motivo, se utilizaron los datos de a nivel alcaldía, que publicó el Gobierno del Distrito Federal, en los resultados de la Agenda Estadística 2016, en este caso los rangos y valores asignados son iguales para todas las AGEB's.

Se estima que el número de médicos totales en Cuajimalpa es de 174, en consecuencia, se asigna un valor de 0.25 a cada AGEB, es decir una condición de vulnerabilidad Baja.

Tabla 34 Rangos, condición de vulnerabilidad y valor asignado para el indicador de proporción de médicos

Proporción de médicos			
Indicador/Pregunta	¿Cuántos médicos existen por cada 1,000 habitantes?	Condición de vulnerabilidad	Valor Asignado
Rangos	De 0.20 a 0.39	Muy Alta	1
	De 0.4 a 0.59	Alta	1
	De 0.6 a 0.79	Media	1
	De 0.8 a 0.99	Baja	0
	Uno o más médicos	Muy Baja	0

Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento, 2006.

Para el procesamiento de datos, se suman los valores asignados de cada variable por rubro y para cada AGEB y se promedian dividiendo el resultado entre el número de variables. A continuación, se presenta un ejemplo del procesado de los datos para las tres primeras AGEB's:

- **Para Rubro Salud: Número de variables (2)**

AGEB	No. de médicos	Proporción de médicos	Valor Asignado	% de población sin derechohabiencia	Valor Asignado	Suma variables (Rubro Salud)	Promedio Variables (Rubro Salud)
090040001002A	174.00	0.93	0.25	32.98	0.00	0.25	0.13
900400010049	174.00	0.93	0.25	26.86	0.00	0.25	0.13
900400010053	174.00	0.93	0.25	34.34	0.25	0.50	0.13

- **Para Rubro Educación: Número de variables (2)**

AGEB	% de población 15 años y más analfabeta	Valor Asignado	Promedio Pesado de Grado Promedio de Escolaridad	Valor Asignado	Suma variables (Rubro Educación)	Promedio Variables (Rubro Educación)
090040001002A	3.70	0.00	9.22	0.25	0.25	0.13
900400010049	3.60	0.00	12.40	0.00	0.00	0.00
900400010053	3.90	0.00	10.20	0.00	0.00	0.00

- Para Rubro Vivienda: Número de variables (4)

AGEB	% viviendas sin agua	Valor Asignado	% viviendas sin drenaje	Valor Asignado	% viviendas sin electricidad	Valor Asignado	% viviendas con piso de tierra	Valor Asignado	Suma variables (Rubro Vivienda)	Promedio Variables (Rubro Vivienda)
090040001002A	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00
900400010049	11.35	0.00	9.81	0.00	0.21	0.00	2	0.00	0.00	0.00
900400010053	1.98	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00

Posteriormente se suman los promedios de cada variable, el resultado se divide entre el número de rubros y el resultado final es la calificación final de las variables socio-económicas, como se muestra a continuación:

AGEB	Promedio (Rubro Salud)	Promedio (Rubro Educación)	Promedio (Rubro Vivienda)	Suma de promedios por Rubro	Calificación final variables Socio-Económicas
090040001002A	0.13	0.13	0.00	0.25	0.08
900400010049	0.13	0.00	0.00	0.13	0.04
900400010053	0.13	0.00	0.00	0.13	0.04

- **Fase II. Indicadores de Marginación (I_M):** La marginación se asocia a la carencia de oportunidades sociales y a la ausencia de capacidades para adquirirlas o generarlas, pero también a privaciones e inaccesibilidad a bienes y servicios fundamentales para el bienestar.

En consecuencia, los territorios marginados enfrentan escenarios de elevada vulnerabilidad social cuya mitigación escapa del control personal o familiar (CONAPO, 2011 y 2012), pues esas situaciones no son resultado de elecciones individuales, sino de un modelo productivo que no brinda a todos las mismas oportunidades.

A lo largo del estudio se ha mencionado que la disponibilidad de datos, al nivel de detalle requerido no está disponible, es por ello que, al proceso metodológico original que plantea CENAPRED, se incorpora el Indicador de Marginación, estimado por CONAPO en 2010, pues este integra un análisis de variables que permiten diferenciar el grado de vulnerabilidad por AGEB como:

- Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta y Porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa
- Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares habitadas sin agua entubada
- Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica
- Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares habitadas con piso de tierra
- Porcentaje de ocupantes en viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento
- Porcentaje de población en localidades con menos de cinco mil habitantes
- Porcentaje de población ocupada con ingreso de hasta dos salarios mínimos

Al igual que para las variables socio-económicas, se ubicó el valor de la Marginación en una tabla de rangos y valores, para obtener una calificación final de este indicador:

Tabla 35 Rangos, condición de vulnerabilidad y valor asignado para el Índice de Marginación

Índice de Marginación			
Indicador/Pregunta	¿Cuál es el índice de marginación por AGEB?	Condición de vulnerabilidad	Valor Asignado
Rangos	De 1.059 a 6.041	Muy Alta	1.00
	De 0.050 a 1.059	Alta	0.75
	De -0.623 a 0.050	Media	0.50
	De -0.960 a -0.623	Baja	0.25
	De -1.633 a -0.960	Muy Baja	0.00

Se muestra a continuación el ejemplo para las tres primeras AGEB's:

AGEB	Índice de marginación urbana (CONAPO, 2010)	Grado de marginación urbana (CONAPO, 2010)	Valor asignado
090040001002A	-0.58	Medio	0.50
900400010049	-0.79	Bajo	0.25
900400010053	-0.71	Bajo	0.25

- **Fase III. Análisis de la Percepción local del Riesgo (P_{LR}):** El objetivo principal del apartado es conocer 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, ya que en muchas ocasiones la población no tiene una percepción clara del peligro que representa una amenaza de tipo natural en su localidad, lo que incide directamente en la capacidad de respuesta de la población ante un desastre.

Para el análisis de este apartado, se emplea el cuestionario de Percepción Local de Riesgo de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento, (CENAPRED, 2006), mismo que se aplica a través de una muestra no probabilística, al mayor número posible de personas.

El cuestionario consta de 25 preguntas, y se da un valor a cada respuesta, las preguntas del cuestionario se diseñaron con el objetivo de que a cada respuesta se le pueda asignar un valor entre 0 y 1.

El valor 0 se le asignará 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.

Dado que cada pregunta del cuestionario tiene un valor, se procede a su sumatoria en lo individual y posteriormente se suma el número final de todos los cuestionarios y se divide entre el total de cuestionarios que fueron aplicados, con ello se obtiene el valor promedio, que se ubica en la tabla de rangos y valores.

Para el caso de Cuajimalpa se levantaron un total de 70 encuestas, en siete diferentes localidades, la sumatoria de los resultados de cada una dio por resultado 806, es así que la Percepción Local del Riesgo en Cuajimalpa tiene un promedio general de 11.51, al que se le asigna un valor de 0.50, lo que indica una Percepción Local Media. A continuación, se presenta el concentrado de los resultados de los cuestionarios y la tabla de datos concentrados, condición de vulnerabilidad y valor asignado para la Percepción local del Riesgo.

Tabla 36 Puntajes derivados de encuestas de percepción local del riesgo

Localidad	Puntaje de encuesta										TOTAL
San Pablo Chimalpa	11.00	9.50	11.50	11.50	15.00	11.50	13.50	11.50	17.50	14.00	126.50
Jesús del Monte	11.50	11.75	10.50	13.00	15.00	13.25	9.00	13.75	11.00	15.00	123.75
Cola de Pato	16.75	11.00	15.50	15.50	14.00	13.25	11.00	15.50	14.00	13.50	140.00
San Mateo Tlaltenango	14.00	6.50	9.50	10.00	13.00	12.50	11.00	7.50	12.25	9.00	105.25
Bosque de la Loma	3.75	8.75	7.25	9.00	7.50	9.25	3.50	7.00	6.50	9.00	71.50
La Pila	9.50	15.50	13.25	11.00	7.50	9.25	13.50	9.25	11.75	10.50	111.00
Loma del Padre	13.50	13.50	15.00	12.00	12.50	10.50	11.50	10.50	14.50	14.50	128.00
Total de puntos en encuestas											806.00
Valor Promedio Final											11.51

Tabla 37 Rangos, condición de vulnerabilidad y valor asignado para la Percepción Local del Riesgo

Rangos	Percepción Local	Valor según condición de vulnerabilidad	Calificación
De 0 a 5.0	Muy Alta	0.00	11.51
De 5.1 a 10.0	Alta	0.25	
De 10.1 a 15.0	Media	0.50	
DE 15.1 a 20.0	Baja	0.75	
Más de 20.0	Muy Baja	1.00	

Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento, 2006.

- Fase IV. Análisis de la Capacidad de Respuesta (C.R.): Permite conocer la capacidad de prevención y respuesta de los órganos responsables de llevar tareas de atención a la emergencia y rehabilitación.

El principal objetivo de esta fase es evaluar de forma general el grado en el que se encuentra preparado y capacitado el encargado de Protección Civil dentro de la alcaldía para incorporar conductas preventivas y ejecutar tareas para la atención de la emergencia, lo que complementa el grado de vulnerabilidad social.

Para el análisis de este apartado, se emplea el cuestionario de Capacidad de Respuesta, de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento, (CENAPRED, 2006), cuya importancia radica en que permite conocer los recursos, programas y planes con los que cuenta la Coordinación de Protección Civil en caso de una emergencia por lo que solo está dirigido al responsable del área.

Una vez levantado el cuestionario, se procede a su calificación, considerando que, a las respuestas afirmativas se les asigna un valor de 0 y a las negativas un valor de 1, ya que entre menor sea la capacidad de respuesta mayor será la vulnerabilidad de la población y viceversa. El resultado final se ubica en la tabla de rangos y valores propuesta por CENAPRED que se muestra en el cuadro número 6.

Tabla 38 Rangos, condición de vulnerabilidad y valor asignado para la Capacidad de Respuesta

Rangos con respecto a la suma de las respuestas	Capacidad de Respuesta	Valor según condición de vulnerabilidad	Calificación
De 0 a 4	Muy Alta	0.00	5.00
De 4.1 a 8.0	Alta	0.25	
De 8.1 a 12.0	Media	0.50	
De 12.1 a 16.0	Baja	0.75	
Más de 16.1	Muy Baja	1.00	

Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento, 2006.

Para el caso del Cuajimalpa, se obtuvo una calificación de 5, los resultados del cuestionario se presentan en el siguiente cuadro, lo que se considera como una capacidad de prevención y respuesta Baja, ya que si la capacidad de respuesta es baja esto aumenta la condición de vulnerabilidad de la población. Este es el cuarto resultado para la obtención del grado de vulnerabilidad social, por lo que se le asigna un valor de 0.25:

Tabla 39 Cuestionario de análisis de Capacidad de Respuesta

INDICADOR	RANGOS	
	SI (0)	NO (1)
Capacidad de prevención y respuesta	SI (0)	NO (1)
¿El municipio cuenta con una unidad de protección civil o con algún comité u organización comunitaria de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y la respuesta?	0	
¿Cuenta con algún plan de emergencia?	0	
¿Cuenta con un consejo municipal el cual podría estar integrado por autoridades municipales y representantes de la sociedad civil para que en caso de emergencia organice y dirija las acciones de atención a la emergencia?		1
¿Conoce algún programa de apoyo para la prevención, mitigación y/o atención de desastres?	0	
¿Cuenta con algún mecanismo de alerta temprana?	0	
¿Cuenta con canales de comunicación (organización a través de los cuáles se pueda coordinar con otras instituciones, áreas o personas en caso de una emergencia)?		1
¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica) en caso de desastre?	0	
¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (camino y carreteras) en caso de una emergencia y/o desastre?	0	

¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos?	0	
¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre?	0	
¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchonetas y pacas de lámina de cartón para casos de emergencia?		1
¿Tiene establecido un vínculo con centros de asistencia social (DIF, DICONSA, LICONSA, etc.) para la operación de los albergues y distribución de alimentos, cobertores, etc.?		1
¿Se llevan a cabo simulacros en las distintas instituciones (escuelas, centros de salud, etc.) sobre qué hacer en caso de una emergencia y promueve un Plan Familiar de Protección Civil?	0	
¿Cuenta con un número de personal activo?	*	
Capacidad de respuesta		
¿Existe una normatividad que regule las funciones de la unidad de Protección Civil (p. ej. manual de organización)?	C	
¿El personal está capacitado para informar sobre qué hacer en caso de una emergencia?	0	
¿Cuenta con mapas o croquis de su localidad que tengan identificados puntos críticos o zonas de peligro?	0	
¿Cuenta con el equipo necesario en su unidad para la comunicación tanto para recibir como para enviar información (computadora, internet, fax, teléfono, etc.)?	0	
¿Cuenta con acervos de información históricos de desastres anteriores y las acciones que se llevaron a cabo para atenderlos?	*	
¿Cuenta con equipo para comunicación estatal y/o municipal (radios fijos, móviles y/o portátiles)?	0	
¿Cuenta con algún Sistema de Información Geográfica (SIG) para procesar y analizar información cartográfica y estadística con el fin de ubicar con coordenadas geográficas los puntos críticos en su localidad?	*	
¿Cuenta con algún sistema de Geo Posicionamiento Global (GPS) para georreferenciar puntos críticos en su localidad?		1
Calificación Final		5

Fuente: EM Capital, levantamiento en campo, con base en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad de la Vivienda ante Sismo y Viento, 2006.

- **Fase V. Evaluación Final de Vulnerabilidad Social (V_s):** fase en la que se integran los resultados de los indicadores y en la que se define el porcentaje que determinan (peso) dentro de la vulnerabilidad.

Una vez obtenida la calificación final de las cuatro fases anteriores (Indicadores sociales, Indicadores de Marginación, Percepción Local del Riesgo, Capacidad de Respuesta) se procede a calcular la V_s con base en la siguiente expresión algebraica, para cada ABEB

$$V_s = (I_{SE} \times 0.50) + (I_M \times 0.45) + (P_{LR} \times 0.025) + (C.R. \times 0.025)$$

Donde:

I_{SE} = Indicadores sociales = Suma de los Promedio por Rubro para cada AGEB

I_M = Indicadores de Marginación = Valor asignado con base en los rangos de Marginación

P_{LR} = Percepción Local del Riesgo = Valor asignado con base en los Rangos de Percepción

C.R. = Capacidad de Respuesta = Valor asignado con base en los Rangos de Capacidad

Los tres cuadros siguientes muestran los resultados para las tres primera AGEB's:

Tabla 40 Resultado para el AGEB 090040001002A

Variabes	Calificación o Valor asignado	Porcentaje que determina (Peso)	Puntaje final
Indicadores Socio-económicos	0.083	0.500	0.042
Indicadores de Marginación	0.500	0.450	0.225
Percepción Local del riesgo	0.500	0.025	0.013
Capacidad de Respuesta (C.R.)	0.250	0.025	0.006
VS para AGEB 090040001002A			0.290

Tabla 41 Resultado para el AGEB 0900400010049

Variabes	Calificación o Valor asignado	Porcentaje que determina (Peso)	Puntaje final
Indicadores Socio-económicos	0.042	0.500	0.021
Indicadores de Marginación	0.250	0.450	0.113
Percepción Local del riesgo	0.500	0.025	0.013
Capacidad de Respuesta (C.R.)	0.250	0.025	0.006
VS para AGEB 0900400010049			0.150

Tabla 42 Resultado para el AGEB 0900400010053

Variabes	Calificación o Valor asignado	Porcentaje que determina (Peso)	Puntaje final
Indicadores Socio-económicos	0.083	0.500	0.042
Indicadores de Marginación	0.250	0.450	0.113
Percepción Local del riesgo	0.500	0.025	0.013
Capacidad de Respuesta (C.R.)	0.250	0.025	0.006
VS para AGEB 0900400010053			0.170

Los resultados finales para cada AGEB, se ubican en la tabla de rangos para determinar la Vulnerabilidad Social, propuesta por CENAPRED y se representan los resultados espacialmente.

Tabla 43 Ejemplo para el AGEB 090040001002A

Rangos con respecto a la suma de las respuestas	Capacidad de Respuesta	Resultado final por AGEB
De 0 a 0.20	Muy Baja	0.290
De 0.21 a 0.40	Baja	
De 0.41 a 0.60	Media	
De 0.61 a 0.80	Alta	
Más de 0.80	Muy Alta	

Tabla 44 Ejemplo para los AGEB's 0900400010049 y 0900400010053

Rangos con respecto a la suma de las respuestas	Capacidad de Respuesta	Resultado final por AGEB
De 0 a 0.20	Muy Baja	0.15 y 0.17
De 0.21 a 0.40	Baja	
De 0.41 a 0.60	Media	
De 0.61 a 0.80	Alta	
Más de 0.80	Muy Alta	

Finalmente debemos hacer énfasis en las modificaciones realizadas al método original:

- Se redujo en número de rubros de 5 (salud, educación, vivienda, empleo e ingresos y población) a 3 (salud, educación y vivienda).
- Se redujo el número de indicadores por rubro Salud paso de 3 a 2; Educación pasó de 3 a 2; Vivienda pasó de 6 a 4.
- Para calcular los promedios y/o calificación final se consideraron las modificaciones al método (disminución de rubros e indicadores)

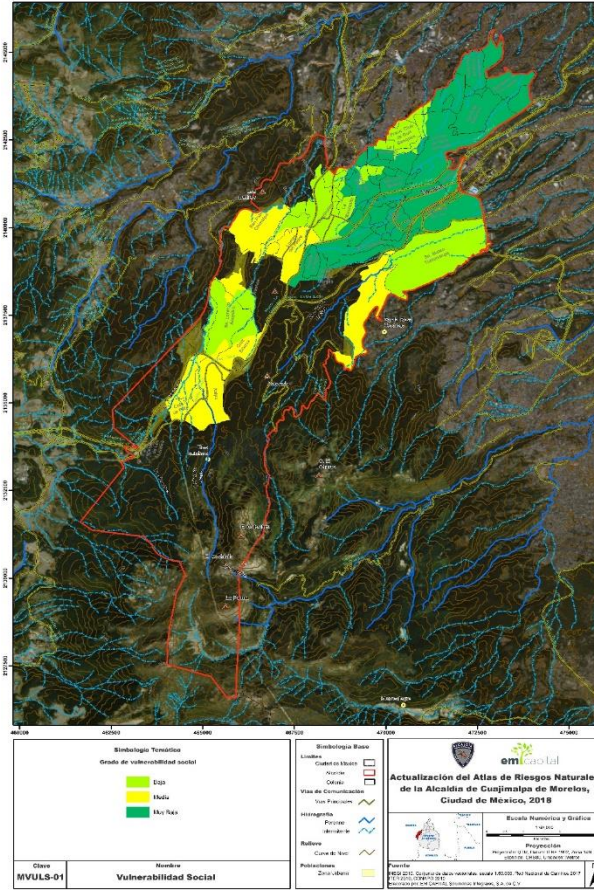
La ecuación original para calcular la Vulnerabilidad Social es:

$$V_S = (I_{SE} \times 0.50) + (C.R. \times 0.25) + (P.L.R. \times 0.25)$$

La ecuación modificada es:

$$V_S = (I_{SE} \times 0.50) + (I_M \times 0.45) + (P_{LR} \times 0.025) + (C.R. \times 0.025)$$

Imagen 27 Distribución espacial de la Vulnerabilidad Social Final



3 ANÁLISIS DE PELIGRO

3.1 Geológicos

3.1.1 Sismos

México se encuentra en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de 5 placas tectónicas: La placa de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la placa del Caribe (SSN). Debido a esto, en el país, y en estados muy específicos, la ocurrencia de sismos es una amenaza latente. El Servicio Sismológico Nacional (SSN) reporta en promedio la ocurrencia de 40 sismos por día.

La actividad sísmica local en la Ciudad de México, por lo regular es poco numerosa y de baja magnitud. La mayor parte de la actividad sísmica local se concentra en los márgenes de la Cuenca de México. Aunque se han llegado a registrar eventos importantes en las cercanías de la misma, como el ocurrido en Acambay, Estado de México, en 1912 ($M \sim 7.0$). En cuanto al origen de los sismos, se piensa que son generados por el reactivamiento de antiguas fallas. También existe la hipótesis de que los grandes sismos generados en la costa pudieran dar lugar a condiciones de desequilibrio y desencadenar sismos locales (Singh *et al.*, 1998).

3.1.1.1 Eventos sísmicos de 2017 en la Alcaldía de Cuajimalpa

Dentro de la alcaldía de Cuajimalpa se han registrado desde 1976, 10 sismos locales, el más reciente ocurrió el 07 de mayo del 2018 con una magnitud de 2° y una profundidad de 5 km; se localizó a seis kilómetros al suroeste de Álvaro Obregón.

En general, la actividad sísmica local se focaliza entre los 3 a 4 km de profundidad, y sus magnitudes oscilan entre los 2.2° de magnitud (siguiente tabla). La concentración de estos se tiene principalmente al norte de la alcaldía y al sur, solamente se han registrado dos sismos.

Tabla 45 Ubicación de la actividad sísmica local en la alcaldía de Cuajimalpa.

Fecha	Magnitud	Latitud	Longitud	Profundidad Km	Referencia
21/04/1976	no calculable	19.250	-99.340	4.000	9 km al SUR de SAN LORENZO ACOPIILCO, CDMX
15/08/1979	no calculable	19.360	-99.300	5.000	2 km al SUROESTE de CUAJIMALPA, CDMX
16/10/1985	no calculable	19.350	-99.310	4.000	3 km al NORESTE de SAN LORENZO ACOPIILCO, CDMX
26/01/1986	2.500	19.350	-99.320	2.000	2 km al NORTE de SAN LORENZO ACOPIILCO, CDMX
24/02/1987	no calculable	19.370	-99.270	5.000	2 km al SURESTE de CUAJIMALPA, CDMX
28/11/1988	3.700	19.290	-99.340	28.000	5 km al SUROESTE de SAN LORENZO ACOPIILCO, CDMX
29/09/2014	2.100	19.377	-99.261	3.000	3 km al ESTE de CUAJIMALPA, CDMX
20/09/2017	1.900	19.377	-99.266	2.000	2 km al ESTE de CUAJIMALPA, CDMX
28/09/2017	1.700	19.349	-99.327	1.100	2 km al NORTE de SAN LORENZO ACOPIILCO, CDMX
07/05/2018	2.000	19.393	-99.252	5.000	6 km al SUROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX

Fuente: SSN

Un mapa de intensidad instrumental muestra gráficamente el movimiento del terreno y los potenciales efectos causados por un sismo, expresados en niveles de intensidad sísmica, a partir de la combinación de registros de sismómetros y acelerógrafos, relaciones de atenuación de la energía sísmica, información sobre condiciones sísmicas locales, etc.

Este tipo de mapas los genera el Servicio Sismológico Nacional y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), para sismos registrados por sus redes sismológicas y acelerográficas.

Para la actualización de estos mapas, se utilizó la información más reciente generada por el USGS con los sismos ocurridos los días 08 y 19 de septiembre del 2018, los cuales afectaron a la alcaldía de Cuajimalpa.

3.1.1.2 Sismo del 7 de septiembre de 2017

El sismo ocurrido el día 7 de septiembre del 2017, con magnitud 8.2 se localizó en el Golfo de Tehuantepec, a 133 km al suroeste de Pijijiapan, Chiapas. El sismo, ocurrió a las 23:49:17 horas (04:49 UTM/08-09-2017) a una profundidad de 45.9 km. La intensidad registrada en la alcaldía se caracterizó por ser un movimiento que sí fue percibido en ciertas zonas específicas y en otras fue poco percibido, sin daños a infraestructura, con un pico ACC (%g) de 2.8 y una velocidad máxima de 1.4 cm/s. La intensidad instrumentada alcanzó un nivel 4 (SSN).

Imagen 28 Mapa Epicentral del Sismo del 7 de septiembre de 2017 localizado en las costas de Chiapas, México. (Red sísmica del CICESE).

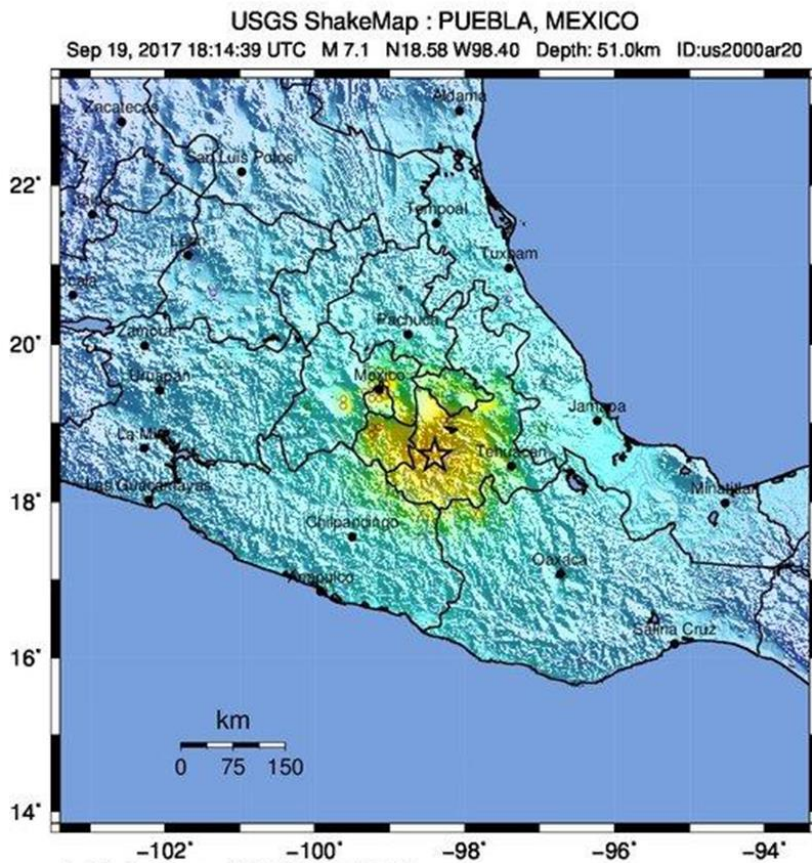


3.1.1.3 Sismo del 19 de septiembre de 2017

El sismo del 19 de septiembre ocurrió a las 13:14:40 horas, fue sentido fuertemente en el centro del país. La magnitud del movimiento fue de 7.1 localizado en el límite estatal entre los estados Puebla y Morelos, a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos, a una profundidad de 57 km (ver siguiente figura). En la mayor parte de la alcaldía se caracterizó por ser un movimiento fuertemente percibido, con daños moderados en algunas zonas, un ACC (%g) de 12 y una velocidad máxima de 9.6 cm/s; la intensidad instrumentada alcanzó un nivel 6. Al sur, el movimiento se percibió moderadamente, con

pocos daños a la infraestructura, el ACC (%g) de 6.2 y una velocidad máxima de 4.7 cm/s. La intensidad instrumentada alcanzó un nivel 5. Hasta las 18:00 hrs del 19 de septiembre se habían registrado 6 réplicas.

Imagen 29 Mapa de incidencia del sismo del 19 de septiembre de 2018



Fuente: USGS

Este sismo fue percibido de manera notable entre los habitantes de la alcaldía, y se presentaron daños en viviendas de diversas tipologías (principalmente de adobe y de más de 60 años de antigüedad). Un caso relevante resultó en la colonia San Pablo Chimalpa, donde se presentaron afectaciones que varían desde daños parciales, mayores hasta pérdida total.

Imagen 30 Daños que afectaron a viviendas en San Pablo Chimalpa.

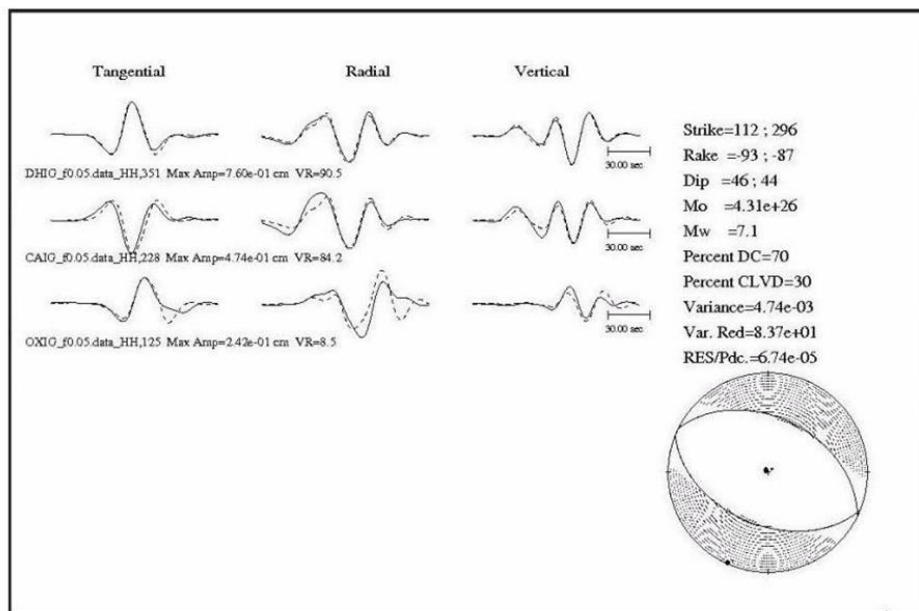


Imagen 31 En algunas viviendas con pérdida total se optó por otro tipo de materiales, en este caso acero de contenedores habilitados para vivienda.



El mecanismo focal del sismo muestra una falla de tipo normal (rumbo=112, echado=46, desplazamiento=-93) como se observa en la figura 3, la cual es característica de un sismo intraplaca. En esta región la Placa de Cocos subduce por debajo de la placa de Norteamérica.

Imagen 32 Mecanismo focal calculado por el SSN para el sismo del 19 de septiembre de 2017 magnitud Mw=7.1.



Fuente: SSNMX

Tabla 46 Aceleraciones máximas registradas en algunos en sitios del Valle de México, del temblor del día 19 de septiembre de 2017

Sitio	Aceleración Máxima registrada (Gal)
Tlamacas, Edo. Mex	112.0
Ciudad Universitaria	54.0
Coyoacán	60.0
Tláhuac	32.0
Cuajimalpa	20.0
Tlalpan	90.0

3.1.1.4 Sismicidad histórica en los estados de Puebla y Morelos

Es común la ocurrencia de sismos entre los estados de Puebla y Morelos, pues existen diversos epicentros de los eventos sísmicos que ha reportado el Servicio Sismológico Nacional en la zona central del País.

3.1.1.4.1 Réplicas

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

La ocurrencia de temblores en los estados de Chiapas y Oaxaca es frecuente. Hasta la fecha no se cuenta con técnicas científicas en ninguna parte del mundo que puedan determinar cuándo o dónde ocurrirá un sismo, tampoco se puede saber qué tan grande será o qué efectos tendrá en la población. Estar informados acerca de estos fenómenos naturales será de gran utilidad para mitigar el riesgo sísmico en caso de un evento de magnitud considerable.

3.1.1.4.2 Duración

Cuando hablamos de duración de un sismo nos podemos referir a varios conceptos diferentes: Una es la duración del movimiento percibida por el ser humano, otra la duración del registro instrumental (puede ser incluso de varios minutos) y otro es el tiempo que duró el movimiento de la falla que originó el sismo (que puede ser de unos cuantos segundos).

Los sismómetros son instrumentos altamente sensibles al movimiento del suelo, esto les permite detectar con suma precisión el instante mismo del inicio de un sismo, así como su determinación. El ser humano a diferencia del sismómetro, no tiene una percepción tan desarrollada en este sentido, en general sólo es capaz de percibir la parte más intensa del movimiento provocado por un sismo. Esto quiere decir que, si ponemos juntos a una persona y a un sismómetro a medir la duración de un sismo, la persona reportará un tiempo de movimiento bastante menor al que reportará el sismómetro, debido a que la persona sólo siente la parte más intensa del movimiento del suelo, mientras que el sismómetro percibe hasta el movimiento más insignificante que se da justamente cuando el sismo se inicia y cuando termina. La diferencia entre lo que sienten las personas y lo que reporta el instrumento es considerable.

Por otro lado, la duración de un sismo tanto instrumental como la percepción humana varía de un lugar a otro, y no es un valor fijo. Cuando ocurre un sismo, las personas que viven en diferentes lugares no perciben la misma duración y aún aquellas que están en un mismo sitio pueden experimentar tiempos diferentes. Existen tres factores principales que intervienen en la duración del movimiento: la distancia al epicentro, el tipo de terreno y el tipo de construcción en donde nos encontremos en ese momento.

NOTA: La información contenida en este reporte ha sido generada por el Servicio Sismológico Nacional, el día 25 de septiembre de 2017. No debe ser considerada como definitiva. El Servicio Sismológico Nacional continúa recibiendo nuevos datos sísmicos y con ellos, ajustando, renovando y mejorando la precisión en los parámetros de los eventos sísmicos, tales como magnitud, epicentro y profundidad.

3.1.1.4.3 Sistema de Alerta Sísmica

Con el propósito de contribuir en la mitigación de los efectos desastrosos en la ciudad de México que pudiesen producir los sismos fuertes provenientes de la «Brecha de Guerrero» el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES), A.C., creado en 1986, bajo el auspicio de la Fundación Javier Barros Sierra, obtuvo el apoyo económico de las autoridades del Gobierno de la Ciudad de México para diseñar y construir el Sistema de Alerta Sísmica (SAS).

En la ciudad de México opera desde hace cerca de diez años un Sistema de Alerta Sísmica, desarrollado por el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico de la Fundación Javier Barros Sierra que es prácticamente único en el mundo. Se basa en el hecho de que los sismos que más afectan a la ciudad ocurren a gran distancia de la misma, en la costa del Océano Pacífico, por lo que las ondas que producen la vibración del terreno y los daños, tardan cerca de un minuto en llegar a la ciudad, lo que permite instalar una red de instrumentos a lo largo de la costa, que detecte el sismo en el momento en que ocurre y envíe una señal de radio a una estación de control en la ciudad de México, que puede disparar una señal de alerta con cerca de 50 segundos de anticipación a que comience la sacudida en la ciudad. El sistema ha sido utilizado en planteles escolares y en algunos edificios públicos, donde se espera que la población desaloje rápida y ordenadamente los edificios y se reúna en las zonas de seguridad al escuchar la señal de alarma.

3.1.2 PRM

3.1.2.1 *Metodología para la generación de los mapas de susceptibilidad y peligro por deslizamiento, caídas y volteos y flujos de lodos y detritos*

El método de la Matriz de Jerarquías Analíticas (MJA), fue propuesto por el autor Saaty (1980) y se basa en el desarrollo de prioridades, en este caso la importancia del criterio para la generación de procesos de remoción en masa (PRM), derivadas a su vez de la evaluación de concordancia de pares de criterios. Luego de identificar los pares de criterios, estos son cualificados y cuantificados de acuerdo a la importancia de un criterio con respecto al otro, para de esta forma asignar puntajes, mismos que son ingresados a una matriz, convirtiendo esta evaluación subjetiva en un conjunto de pesos lineares. De esta forma se obtiene la ponderación o peso que tiene cada variable, en este caso sobre la generación de PRM.

El Método de las Jerarquías Analíticas (MJA), de la Evaluación Multicriterio (EMC), ha demostrado ser un mecanismo adecuado y útil de ponderación de variables, para la construcción de mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa; mediante la sobreposición de mapas temáticos.

Los mapas temáticos que se utilizaron para este análisis son los siguientes:

- Litología
- Pendiente
- Vegetación
- Precipitación
- Edafología
- Erosión
- Estructural
- Densidad de drenaje
- Energía de relieve
- Concavidad

Cómo influyen las variables en la generación de los distintos mecanismos de movimiento.

Litología

Las características de las rocas volcánicas que influyen para la generación de PRM son:

- Presencia de secuencias anisotrópicas (lavas y piroclastos)
- Variación de las propiedades mecánicas e hidráulicas
- Diaclasas de enfriamiento
- Planos de flujo
- Fracturas
- Vesículas y cavidades
- Presencia de bloques sueltos
- Acumulaciones de material granular

La presencia de secuencias de lavas intercaladas con depósitos piroclásticos, confiere a los macizos rocosos un carácter heterogéneo y anisotrópico. La heterogeneidad implica la existencia de zonas con diferentes propiedades mecánicas e hidráulicas, grado de alteración, contenido de agua entre otras características. La anisotropía implica la presencia de superficies de contacto a través de las cuales las propiedades de resistencia y de permeabilidad son diferentes de las obtenidas en otras direcciones.

Las fracturas se pueden originar por descompresión o bien estar asociadas a procesos tectónicos, los cuales son característicos en zonas volcánicas. Estas discontinuidades generalmente se interceptan y dan a los macizos rocosos una configuración en bloques, de geometría y tamaño diverso. Otro aspecto de las discontinuidades es que favorece la meteorización a través de estos planos, facilitando la separación de los bloques en los macizos rocosos.

Como producto de la actividad volcánica de tipo explosivo, se puede tener la presencia de depósitos vulcanoclásticos, típicos de la zona de barrancas de la alcaldía, distribuidos en los flancos de los volcanes y estratovolcanes. La gama de depósitos es amplia y su distribución varía tanto vertical como horizontalmente. Los taludes formados por estos materiales son heterogéneos e isótropos.

Pendiente

La pendiente es un factor fundamental en la generación de PRM (Moreiras, 2005). Un talud formado por un material homogéneo e isótropo, presenta una mayor inestabilidad a medida que aumenta su valor de pendiente (Dai y Lee, 2002). La influencia de la pendiente en la generación de los PRM estará determinada por la litología y por los tipos de procesos de remoción presentes. En general valores altos de pendiente ($>45^\circ$) están asociados a zonas con PRM activos, tales como volteo y desprendimiento de rocas y pendientes medias ($30-45^\circ$) están asociadas a caídas por rodamiento y desprendimiento, deslizamientos y flujos.

Vegetación

En zonas donde existe deforestación las laderas son más propensas a presentar remociones en masa.

Precipitación

La lluvia (sin considerar periodos de retorno), es un fenómeno frecuente en la alcaldía, que motiva que gran parte del año se tenga presencia de humedad, aunado a los escurrimientos de las partes altas y a la saturación de agua debido a fugas, vertido de aguas domesticas a los cauces y barrancas, fugas de agua, etc.

Edafología

La Edafología se ocupa del estudio de la naturaleza, las condiciones que presentan los suelos y la relación que estos mantienen con los seres vivos que viven sobre ellos.

Esta disciplina experta en suelos surge como un desprendimiento de la geología, siendo su principal meta la de evaluar, estudiar y comparar los distintos tipos de suelos y saber también cómo la composición de cada cual afecta a los organismos vivientes que se desarrollan justamente sobre él, por ejemplo las plantas.

La creación de una zona de cultivo, el pastoreo, la construcción de una edificación, el emplazamiento de alguna estructura útil, y demás acciones productivas, demanda antes un estudio exhaustivo y pormenorizado del suelo sobre la cual se llevarán a cabo algunas de actividades antrópicas.

En este sentido, entonces la ingeniería civil, es una de las ramas que más emplea a la edafología como disciplina auxiliar antes de llevar a cabo una obra de construcción de cualquier tipo. Estudiará la composición del suelo y así tendrá una idea de si la zona en cuestión es apta para llevar a cabo dicha construcción.

La edafología también asiste en la realización de gráficos y mapas de aquellas zonas que son aptas y las que no, en materia de desarrollos urbanos, de construcción de carreteras, y en este caso para estimar su potencialidad a generar procesos de remoción en masa.

Erosión

La erosión física de los suelos es quizás el condicionante más fuerte. Es producida por el agua, el viento y acciones químicas, e implica un arrastre de materiales, a diferencia del intemperismo, que implica la alteración *in situ* pero no conlleva un transporte.

La erosión eólica es un fenómeno menor pero sí desplaza pequeñas cantidades de materiales de unas zonas a otras.

La erosión química se produce sustancias inorgánicas como sales minerales y arcillas en el agua que contienen los suelos. Esto crea un entorno químico que descompone y elimina unos materiales y a su vez otros son depositados.

Estructural

La existencia de rasgos estructurales en las laderas influye en la generación de procesos de remoción en masa, ya que el arreglo que forman las discontinuidades en los macizos rocosos determina la geometría, volumen y el mecanismo de movimiento potencial que se puede presentar (Hoek y Bray, 1996). Autores como Muller (1959) y Terzaghi (1962) han enfatizado el hecho de que los macizos rocosos no son medios continuos y que su comportamiento está controlado por la presencia de discontinuidades como fallas, juntas, planos de estratificación, planos de flujo, etc.

Las fallas y fracturas condicionan en gran medida el desarrollo y evolución del relieve (Córdova, 1992), además de incidir en la generación de PRM debido al fracturamiento y brechamiento que inducen en los materiales.

Los tipos más comunes de arreglos de fracturas son: en paralelo, relay, echelón, relevo, abanico, anastomosado, conjugados, perpendicular y complejo (Van der Pluijm, 2004).

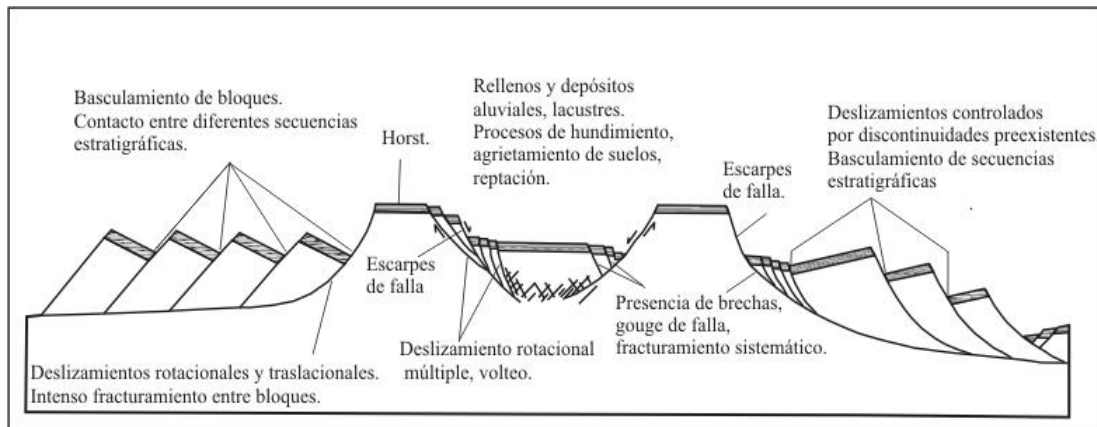
Un esquema práctico para hacer una caracterización general de las zonas afectadas por rasgos estructurales, es propuesto por Pusch (1995), quien propone 7 órdenes de discontinuidades (siguiente tabla). Las discontinuidades de primer y segundo orden están relacionadas con fallas y fracturas a nivel regional. Las discontinuidades de tercer orden representan rasgos locales y cartografiables en campo. Las discontinuidades de cuarto y quinto orden afectan a los macizos rocosos y son las que podemos observar en los afloramientos; la interacción entre estos órdenes de discontinuidades en los taludes, da lugar a ciertos arreglos geométricos de los bloques delimitados por estos planos de debilidad.

Tabla 47 Caracterización general de los rasgos estructurales. Adaptado de Pusch (2005).

Orden de las discontinuidades	Descripción
Primer orden	Zonas de fractura regional con algunos kilómetros de espaciamiento y longitud de varias decenas de kilómetros. El ancho de la parte central, en su mayoría hidráulicamente activa y caracterizada por componentes arcillosos, va de un rango de metros a decenas de metros.
Segundo orden	Zonas de fractura local con un espaciamiento de centenares de metros hasta un kilómetro y con una extensión de varios kilómetros. Las características son similares a las de primer orden solo que con menos anchura en el centro y con menor frecuencia de fracturamiento y contenido de arcilla.
Tercer orden	Zonas de fractura local con un espaciamiento de 30-150 m y con un ancho de unos cuantos decímetros hasta dos metros. Su extensión puede ser de varios cientos de metros.
Cuarto orden	Estas discontinuidades son los principales miembros hidráulicamente activos de una roca localizada entre las discontinuidades de alto orden. Ocurren como discretas fracturas con un espaciamiento aproximado de 2 a 10 m, y con una extensión de más de 10 m.
Quinto orden	Representan el 90 % de las fracturas discretas visibles en la roca entre las de más alto orden. Su espaciamiento va de 0.2 a 1 m. Estas discontinuidades representan planos de debilidad donde se generan altos esfuerzos críticos cuando se altera el estado natural de esfuerzos.
Sexto orden	Las discontinuidades de este orden son planos de debilidad a pequeña escala. Representan zonas donde están alineados minerales de baja resistencia o bien fracturas finas. Forman sub-clases de planos de debilidad que no entran en las discontinuidades de quinto o cuarto orden.
Séptimo orden	Estas discontinuidades representan vacíos intercristalinos y contactos cristalinos incompletos los cuales generan posibles planos de falla (por ejemplo las fracturas de Griffith).

Entre las formas del relieve originadas por tectonismo se encuentran las fosas y pilares, las cuales son importantes en el área de estudio, pues a lo largo de estas estructuras se unen grandes sistemas fluviales que desembocan hacia la planicie. Aparte del fracturamiento existen zonas que presentan harina o brecha de falla, dando la posibilidad de un deslizamiento dada la baja resistencia de estos materiales. Cuando en un afloramiento, la pared de una falla de tipo normal está expuesta y presenta brecha o roca triturada, ésta puede caer por desprendimiento. En la siguiente figura se muestran los problemas de estabilidad asociados a los rasgos estructurales.

Imagen 33 Esquema en términos de los procesos de remoción en masa favorecidos por un control estructural. Adaptado de Twiss y Moores (1992).



A la Sierra de las Cruces (SC) la caracterizan tres sistemas de fallas que son N-S, NE-SW y E-W.

A continuación, se dan algunas de las características generales. El sistema N-S es el más antiguo y ha sido reactivado en diferentes tiempos, ya que se han determinado periodos de actividad durante el Eoceno tardío (Alaniz-Álvarez y Nieto-Samaniego, 2005), reactivación y emplazamiento de la Sierra de Las Cruces durante el Plioceno, y posterior reactivación y afectación de la misma SC durante el Pleistoceno tardío, ya que las fallas cortan a flujos de bloques y cenizas con edades de 600 000, 430 000, y 270 000 años (Mooser, 1975). La zona de fallas N-S en la SC presenta en general arreglos en echelón y ligeramente anastomosados.

La zona de fallas NE-SW es el segundo sistema de fallas que caracteriza a la Sierra de Las Cruces y pertenece a la zona de cizallamiento Tenochtitlan (de Cserna et al., 1988), que se localiza entre Petatlán, Guerrero, y la porción norte de la Cuenca de México. Se trata de una estructura reactivada para la cual se ha documentado que actuó como un sistema de fallas laterales izquierdas durante el Mioceno tardío en la región de Ápan, Estado de Hidalgo (García-Palomo, 2002), y posteriormente como fallas normales durante el Pleistoceno, y que han controlado el vulcanismo y deformación desde las inmediaciones de Toluca (García-Palomo et al., 2000; Aguirre-Díaz et al., 2006; Blatter y Carmichael, 1998) hasta la región de Ápan (Ledezma-Guerrero, 1987; García-Palomo, 2002).

Densidad de drenaje

Diversos estudios muestran la correlación que existe entre la generación de remociones en masa y la proximidad a las líneas de drenaje (Dai, 2002; Foumelis et al., 2004). La erosión ocasionada en los cauces y la saturación del terreno favorecen la presencia de deslizamientos, desprendimientos y flujos.

El drenaje se manifiesta por la generación de barrancas, que son formas negativas del relieve, con laderas abruptas, con frecuencia ramificándose hacia la cabecera, con las márgenes carentes de vegetación. En longitud pueden alcanzar algunos kilómetros y en profundidad y anchura, algunas decenas de metros. También se definen como los surcos o cárcavas dispuestas radialmente desde la cima de un volcán hacia su base; surgen debido a la erosión de las laderas por las aguas pluviales (Lugo Hubp, 1989).

Un barranco es susceptible a presentar procesos de remoción dependiendo de: tipo de material, grado de la erosión fluvial, fuerzas actuantes de tipo interno (como el peso propio y la resistencia del material) y externo (peso de obras civiles y vibraciones de origen antrópico).

Los procesos de remoción que se presentan en estas zonas son principalmente deslizamientos, caída de rocas y flujos canalizados de lodo y detritos.

La correlación que existe entre el patrón de drenaje y los PRM, está asociada a la erosión ocasionada en los cauces y la saturación del terreno que favorecen el movimiento de masas (deslizamientos, desprendimientos y flujos). Para la integración de esta variable, se realizó un análisis de densidad de drenaje, definida esta como la longitud de las corrientes por unidad de área. Los órdenes de corriente permiten clasificarlas y evaluarlas de acuerdo con su proceso evolutivo; las de primer orden son las corrientes más jóvenes, con formación incipiente, las de órdenes mayores, en general reflejan las etapas más antiguas de desarrollo de la red fluvial y en muchos casos son indicadores de estructuras sobre las que se han desarrollado los valles fluviales (Lugo Hubp, 1988).

El drenaje será muy favorable para condicionar la ocurrencia de flujos de lodos y detritos en zonas de fuerte pendiente y donde se encuentran grandes cantidades de azolve. Esto puede generar problemas en las presas que conforman el sistema regulador de grandes avenidas dentro de la alcaldía.

Energía de relieve

El concepto de energía del relieve en México, se define como la amplitud de las variaciones altimétricas (m) por unidad de área, donde se identifica la intensidad relativa de los procesos endógenos en relación con los exógenos, para reconocer la inferencia de procesos debido a la debilidad estructural provocada por diversos factores en el sitio como lineamientos y la resistencia a la erosión.

Concavidad

La curvatura o concavidad de una ladera se define como aquellos cambios de pendiente en un terreno dentro del análisis de indicativos geomorfológicos que condicionan la aptitud del terreno a la erosión, remoción de la vegetación y enfatizando la dirección de la pendiente. Para el análisis de

la curvatura del terreno, matemáticamente se emplea la segunda derivada de la superficie para determinar si la ladera es de tipo cóncava o convexa.

Debido a las condiciones del terreno en el área de estudio, y de acuerdo a la curvatura resultante del análisis morfológico, se considera la curvatura de perfil, que permite conocer cómo afecta la aceleración de las corrientes por la superficie, afectando de forma distinta cada proceso de remoción en masa. Se define la concavidad del área de estudio, considerando una clase positiva con valor 1 y negativa con un valor de 2, predominando una concavidad de tipo negativo.

Los mapas fueron desarrollados a partir del modelo digital de elevación (MDE) de INEGI 1:10,000, e información digital de la CONABIO.

3.1.2.1.1 Susceptibilidad por PRM

Los mapas de susceptibilidad tienen como objetivo mostrar las zonas críticas donde **potencialmente** se pueden presentar procesos de remoción en masa a partir de la combinación de variables que ejercen influencia en la generación de los mismos.

La ocurrencia de PRM está relacionada con varios factores, dependiendo del fenómeno particular o mecanismo de movimiento que se estudie, (llámese deslizamiento, flujos o caídos). Tomar en cuenta todos los factores es una tarea compleja y laboriosa.

Para determinar la susceptibilidad del terreno a presentar remociones en masa se utilizaron mapas temáticos que representan variables de tipo condicionante que inciden para su ocurrencia; dividiéndose en tres fenómenos: deslizamiento, flujos y caídos.

Para cada uno de ellos se realizó el análisis por medio de la Matriz de Jerarquías Analíticas (MJA), identificando los pares de criterios, mismos que son cualificados y cuantificados de acuerdo a la importancia de un criterio con respecto al otro, para de esta forma asignar puntajes, mismos que son ingresados a una matriz, convirtiendo esta evaluación subjetiva en un conjunto de pesos lineales. De esta forma se obtiene la ponderación o peso que tiene cada variable.

Tabla 48 Ponderación para la Matriz de Jerarquías Analíticas.

Nivel de importancia	Definición	Descripción
1	Igual preferencia	Los dos criterios (i,j) contribuyen de igual manera al proceso de remoción considerado
2	Moderada preferencia	El factor (i) es moderadamente más influyente que el factor (j) para el proceso de remoción considerado
3	Gran preferencia	El factor (i) es mucho más influyente que el factor (j) para el proceso de remoción considerado
4	Absoluta preferencia	El factor (i) es absolutamente más influyente que el factor (j) para el proceso de remoción considerado

La susceptibilidad total fue calculada con base en el Índice Potencial de Susceptibilidad, el cual expresa la combinación de los diferentes mapas o variables (incluidas sus respectivas clases) en un solo mapa, obtenido mediante la siguiente regla de combinación:

IPS= \sum Peso de la variable x Valor de clase / número de variables.

El valor obtenido se reclasifica para determinar los diferentes niveles de susceptibilidad: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Deslizamientos

El primer caso de estudio son los deslizamientos, para este fenómeno se consideraron como factores condicionantes los siguientes: litología, pendiente, vegetación, precipitación, edafología, erosión y estructural. En la Tabla se observa la matriz resultante de las jerarquías para este caso.

Tabla 49 Matriz de Jerarquías Analíticas para los deslizamientos en la Alcaldía de Cuajimalpa.

i/j	Litología	Pendiente	Vegetación	Precipitación	Edafología	Erosión	Estructural	Prom.	Ponderación
Litología	1.00	0.25	2.00	0.33	2.00	0.33	0.50	6.41	0.10
Pendiente	4.00	1.00	0.50	2.00	3.00	0.50	1.00	12.00	0.17
Vegetación	0.50	2.00	1.00	3.00	1.00	0.25	0.33	8.08	0.13
Precipitación	3.00	0.50	0.33	1.00	2.00	2.00	0.33	9.16	0.14
Edafología	0.50	0.33	1.00	0.50	1.00	1.00	0.33	4.66	0.08
Erosión	3.00	2.00	4.00	0.50	1.00	1.00	0.50	12.00	0.16
Estructural	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	2.00	1.00	15.00	0.22
Total								67.31	1.00

En la Tabla se definen las clases para cada condicionante y el resultado con la ponderación de la matriz de jerarquías.

Tabla 50 Grado de Importancia para cada condicionante que se aplica para el fenómeno de deslizamiento en la Alcaldía de Cuajimalpa.

Condicionante	Clase	Valor	Ponderación	Grado de Importancia
Litología	Dacita	1.00	0.10	0.10
	Andesita	2.00		0.20
	Andesita-basáltica	3.00		0.30
	Basalto	4.00		0.40
	Flujo de bloques y ceniza	5.00		0.50
	Depósito de lahar	6.00		0.60
	Flujo de pómez	7.00		0.70
	Deposito aluvial	8.00		0.80
Pendiente	0° a 15°	1.00	0.17	0.17
	15° a 30°	3.00		0.51
	30° a 45°	5.00		0.85
	45° a 50°	4.00		0.68
	> a 50°	2.00		0.34
Vegetación	Bosque de coníferas distintas a pinos	1.00	0.13	0.13
	Bosque de encinos	2.00		0.26

	Bosque de pino	2.00		0.26
	Manejo agrícola, pecuario y forestal	3.00		0.39
	Ciudades importantes	4.00		0.52
Precipitación	47 a 49	1.00	0.14	0.14
	49 a 51	2.00		0.28
	51 a 52	3.00		0.42
	52 a 54	4.00		0.56
	54 a 57	5.00		0.70
Edafología	Andosol húmico	1.00	0.08	0.08
	Andosol molico	1.00		0.08
	Cambisol cromico	2.00		0.16
	Cambisol eutrico	2.00		0.16
	Feozem luvico	3.00		0.24
	Litosol	4.00		0.32
	Luvisol cromico	5.00		0.40
Erosión	Zona de vegetación alta	1.00	0.16	0.16
	Actividades agrícolas	2.00		0.32
	Sobrepastoreo	3.00		0.48
	Sobreexplotación de vegetación para uso domestico	4.00		0.64
	Urbanización	5.00		0.80
Estructural	0 a 2	1.00	0.22	0.22
	2 a 4	2.00		0.44
	4 a 6	3.00		0.66
	6 a 8	4.00		0.88
	8 a 10	5.00		1.10

Flujos

Para el segundo caso de estudio comprende a los flujos, para este fenómeno se consideraron como factores condicionantes los siguientes: litología, pendiente, precipitación, densidad de drenaje, energía de relieve y concavidad. En la Tabla se observa la matriz resultante de las jerarquías para este caso.

Tabla 51 Matriz de Jerarquías Analíticas para los flujos en la Alcaldía de Cuajimalpa

i/j	Litología	Pendiente	Precipitación	Densidad drenaje	Energía Relieve	Concavidad	Prom.	Ponderación
Litología	1.00	0.33	0.25	0.33	0.50	2.00	4.41	0.09
Pendiente	3.00	1.00	0.50	0.33	0.33	0.50	5.66	0.12
Precipitación	4.00	2.00	1.00	2.00	2.00	3.00	14.00	0.29
Densidad de drenaje	3.00	3.00	0.50	1.00	1.00	2.00	10.50	0.21
Energía de relieve	2.00	3.00	0.50	1.00	1.00	2.00	9.50	0.19
Concavidad	0.50	2.00	0.33	0.50	0.50	1.00	4.83	0.10
Total							48.90	1.00

En la Tabla se definen las clases para cada condicionante y el resultado con la ponderación de la matriz de jerarquías.

Tabla 52 Grado de Importancia para cada condicionante que se aplica para el fenómeno de flujos en la Alcaldía de Cuajimalpa.

Condicionante	Clase	Valor	Ponderación	Grado de Importancia
Litología	Dacita	1.00	0.09	0.09
	Andesita	2.00		0.18
	Andesita-basáltica	3.00		0.27
	Basalto	4.00		0.36
	Flujo de bloques y ceniza	5.00		0.45
	Depósito de lahar	6.00		0.54
	Flujo de pómez	7.00		0.63
	Deposito aluvial	8.00		0.72
Pendiente	0° a 15°	4.00	0.12	0.48
	15° a 30°	5.00		0.60
	30° a 45°	3.00		0.36
	45° a 50°	2.00		0.24
	> a 50°	1.00		0.12
Precipitación	47 a 49	1.00	0.29	0.29
	49 a 51	2.00		0.58

	51 a 52	3.00		0.87
	52 a 54	4.00		1.16
	54 a 57	5.00		1.45
Densidad de drenaje	0 a 1.5	1.00	0.21	0.21
	1.5 a 3.0	2.00		0.42
	3.0 a 4.7	3.00		0.63
	4.7 a 6.9	4.00		0.84
	6.9 a 12.4	5.00		1.05
Energía de relieve	0 a 2.2	1.00	0.19	0.19
	2.2 a 4.4	2.00		0.38
	4.4 a 6.5	3.00		0.57
	6.5 a 8.8	4.00		0.76
	8.8 a 14.3	5.00		0.95
Concavidad	-15.2 a -1.1	3.00	0.10	0.30
	-1.1 a 0.5	2.00		0.20
	0.5 a 12	1.00		0.10

Caídos

Para el caso de estudio que comprende a los caídos, se consideraron como factores condicionantes los siguientes: litología, pendiente, vegetación, estructural y concavidad. En la Tabla se observa la matriz resultante de las jerarquías para este caso.

Tabla 53 Matriz de Jerarquías Analíticas para los caídos en la Alcaldía de Cuajimalpa

i/j	Litología	Pendiente	Vegetación	Estructural	Concavidad	Prom.	Ponderación
Litología	1.00	1.00	0.50	0.50	2.00	5.00	0.15
Pendiente	1.00	1.00	0.33	0.50	3.00	5.83	0.18
Vegetación	2.00	3.00	1.00	0.33	2.00	8.33	0.25
Estructural	2.00	2.00	3.00	1.00	3.00	11.00	0.34
Concavidad	0.50	0.33	0.50	0.33	1.00	2.66	0.08
Total							1.00

En la Tabla se definen las clases para cada condicionante y el resultado con la ponderación de la matriz de jerarquías.

Tabla 54 Grado de Importancia para cada condicionante que se aplica para el fenómeno de caídos en la Alcaldía de Cuajimalpa.

Condicionante	Clase	Valor	Ponderación	Grado de Importancia
Litología	Dacita	8.00	0.15	1.20
	Andesita	7.00		1.05
	Andesita-basáltica	6.00		0.90
	Basalto	5.00		0.75
	Flujo de bloques y ceniza	4.00		0.60
	Depósito de lahar	3.00		0.45
	Flujo de pómez	2.00		0.30
	Deposito aluvial	1.00		0.15
Pendiente	0° a 15°	1.00	0.18	0.18
	15° a 30°	2.00		0.36
	30° a 45°	3.00		0.54
	45° a 50°	4.00		0.72
	> a 50°	5.00		0.90
Vegetación	Bosque de coníferas distintas a pinos	3.00	0.25	0.75
	Bosque de encinos	2.00		0.50
	Bosque de pino	2.00		0.50
	Manejo agrícola, pecuario y forestal	1.00		0.25
	Ciudades importantes	4.00		1.00
Estructural	0 a 2	1.00	0.34	0.34
	2 a 4	2.00		0.68
	4 a 6	3.00		1.02
	6 a 8	4.00		1.36
	8 a 10	5.00		1.70
Concavidad	-15.2 a -1.1	1.00	0.08	0.08
	-1.1 a 0.5	2.00		0.16
	0.5 a 12	3.00		0.24

Se realizó el análisis e interpretación de los distintos factores que participan en la ocurrencia de los procesos de remoción en masa (deslizamiento, flujos y caídos) dentro de la alcaldía de Cuajimalpa. Tales factores condicionantes y desencadenes fueron analizados a partir de los mapas temáticos generados en este trabajo, los cuales sirvieron como base fundamental en la obtención de los mapas de susceptibilidad. Para cada uno de los casos se usaron variables en forma general y en forma particular.

La combinación cualitativa de mapas de los factores condicionantes permitió generar un mapa final de susceptibilidad a deslizamientos, flujos y caídos. Dicho mapa se clasificó en 5 categorías con base a la escala propuesta por (Mora et al., 2002 y CENAPRED, 2004). Para los deslizamientos y flujos, los niveles de susceptibilidad altos se localizan al NE de la Alcaldía, donde se localiza la zona urbana de esta. Hacia el SW, en el resto de la zona de estudio, la susceptibilidad disminuye a baja, localizándose principalmente en la reserva natural de la Sierra de las Cruces, conocida como Desierto de los Leones.

Para los caídos, la zonas de mayor susceptibilidad es al SW de la alcaldía, en la zona del Desierto de los Leones, aunque esta área es muy poco poblada, la combinación de los factores condicionantes es la que da un resultado alto en esta zona. Y hacia la zona urbana se considera baja la susceptibilidad, con excepción de algunas zonas que presentan la posibilidad de una susceptibilidad alta.

3.1.2.1.2 Peligro por PRM

Con los resultados obtenidos en los mapas de susceptibilidad por deslizamientos y flujos, en los cuales se identifica regiones propensas a que ocurra estos fenómenos, pero, que podría detonar estas áreas y que estableciéramos en un análisis de peligro. En estos dos casos el factor detonante para son las precipitaciones en 24 horas con un periodo de retorno de TR2 y TR5 años.

Para el caso del peligro por deslizamientos en un periodo de retorno a 2 años en las partes altas de la alcaldía el peligro es bajo, parte de este resultado es la escasa población que se localiza en esta área, aunque, en algunas cañadas se llegan a presentar zonas con peligro de alto a muy alto. Las partes bajas de la alcaldía el nivel de peligro aumenta de alto a muy alto, en estas zonas se localiza ya la zona urbana.

Para un periodo de retorno de cinco años, el nivel de peligro aún se mantiene alto en la zona baja de la alcaldía, dentro de la zona urbana, aunque hay que descartar que también se presentaría niveles de peligro medio. Finalmente, en las partes altas, se marcan zonas de mayor peligro dentro de varias cañadas y en general el resto de área domina los peligros de bajo a muy bajo.

Para los flujos, se presenta el mayor peligro en las zonas altas y bajas de la alcaldía, que va desde alto a muy alto y en la zona centro, se presentaron parámetros de peligro medio. Ya para un peligro, en un periodo de retorno de cinco años, el nivel alto a muy alto se localiza principalmente en la zona centro de la alcaldía y en las parte bajas y altas se observan zonas que van de medio a bajo peligro.

Imagen 36 Mapa de Peligro por Flujos TR2, Cuajimalpa de Morelos

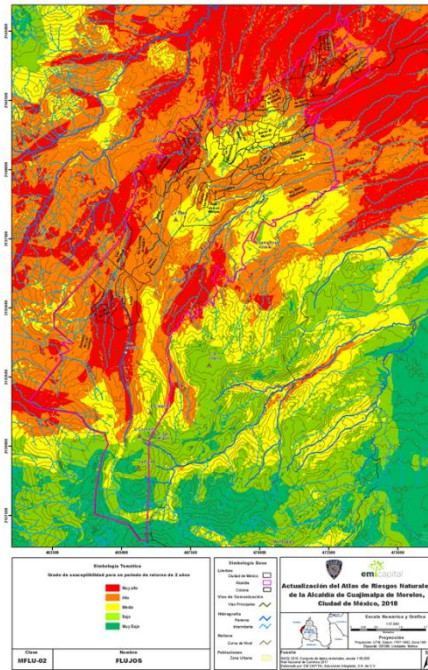
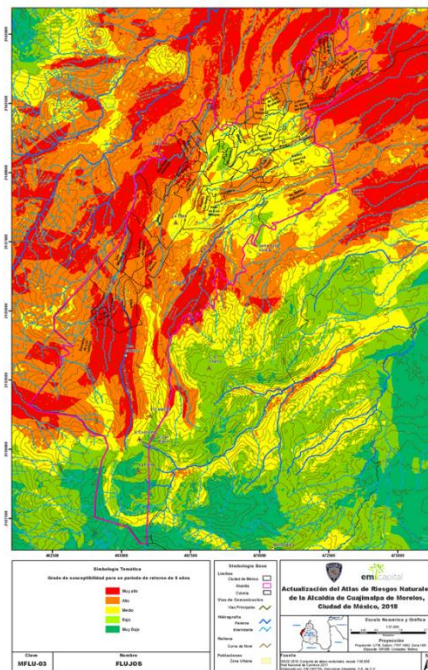
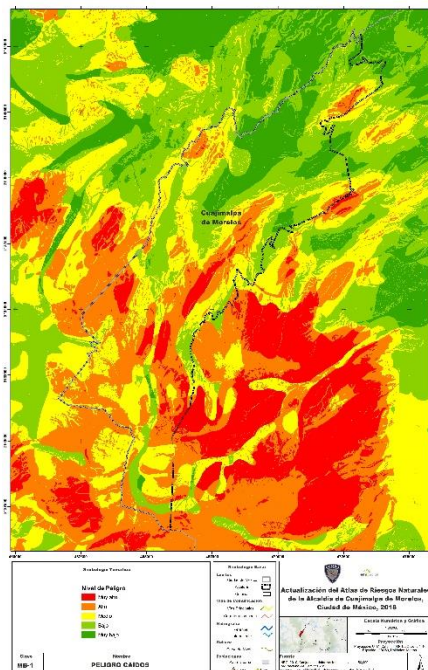


Imagen 37 Mapa de Peligro por Flujos TR5, Cuajimalpa de Morelos



El mapa de peligro por caídos se tomó como detonante un sismo con magnitud de 7,2°. El mayor peligro se podría presentar en la zona alta de la alcaldía sin descartar la zona baja en puntos específicos donde se ubica la zona urbana.

Imagen 38 Mapa de Peligro por Caídos TR5, Cuajimalpa de Morelos



Ejercicio de estimación de pérdidas asociadas a un evento hipotético de deslizamiento generalizados con impacto en infraestructura y viviendas.

El riesgo producido por deslizamientos es una función que depende de la amenaza y la vulnerabilidad, y puede expresarse como:

$$R_{ie/t} = f(P_i, V_e)/t$$

Esta ecuación significa que una vez conocida la amenaza, entendida como la probabilidad de que se presente un deslizamiento con una intensidad dada durante un periodo de exposición específico; y conocida la vulnerabilidad, entendida como la predisposición de los elementos expuestos o susceptibles a sufrir daños ante la ocurrencia del suceso; se puede determinar el riesgo como la probabilidad de que se presenten pérdidas sobre los elementos expuestos (viviendas).

Imagen 39 Sección analizada para la estimación de pérdidas económicas, Cuajimalpa de Morelos

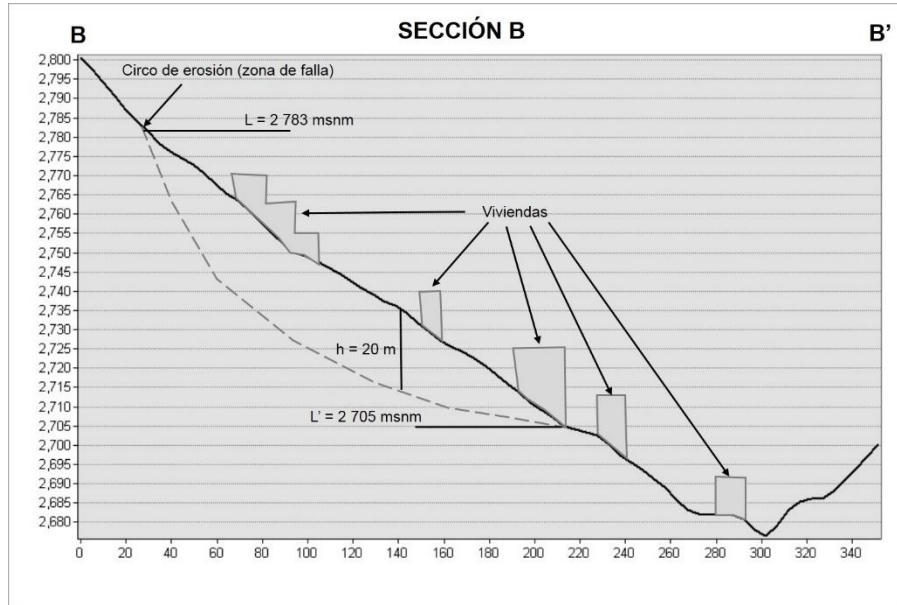


Imagen 40 Vista de la zona analizada para la estimación de pérdidas económicas y caracterización de las áreas potencialmente afectadas, Cuajimalpa de Morelos



Del conteo de viviendas se tienen los siguientes resultados para este deslizamiento hipotético (pero posible).

Tabla 55 Conteo de viviendas, tipología y costos de pérdidas máximas.

Sección B	Zona	Vulnerabilidad (Grado de exposición)	Probabilidad	Ti Costo (\$)	TII Costo (\$)	TIII Costo (\$)	TIV Costo (\$)	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	
Cerrada Panotli	Zona 2	1.0	1.0	60,500.00	287,500.00	564,000.00	747,500.00	3	15	0	0	0	TOTAL
Camino a Cuajimalpa (CAM) "A"	Zona 2	1.0	1.0	60,500.00	287,500.00	564,000.00	747,500.00	9	38	5	0	0	
Camino a Cuajimalpa (CAM) "B"	Zona 3	0.5	1.0	60,500.00	287,500.00	564,000.00	747,500.00	6	48	0	0	0	
Calle Xalitemi y del Tecnológico	Zona 3	0.5	1.0	60,500.00	287,500.00	564,000.00	747,500.00	5	24	7	0	0	
Calle Predial	Zona 2	1.0	1.0	60,500.00	287,500.00	564,000.00	747,500.00	0	2	1	0	0	
Camino sin nombre	Zona 2	1.0	1.0	60,500.00	287,500.00	564,000.00	747,500.00	2	37	1	1	0	
Totales				60,500.00	287,500.00	564,000.00	747,500.00	25	164	14	1	0	204
		Costo directo de Construcción		55,000.00	250,000.00	470,000.00	598,000.00						
		Porcentaje del valor de Menaje respecto a costo de construcción		10%	15%	20%	25%						
				5,500.00	37,500.00	94,000.00	149,500.00						
				60,500.00	287,500.00	564,000.00	747,500.00						

** Nota: Costos mínimos estimados para cada tipo de vivienda

Tabla 56 Pérdidas esperadas para este deslizamiento hipotético.

Estimación de pérdidas TI	Estimación de pérdidas TII	Estimación de pérdidas TIII	Estimación de pérdidas TIV
181,500.00	4,312,500.00	-	-
544,500.00	10,925,000.00	2,820,000.00	-
181,500.00	6,900,000.00	-	-
151,250.00	3,450,000.00	1,974,000.00	-
-	575,000.00	564,000.00	-
121,000.00	10,637,500.00	564,000.00	747,500.00
1,179,750.00	36,800,000.00	5,922,000.00	747,500.00
		Pérdida total esperada	\$ 44,649,250.00

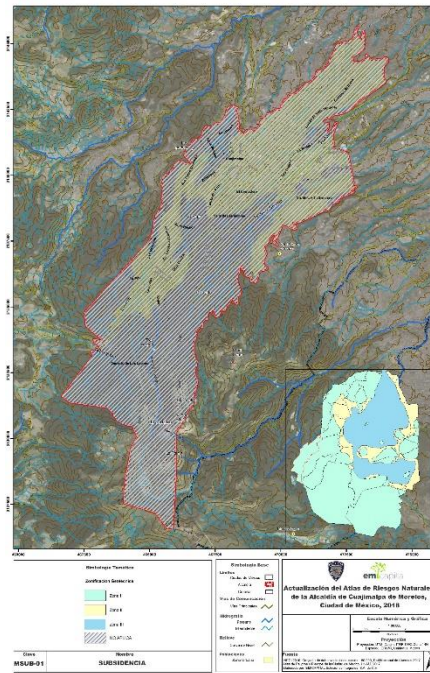
3.1.3 SUBSIDENCIA

La subsidencia es un proceso paulatino que genera descensos en la superficie del terreno, provocando agrietamientos asociados principalmente por la consolidación de los geomateriales.

Conforme a la Zonificación Geotécnica de la Ciudad de México (*Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México, UNAM, 2017*) el gradiente de subsidencia es mayor en las zonas de relieve de: *Zona II Transición* (elevaciones <2235 m.s.n.m.), constituida por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; y *Zona III Lacustre* (elevaciones entre 2235 – 2350 m.s.n.m.) conformada por depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. La *Zona I Lomas* (>2350 m.s.n.m.) compuesta por estructuras volcánicas con pendientes > 15°, es la zona de menor escala del gradiente de subsidencia, debido a los geomateriales que la conforman.

La Alcaldía de Cuajimalpa de Morelos se encuentra en su totalidad en la *Zona I Lomas*, por lo que, el gradiente de subsidencia en la demarcación es bajo a nulo, dado su conformación litológica y el grado de pendiente en su relieve. Por tanto, **No Aplica** este proceso.

Imagen 41 Mapa de Subsistencia, Cuajimalpa de Morelos



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V

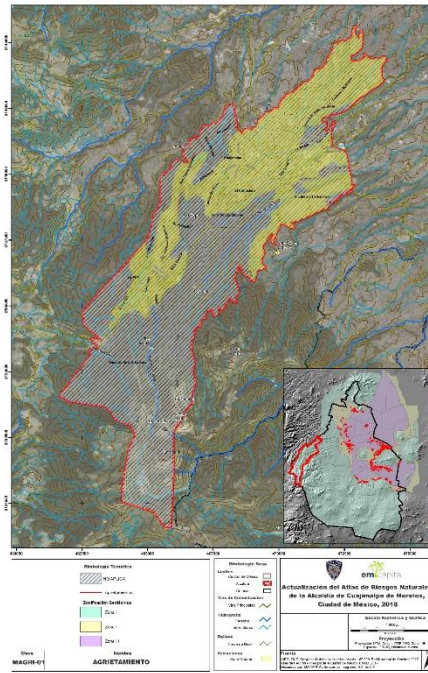
3.1.4 AGRIETAMIENTOS

La Alcaldía de Cuajimalpa de Morelos, al asentarse en una zona de lomas, conforme a la Clasificación Geotécnica para la Ciudad de México, (UNAM, 2017), la presencia de grietas es nula. En cambio en las zonas de lago y de transición es más común que se llegue a presentar este fenómeno, y que se llega a considerar como zonas críticas, tal es el caso de la zona centro y sur oriente de la Ciudad de México. Por tanto el análisis de este fenómeno geológico en la Alcaldía, **No Aplica**.

Tabla 57 Clasificación Geotécnica de la Ciudad de México

ZONAS	DESCRIPCIÓN
Zona I	Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos artificiales no controlados.
Zona II	Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limos arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.
Zona III	Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son en general medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable, de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

Imagen 42 Mapa de Subsistencia, Cuajimalpa de Morelos

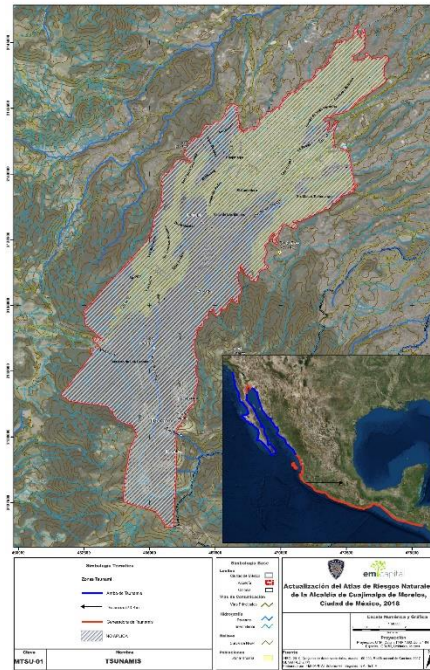


Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V

3.1.5 TSUNAMIS

La Alcaldía de Cuajimalpa de Morelos, al estar situada en el centro de la República Mexicana, se considera como un terreno que no comprende límites costeros, por lo que la afectación mediante fenómenos de tipo tsunami es de nula probabilidad, por lo que este fenómeno **NO Aplica**.

Imagen 43 Mapa de Tsunamis en Cuajimalpa



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V

3.2 Hidrometeorológicos

Los daños derivados por la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos son una constante en cualquier territorio. En lo particular, las condiciones meteorológicas y climáticas que predominan en Cuajimalpa son muy distintas a las que se registran en la Ciudad de México, incluso en demarcaciones o municipios vecinos.

La alcaldía se asienta en zonas donde las bajas temperaturas son recurrentes e inclusive existen registros de Nevadas en el acervo histórico. Por otro lado, en el tema de las inundaciones fluviales y pluviales, también existen reportes de daños. Granizadas, tormentas eléctricas y sequías también tienen cabida en el territorio.

En el presente apartado se integran análisis específicos para cada fenómeno hidrometeorológico que tiene influencia en la demarcación.

3.2.1 Ondas cálidas

Un fenómeno hidrometeorológico es una *“Calamidad que se genera por la acción violenta de los agentes atmosféricos, tales como: huracanes, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías y las ondas cálidas y gélidas”* (LGPC, 2012). Este tipo de fenómenos tienen la capacidad de ocasionar efectos negativos en las esferas ambiental, económica y social, principalmente cuando se presentan de manera extraordinaria, sobre todo en sitios identificados como de alto riesgo y cuyas poblaciones son especialmente vulnerables.

Uno de estos fenómenos son las ondas cálidas. Una onda cálida es un agente perturbador que por ciertos umbrales de temperaturas absolutas y relativas, genera perturbaciones en la interrelación del medio ambiente, incidiendo específicamente en la temperatura máxima, derivando en lo que comúnmente llamamos olas de calor (CENAPRED, CNPC, 2017).

Los impactos de las Ondas Cálidas se presentan en todos los sectores productivos e incluso, en el de servicios. Sus efectos en la salud son importantes y se ha demostrado también que están asociados con cambios en la tasa de nacimientos. Algunos estudios recientes indican que la mortandad durante eventos de calor extremo varía dependiendo de la edad, sexo, etnia o población. Factores asociados con el incremento de riesgo son: el alcoholismo, vivir en edificios mal ventilados y el uso de tranquilizantes. Factores que ayudan a disminuir el riesgo son: el ejercicio frecuente, contar con aire acondicionado y el consumo abundante de líquidos.

Para caracterizar una onda cálida es necesario detallar el comportamiento de la Temperatura máxima, que es la mayor temperatura del aire alcanzada en un lugar, en un día, como máxima diaria, en un mes como máxima diaria mensual o en un año como máxima diaria anual. También puede referirse a la temperatura máxima registrada en un lugar durante la totalidad del tiempo medido como máxima diaria absoluta.

Imagen 44 Incendio forestal por Ola de Calor en Lomas de Chamizal, límites de Cuajimalpa y Huixquilucan, mayo 2018



Fuente: El Financiero y SUUMA Voluntarios

3.2.1.1 Metodología para la determinación del peligro por altas temperaturas.

Para desarrollar un análisis cuantitativo sobre las zonas de mayor peligro por altas temperaturas se desarrolla el siguiente proceso.

3.2.1.1.1 Estaciones Meteorológicas Base

A fin de contar con datos meteorológicos fidedignos y representativos en la realización del presente estudio, con base en las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional, se seleccionaron estaciones ubicadas dentro y fuera de los límites de la alcaldía. Se identificaron 16 estaciones representativas dentro de una extensión de 25 km y que cuentan con datos para un periodo de análisis delimitado.

Se conforman bases históricas de toda la información disponible de cada estación, se depura para homologarla (periodo de análisis 1978-2014) y con el fin de corroborar la validez de los datos se aplican pruebas de homogeneidad e independencia, filtrado de datos que afecten la serie de datos y completado de datos con base en las estaciones vecinas.

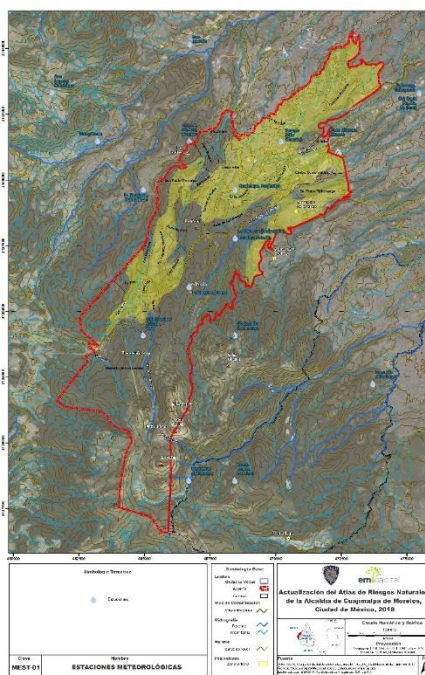
El objetivo de realizar pruebas de homogeneidad e independencia es para identificar cambios abruptos en parámetros estadísticos de las series de tiempo (datos de las variables climáticas), asimismo, identificar si las series de tiempo se encuentran afectados por dos poblaciones, es decir, al ocurrir un evento (ciclón tropical, golpe de calor, lluvia extrema, etc.) la serie de datos queda afectada, lo cual contendrá valores pico. Si una serie de datos es homogénea e independiente, se aplica una función de distribución de probabilidad a cada serie de datos.

Tabla 58 Estaciones Meteorológicas Base.

Clave Estación	Nombre
9020	Desv. Alta al Pedregal
15242	San Pedro Atlapulco
9010	Colonia América
9014	Colonia Santa Úrsula Coapa
9022	El Guarda
9029	Gran Canal km 06+250
9041	San Francisco Tlalnepantla
9071	Colonia Educación
15045	La Marquesa
15057	Mimiapan
15058	Molinito
15059	Molino Blanco
15077	Presa Totolica
15095	San Luis Ayucan
15127	Totolica San Bartolo
15312	Colonia Álvaro Obregón

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Imagen 45 Mapa de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional



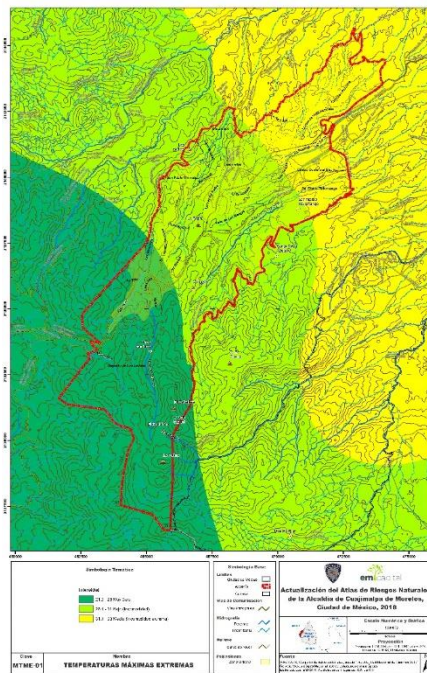
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

3.2.1.1.1 Temperaturas Máximas Extremas

Partiendo del registro de temperaturas máximas diarias de las estaciones meteorológicas del SMN para el periodo de datos de 1978 a 2014, se localizó el valor de la temperatura más alta registrada por cada año para cada estación. Posteriormente se obtuvo una serie de datos de temperaturas máximas anuales. Asimismo, por cada estación se calculó el promedio de la temperatura máxima registrada de toda la serie histórica. Adicionalmente, al introducir los puntos de cada estación meteorológica junto con los datos obtenidos del promedio histórico máximo de temperatura, en un sistema de información geográfica, se realizó una interpolación de tipo IDW (distancia inversa ponderada, por sus siglas en inglés, Inverse Distance Weighted) para identificar el comportamiento promedio de la temperatura máxima en la alcaldía.

Finalmente, se tipifican las zonas de peligro: Para ondas cálidas como: Muy alto a las áreas que se encuentran con temperaturas máximas extremas mayores a 35°C, Alto a valores de 33.1°C a 35°C, Medio a valores de 31.1°C a 33°C, Bajo de 28.7°C a 31°C y Muy Bajo con valores de 25.7°C a 28°C.

Imagen 46 Mapa del promedio histórico de temperaturas máximas extremas.



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

3.2.1.1.2 Períodos de Retorno de Temperatura Máxima

A la serie de datos máximos diarios anuales se ajusta a una función de distribución de probabilidad por cada estación con base en la variable climática de temperatura máxima anual. A cada estación, por medio del programa AX desarrollado por el CENAPRED y el IIUNAM, se obtuvieron ajustes por la función de distribución de probabilidad Gumbel.

Distribución Gumbel

Si se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos; y se selecciona el máximo “x” de los “n” eventos de cada muestra, a medida que “n” aumenta, la función de distribución de probabilidad de “x” tiende a:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Y la función de densidad de probabilidad es:

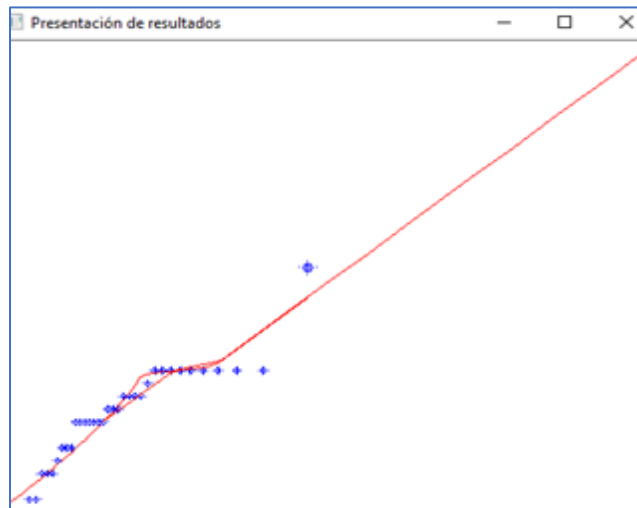
$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)} e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \quad \beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

Donde σ_y y μ son parámetros de escala y forma.

Seguidamente, al introducir las series de datos históricos de temperaturas máximas por cada estación en el programa AX, se obtiene la curva ajustada que a continuación se presenta en la siguiente imagen.

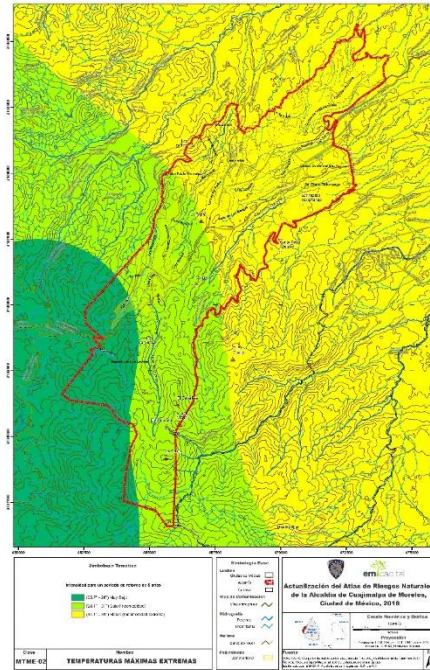
Imagen 47 Curva ajustada por la función Gumbel para temperaturas máximas



Fuente: Programa AX.exe

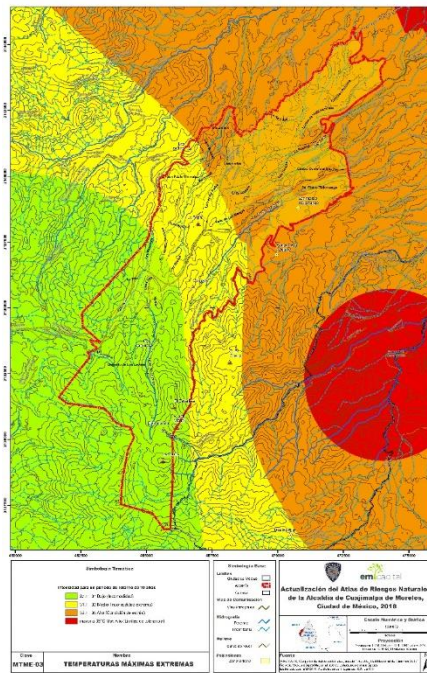
Una vez ajustada la curva, se extrapolan los valores a periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años. Se genera una interpolación por el método IDW, esto, con ayuda de un Sistema de Información Geográfica, tipificando el grado de peligro descrito en el apartado de Temperaturas Máximas Extremas.

Imagen 48 Mapa de temperaturas máximas extremas para un periodo de retorno de 5 años



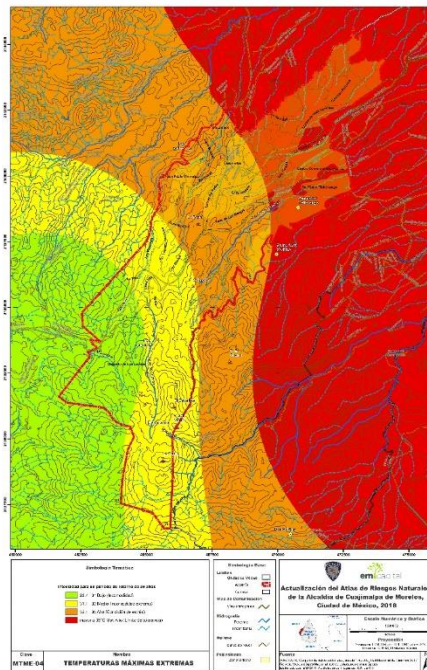
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 49 Mapa de temperaturas máximas extremas para un $Tr=10$ años



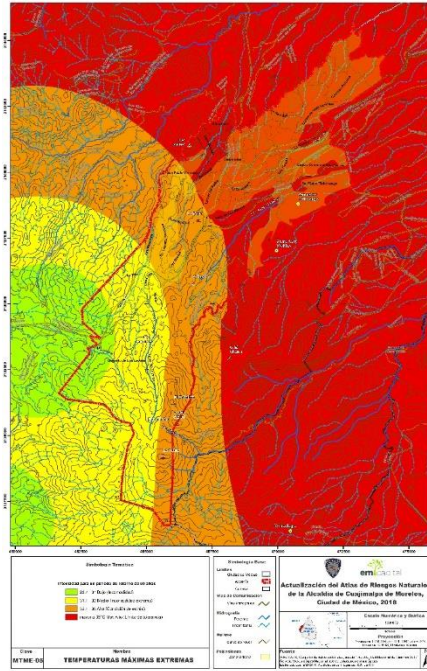
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 50 Mapa de temperaturas máximas extremas para un $Tr=25$ años



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 51 Mapa de temperaturas máximas extremas para un $T_r=50$ años



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

3.2.2 Ondas gélidas

Una onda gélida se refiere a un fuerte enfriamiento del aire (helada de irradiación) o una invasión de aire muy frío (helada de advección) que se extiende sobre un amplio territorio. Su desarrollo es breve, de 3 a 4 días, aunque se puede prolongar a una semana. Las olas de frío no sólo son bajas temperaturas sino que se acompañan de aguanieve y nevadas (CENAPRED, CNPC, 2017).

Colonias como La Pila y Tantoco, han registrado temperaturas de -4°C y caída de aguanieve por las bajas temperaturas, siendo enero uno de los meses más fríos (Universal, 2018).

Imagen 52 Caída de aguanieve por bajas temperaturas en las colonias La Pila, Las Cruces y Xalpa, 30/01/2018



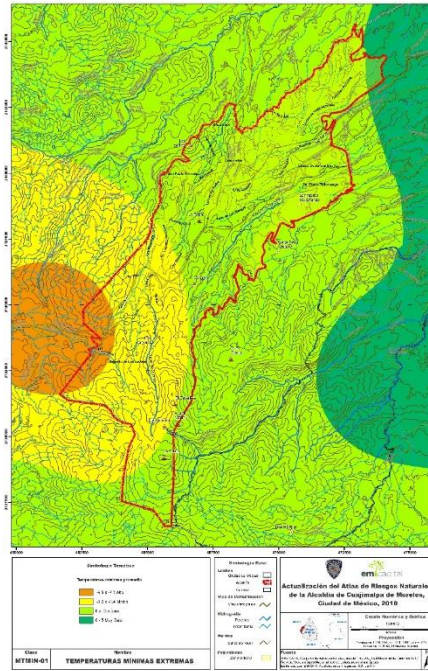
Fuente: El Universal

3.2.2.1 Temperaturas Mínimas Extremas

Análogamente y con base en las estaciones meteorológicas base, el procedimiento de análisis para este fenómeno es similar a la de ondas cálidas, sin embargo para ajustar una función de probabilidad a los valores de temperatura mínima extrema anuales es necesario que las series de tiempo (datos) no contengan valores iguales a cero ya que las funciones utilizadas en el programa AX.exe quedan indefinidos, es decir, no aceptan valores cero, por tal motivo para todos los valores registrados iguales a 0°C se cambiaron a 0.1°C . Asimismo, se aplica la metodología de valores extremos mediante la transformación $-x$, ya que existen valores negativos de temperatura. La curva de ajuste de los datos para la distribución por periodos de retorno se realizó por medio de la función Gumbel.

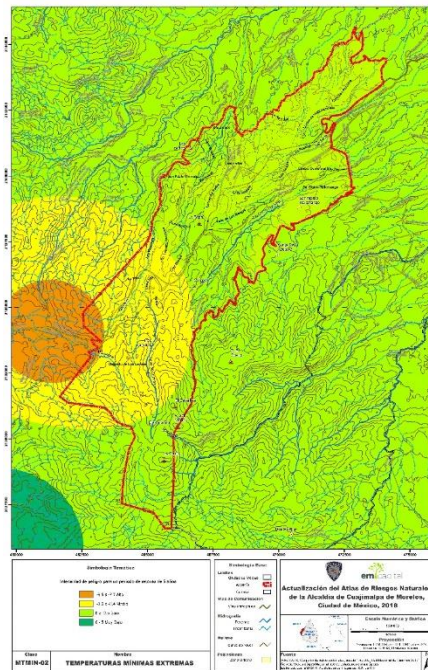
Se tipifican las zonas de peligro como: Muy Bajo de 10° a 15° , Bajo de 10.1° a 5° , Medio de 0°C a 5.1°C , Alto de -10°C a 0.1°C y Muy Alto de -20° a -10.1° . Finalmente, al realizar una interpolación de tipo IDW (distancia inversa ponderada) se identifica el comportamiento de la temperatura mínima extrema por periodos de retorno.

Imagen 53 Mapa del promedio de temperaturas mínimas extremas.



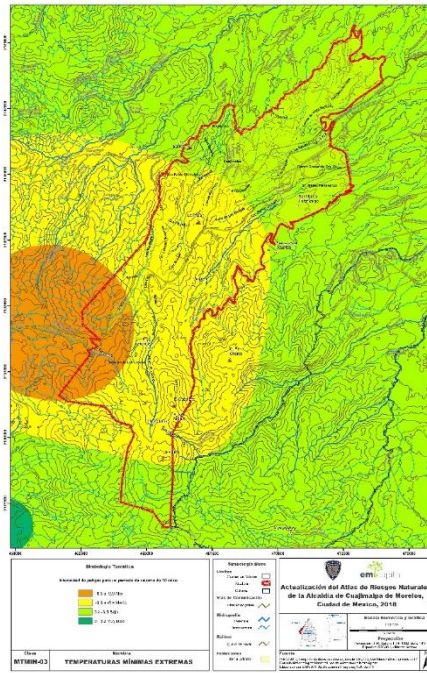
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 54 Mapa de temperaturas mínimas extremas para un Tr=5 años



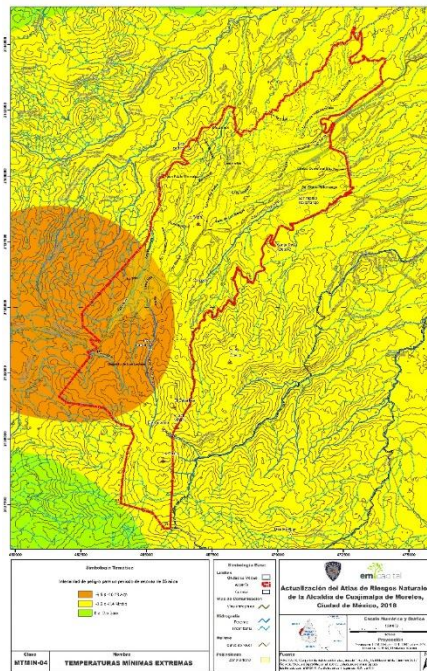
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 55 Mapa de temperaturas mínimas extremas para un $Tr=10$ años



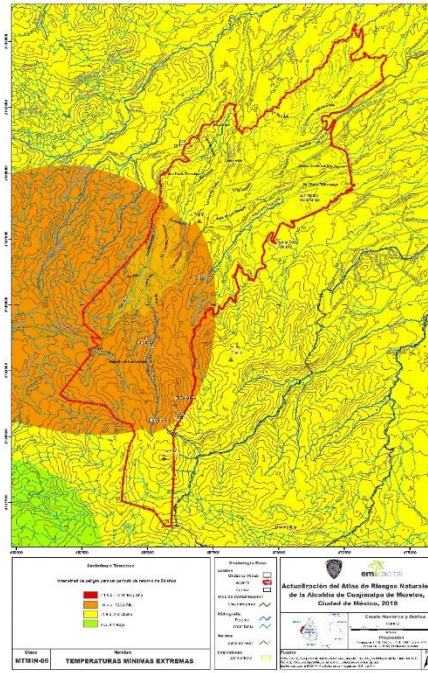
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 56 Mapa de temperaturas mínimas extremas para un $Tr=25$ años



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 57 Mapa de temperaturas mínimas extremas para un Tr=50 años



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

3.2.3 Sequías

Un déficit significativo de agua, representa en realidad una sequía, ya sea respecto a su duración como de su extensión territorial (CENAPRED, CNPC, 2017). Los niveles de agua en los diferentes tipos de escurrimiento superficial disminuirían cuantiosamente. La severidad de la sequía radica en que es variable en el espacio ya que puede abarcar grandes extensiones de territorio, además de durar meses o años. La interrelación de diferentes variables meteorológicas, como son la temperatura, cantidad de luz solar, presiones atmosféricas, evaporación, etc. conlleva a la formación de lluvia, el cual es el fenómeno principal para distinguir una sequía, sin embargo poder caracterizar todas estas variables y discernir cuándo ocurrirá una sequía es difícilmente determinado.

3.2.3.1 Causas de las sequías

Las principales causas de las sequías están relacionadas con cambios en las presiones atmosféricas y alteraciones en la circulación general de la atmósfera (variaciones de los vientos a escala planetaria), así como modificaciones en la cantidad de luz solar reflejada en la superficie de la Tierra, cambios en la temperatura de la superficie de los océanos e incrementos en las concentraciones de bióxido de carbono en la atmósfera, que a su vez ocasionan variaciones espacio-temporales de las precipitaciones (CENAPRED, Sequías, 2007).

Imagen 58 La sequía puede llegar a afectar amplias regiones y durar meses o años



Fuente: Christian Palma, Desierto de los Leones

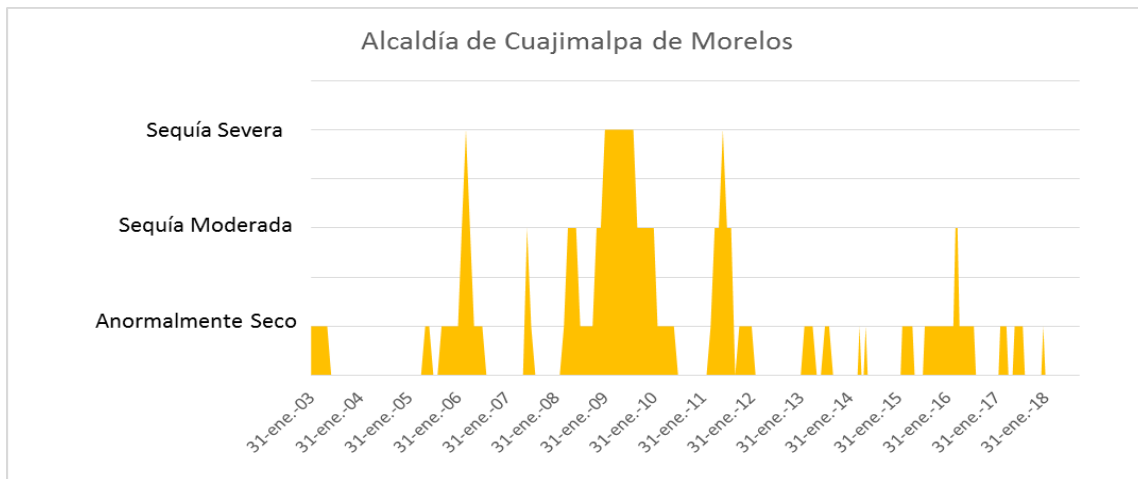
El Servicio Meteorológico Nacional se encarga de detectar el estado actual y la evolución de este fenómeno. Para ello se apoya en el Monitor de Sequía en México (MSM) que a su vez forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (SMN, 2018).

El Monitor de Sequía en México se basa en la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía tales como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) que cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación (30, 90, 180, 365 días), Anomalía de Lluvia en Porcentaje de lo Normal (30, 90, 180, 365 días), Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada, el Modelo de Humedad del Suelo Leaky Bucket CPC-NOAA que estima la humedad del suelo mediante un modelo hidrológico de una capa, el Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI), la Anomalía de la Temperatura Media, el Porcentaje de Disponibilidad de Agua en las presas del país y la aportación de expertos locales. Estos índices se despliegan en capas y mediante un consenso se determinan las regiones afectadas por sequía, de acuerdo a la escala de intensidades que es común en los tres países que va desde anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) hasta sequía excepcional (D4) (SMN, 2018).

En el año 2009 el Servicio Meteorológico Nacional informó que el volumen de lluvia fue 18% inferior al del promedio histórico de los últimos 70 años, siendo la peor sequía que azotaba al país, habiendo causado sequías de tipo severas durante los meses de enero a agosto dentro de la Alcaldía.

De acuerdo con el Monitor de Sequía en México¹, Cuajimalpa ha registrado sequías de tipo anormalmente seco a sequía moderada.

Imagen 59 Comportamiento de sequias por evento en la Alcaldía. Periodo de enero de 2003 a enero 2018 (SMN, 2018)



Fuente: SMN

Durante los últimos 15 años, en promedio, la alcaldía ha presentado 4.8 eventos de sequía de tipo anormalmente seco, con base en los datos del Monitor de Sequía de México.

¹Archivos shapefiles del Monitor de Sequía en México (MSM) generados en el Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN).

Tabla 59 Número total de eventos registrados de los tipos de sequía a nivel Alcaldía, por año.

	Anormalmente Seco	Sequía Moderada	Sequía Severa	Sequía Extrema	Sequía Excepcional	Año
	5	0	0	0	0	2003
	0	0	0	0	0	2004
	6	0	0	0	0	2005
	4	2	1	0	0	2006
	1	1	0	0	0	2007
	5	5	0	0	0	2008
	0	4	8	0	0	2009
	5	1	0	0	0	2010
	4	4	1	0	0	2011
	1	0	0	0	0	2012
	5	0	0	0	0	2013
	2	0	0	0	0	2014
	16	0	0	0	0	2015
	13	2	0	0	0	2016
	9	0	0	0	0	2017
	1	0	0	0	0	2018
Promedio	5		1	1	0	0

Fuente: Monitor de Sequía en México

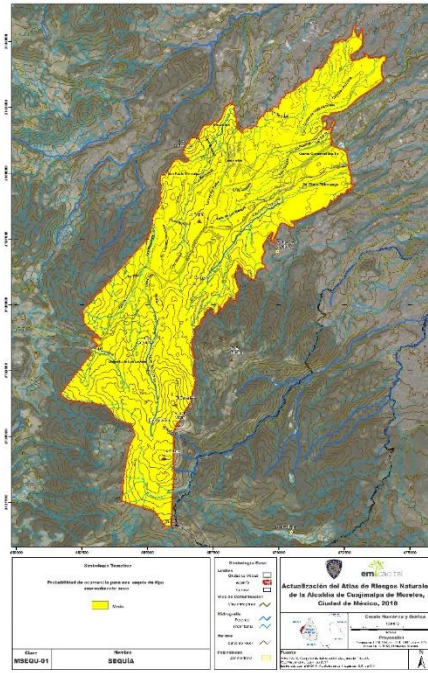
La falta de lluvias ocasionó que en el año de 2009 se tuviera un gran desabasto de agua potable. De acuerdo con el testimonio del director del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, ese año fue la peor sequía de los pasados 40 años. Sistemas como el Sistema Cutzamala y las diferentes presas que la conforman disminuyeron su nivel considerablemente (Ramírez, 2009).

Es importante destacar que en zonas urbanas, la falta de agua debe diferenciarse de la escasez, esto por una mala administración e intervención del ser humano y por el otro lado la sequía, lo cual es por las bajas mediciones de alturas de precipitación de lluvia.

Una vez obtenidos los valores del número de eventos registrados de sequía en la Alcaldía, se tipificó el peligro con base en porcentajes de ocurrencia presentados durante el periodo de registro del Monitor de Sequía de México, por lo que se tiene:

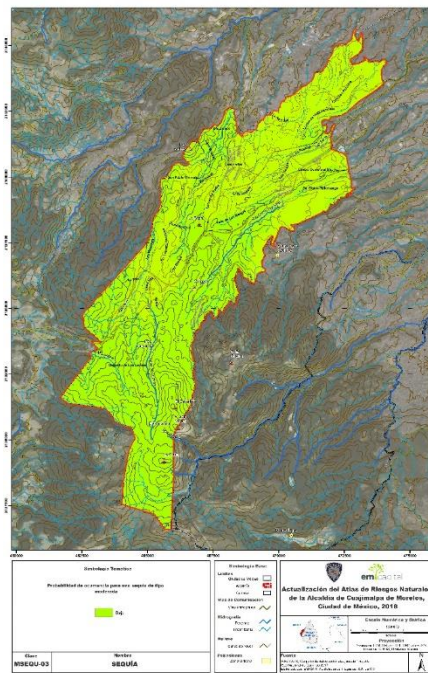
“Muy bajo” con valores de 0% a 5 %, “Bajo” del 5.1 % a 20 %, “Medio” del 20.1 % al 40 %, “Alto” de 40.1 % a 60 % y “Muy Alto” valores mayores al 60.1 %. Esta tipificación se realizó con base en cada tipo de sequía, es decir, durante cada periodo de análisis se calculó el porcentaje en que tuvo ocurrencia el evento, según el número total del registro de medición del Monitor de Sequía.

Imagen 60 Mapa de intensidad de sequía de tipo anormalmente seco.



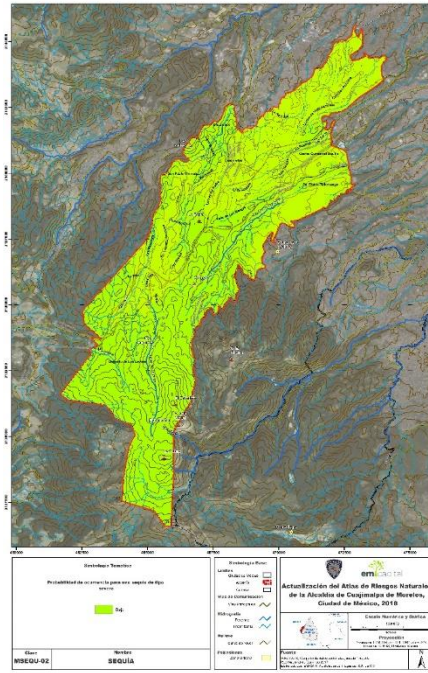
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 61 Mapa de intensidad de sequía de tipo moderada



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 62 Mapa de intensidad de sequía de tipo severo



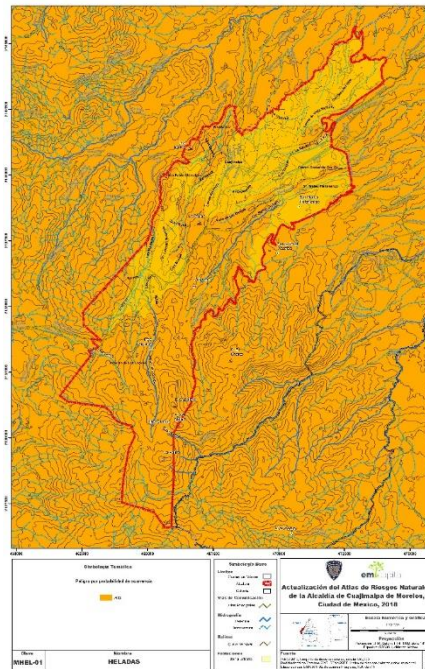
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

3.2.4 Heladas

Una helada se constituye cuando la temperatura ambiente desciende a un valor menor o igual a 0°C, consecuentemente, la escarcha de agua en la vegetación, pequeños cuerpos de agua u objetos expuestos en la intemperie tienden al punto de congelación, toda vez que la temperatura ambiente alcanza el punto de congelación del agua. La agricultura y ganadería resultan afectados por este tipo de fenómenos, dejando vulnerable los cultivos, ganado, aves, personas de escasos recursos económicos, productividad laboral. En las poblaciones urbanas es común que se presente la ruptura de tuberías de conducción de agua al congelarse.

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional, si a las 18:00 horas se localiza un cielo despejado y una temperatura ambiente igual o menor a 3°C, existe una alta probabilidad de que se presente una helada. La Alcaldía está caracterizada como un lugar con alto peligro por probabilidad de ocurrencia de heladas, de acuerdo al “Índice de días con helada por municipio” en el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED).

Imagen 63 Mapa de probabilidad de ocurrencia de heladas



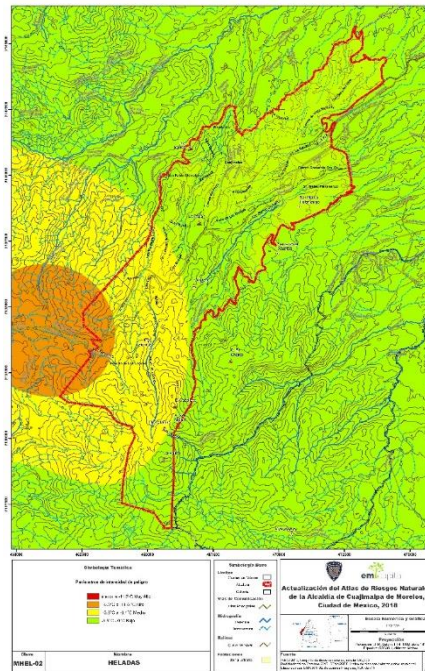
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del CENAPRED

3.2.4.1 Metodología para la determinación del peligro por Heladas.

Con base en los datos de temperaturas mínimas diarias de las estaciones meteorológicas base del Servicio Meteorológico Nacional, se obtuvieron las temperaturas menores a 0°C. Tomando la misma metodología para cada estación, se realizó una interpolación tipo IDW para crear isotermas promedio que identifiquen la intensidad de los eventos ocurridos en la Alcaldía.

Se tipifica la intensidad del peligro como: Bajo de 0° a -3.5°, Medio de -3.6° a -6.4°, Alto de -6.5° a -11.5° y Muy Alto a valores menores a -11.5°.

Imagen 64 Mapa de peligro por heladas.

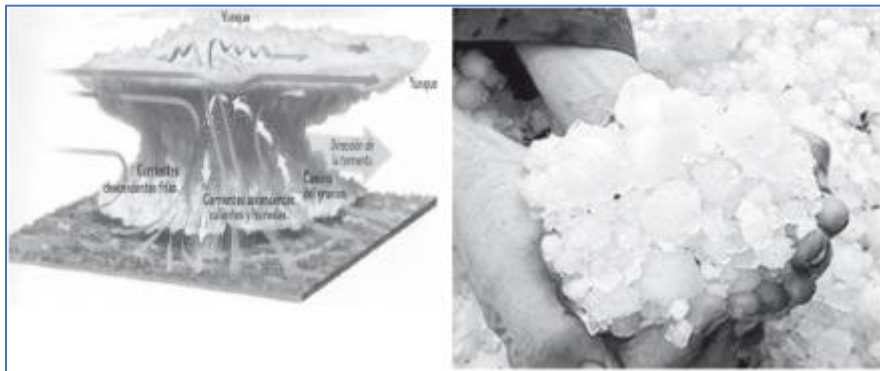


Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

3.2.5 Tormentas de granizo

El granizo es un tipo de precipitación en forma de glóbulos o trozos de hielo, que alcanzan a tener un diámetro de 5 cm. De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional, este fenómeno se observa durante fuertes tormentas conectivas en las cuales el desarrollo de los cumulonimbos es rápido.

Imagen 65 Formación de tormentas de granizo



Fuente: CENAPRED Ejemplo de una granizada. Las partículas pueden llegar a alcanzar el tamaño de una bola de béisbol.

Las diferentes corrientes de aire presentes en la formación de una tormenta de granizo, influyen para que las gotas de agua higroscópica asciendan o desciendan a diferentes altitudes, y al tener una serie de colisiones de partículas de hielo con gotas de agua de diversos diámetros, las partículas suspendidas en estado líquido chocan con las partículas de granizo que, al llegar a una temperatura para su solidificación, se incrementan el diámetro de la partícula y por lo tanto su peso, por lo que las corrientes de aire no pueden soportarlas y caen.

Las piedras de granizo se caracterizan por tener diámetros desde 5 mm hasta pedriscos del tamaño de una pelota de béisbol.

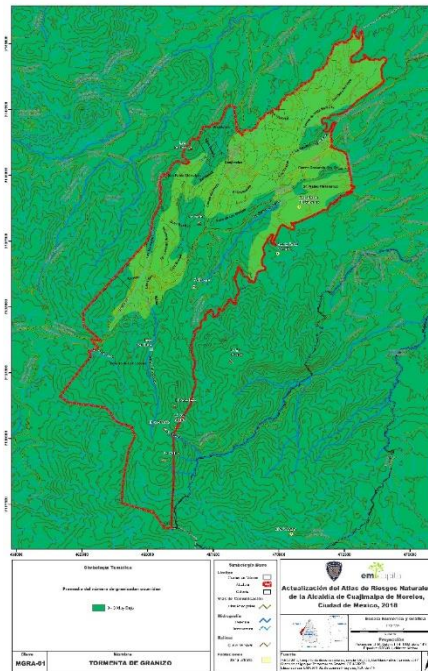
Cuando el granizo se deposita sobre la superficie terrestre exhibe un patrón angosto y largo a manera de un corredor. La mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20 y 50, tanto en el hemisferio norte como en el sur.

3.2.5.1 Metodología para la determinación del peligro por Granizadas

Con base en las fuentes de información obtenidas de las estaciones meteorológicas base, descritas en el capítulo de Ondas Cálidas, se calcularon los valores promedios anuales históricos de granizadas por cada ubicación. Asimismo, se registra el número de eventos ocurridos por cada año y finalmente se caracterizan los niveles de peligro por ocurrencia de granizadas en la Alcaldía de Cuajimalpa.

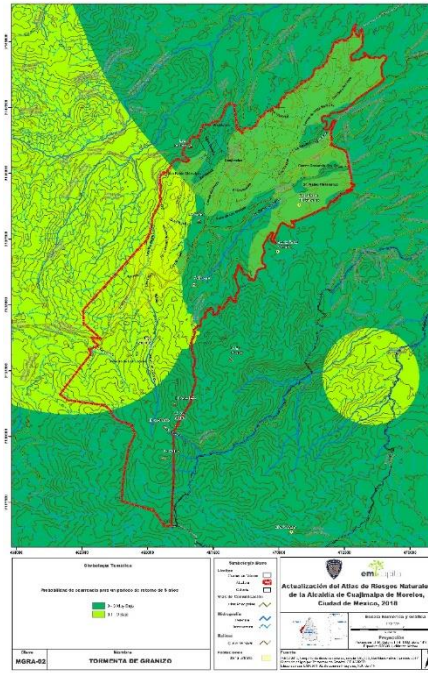
Se tipifica el grado de peligro como: Muy Bajo al número de eventos registrados entre 0 a 3, Bajo de 4 a 9, Medio de 10 a 15, Alto de 16 a 20 y Muy Alto de 21 a 25.

Imagen 66 Mapa del promedio del número de granizadas



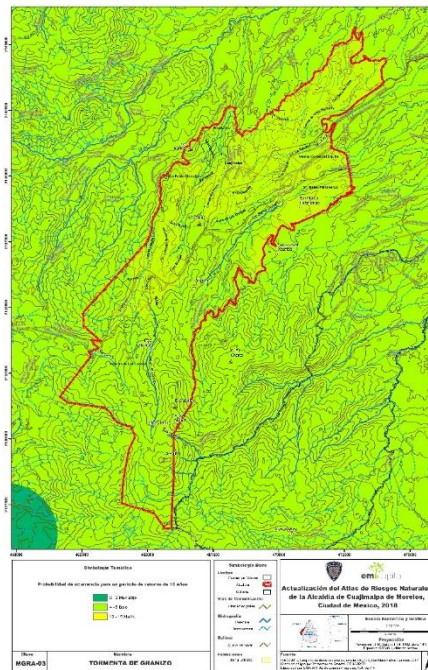
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 67 Mapa de peligro por granizadas para un $Tr=5$ años.



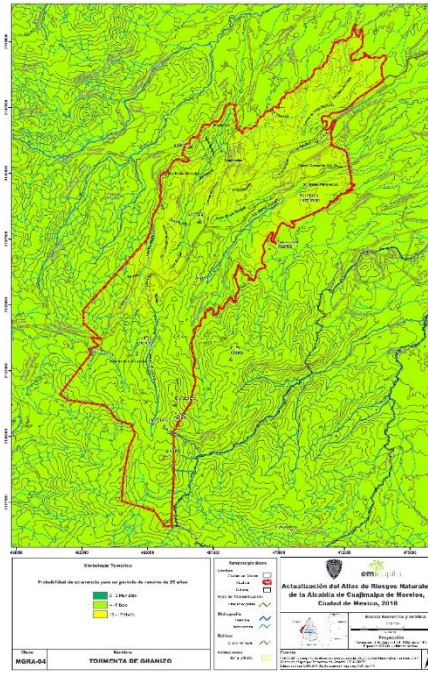
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 68 Mapa de peligro por granizadas para un $Tr=10$ años.



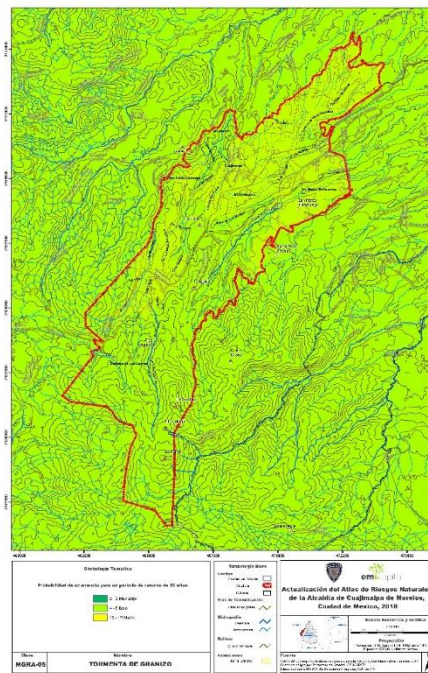
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 69 Mapa de peligro por granizadas para un $Tr=25$ años.



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 70 Mapa de peligro por granizadas para un $Tr=50$ años.



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

3.2.6 Tormentas de nieve

Las tormentas de nieve o nevadas, lo cual es otra forma de la precipitación, se caracterizan por los descensos en las temperaturas a nivel superficial. Valores iguales o menores a 0°C, cantidades de humedad y aire caliente que se eleve por encima de las corrientes de aire frío, son elementos principales para la ocurrencia de una nevada. Los cristales de hielo que se forman, se unen y sufren transformaciones, obteniendo una variedad infinita de formas de su ramificación de cristales hexagonales planas.

Las nevadas principalmente ocurren en el norte del país y en las regiones altas. Durante la estación invernal en las sierras del estado de Chihuahua suceden en promedio más de seis nevadas al año, mientras que en algunas regiones al norte de Durango y Sonora, las nevadas tienen una frecuencia de tres veces al año, no exceptuando así las nevadas que han afectado a las ciudades del centro del país, como las de Toluca, México, Puebla, Tlaxcala y San Luis Potosí.

La Ciudad de México presenta nevadas frecuentes en cotas de altitud altas, sin embargo, el grado de peligro por nevadas es bajo a muy bajo, de acuerdo a la “Evaluación de índices de peligro a escala municipal para algunos fenómenos hidrometeorológicos” del CENAPRED. En la zona urbana de la Alcaldía, la ocurrencia de nevadas es medio a bajo, sin embargo los daños que podrían ocasionarse durante una nevada son principalmente el caos del tráfico, apagones y taponamiento de drenajes, acumulación de nieve en techos que pueden llegar a colapsarse, bloqueo de caminos, congelamiento de la red de agua potable, suspensión de labores y, en zonas rurales, principalmente a personas vulnerables de bajos recursos económicos así como daños a cultivos.

Imagen 71 Nevada ocurrida el viernes 18 de abril de 2014 (orilla de la carretera México-Toluca)



Fuente: Periódico La Jornada, Yazmín Ortega Cortés

Debido a la situación geográfica de nuestro país, son pocas las regiones afectadas por nevadas, siendo más acentuado este fenómeno en regiones altas, como montañas o sierras, principalmente durante el invierno. Un caso extraordinario ocurrió en el invierno de 1967, donde aproximadamente el 50% del territorio nacional resultó afectado por una nevada, incluso la ciudad de México.

Imagen 72 nevada histórica ocurrido el 11 de enero de 1967 en la Ciudad de México



Fuente: NATIONAL GEOGRAPHIC EN ESPAÑOL

3.2.6.1 Metodología para la determinación del peligro por Nevadas.

Del libro Guía Básica, página 386, en la región del Nevado de Toluca se tienen las siguientes funciones de peligro para el Nevado de Toluca:

Imagen 73 Función de peligro para el primer grupo, altitud > 3000 msnm

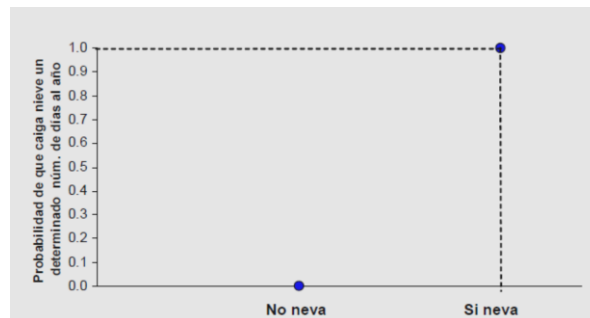
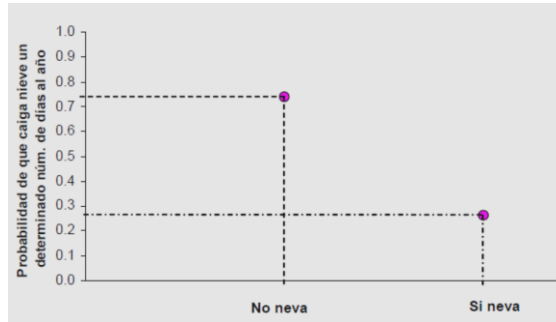
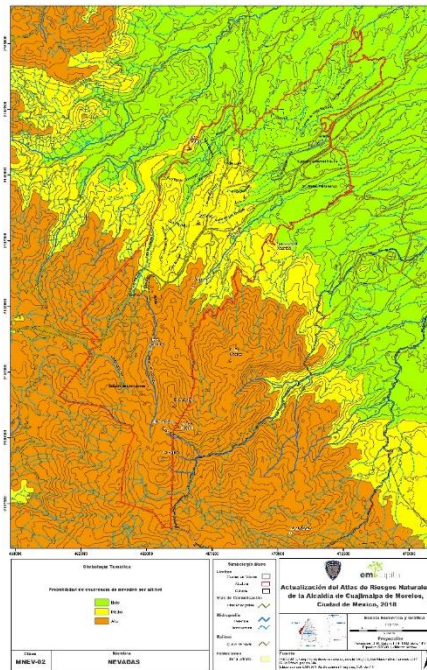


Imagen 74 Función de peligro para el segundo grupo, altitud entre 2751 y 3000 msnm.



Dadas las funciones de probabilidad de ocurrencia por altimetría, se clasifican los niveles de peligro por ocurrencia de nevadas.

Imagen 75 Mapa de peligro de nevadas (tormentas de nieve)



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del INEGI (curvas de nivel)

3.2.7 Ciclones tropicales

La Ciudad de México, al encontrarse dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano al Sur, la Sierra Madre Occidental al Oeste, la Sierra Madre Oriental al Este y al Norte la cierran las confluencias de ambas sierras, éstas fungen como barreras orográficas que impiden que las masas de aire confluyan directamente en la Alcaldía por lo que este fenómeno **No Aplica al igual que los tornados.**

3.2.8 Tormentas polvo

No se han tenido registros de este fenómeno en la zona de estudio.

NO APLICA

3.2.9 Tormentas eléctricas

Las condiciones meteorológicas que caracterizan a una tormenta eléctrica son, principalmente por la presencia de rayos, descritos por una descarga eléctrica producida por la fricción entre las nubes y la Tierra. Las diferencias entre trueno y relámpago son que, al producirse una descarga eléctrica por medio del rayo, esta genera una luz la cual se le denomina relámpago, asimismo el sonido producido por la descarga eléctrica se le conoce como trueno.

En el tipo de nubes meteorológicas que caracterizan a las tormentas eléctricas, las denominadas cumulonimbus, la formación de las cargas eléctricas es una compleja estructura de una auténtica nube de tormenta, en el recaen estudios sobre las colisiones entre las partículas de hielo de diferentes tamaños dentro de la nube, y las transferencias de carga que las acompañan.

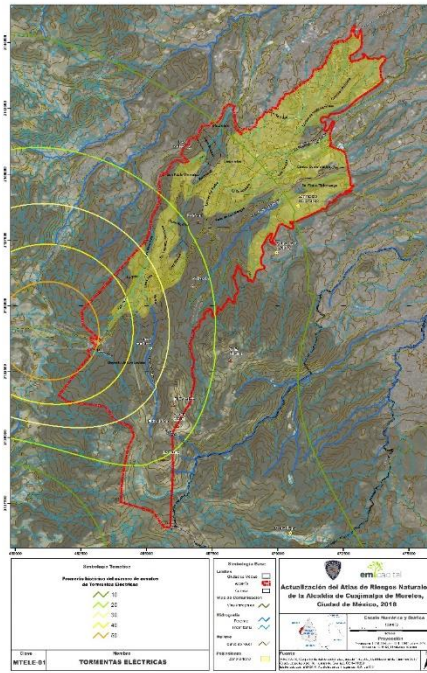
Las tormentas eléctricas por lo general están acompañadas por vientos fuertes, lluvia copiosa y a veces nieve, granizo, o sin ninguna precipitación. Aquellas que producen granizo son denominadas granizadas. Las tormentas eléctricas fuertes o severas pueden rotar, en lo que se denomina superceldas. Mientras que la mayoría de las tormentas eléctricas se desplazan con la velocidad de desplazamiento promedio del viento en la capa de la tropósfera que ocupan, cortes de viento verticales pueden causar una desviación en su curso de desplazamiento en dirección perpendicular a la dirección de corte del viento.

3.2.9.1 Metodología para la determinación del peligro por Tormentas eléctricas

Partiendo desde las estaciones base y con base en la metodología de extracción de información descrita en el capítulo de Ondas Cálidas del presente estudio, se extrapolan los valores ajustados para periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 por medio de la función de distribución Gumbel. Para la interpolación se utilizó el método IDW (Inverse Distance Weighted), con ayuda de un sistema de información geográfica.

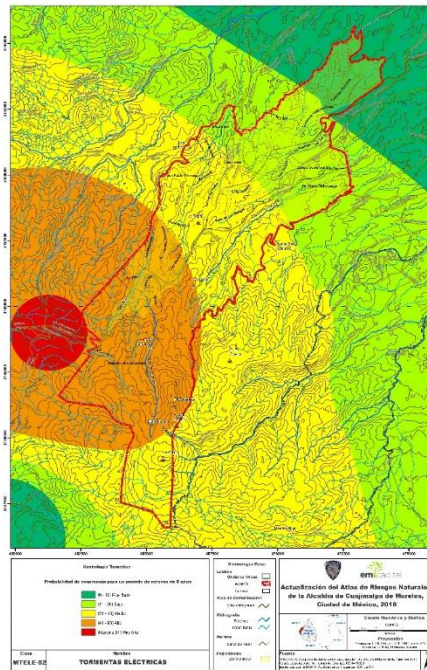
Se tipifica el peligro como: 0 a 10 eventos como Muy Bajo, Bajo de 11 a 20, Medio de 21 a 40, Alto de 41 a 90 y Muy Alto mayores a 91.

Imagen 76 Mapa del promedio del número de eventos registrados de tormentas eléctricas.



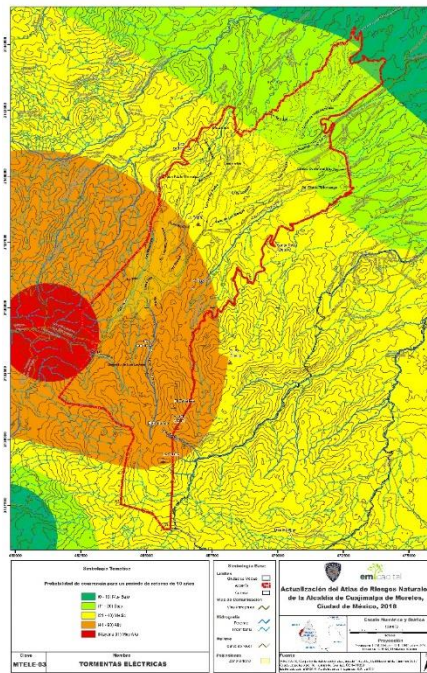
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 77 Mapa de peligro para la ocurrencia de tormentas eléctricas para un periodo de retorno de 5 años



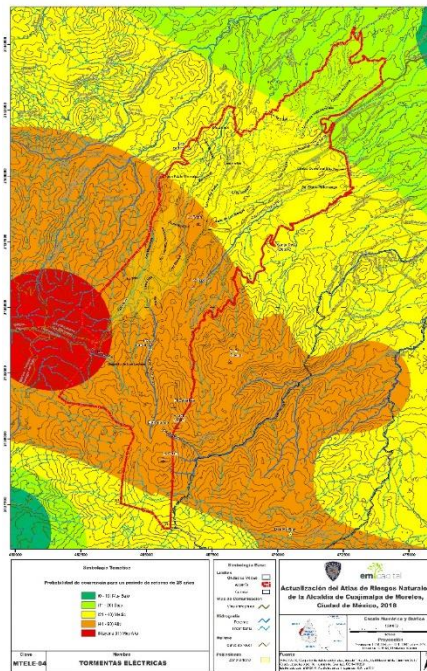
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 78 Mapa de peligro para la ocurrencia de tormentas eléctricas para un periodo de retorno de 10 años



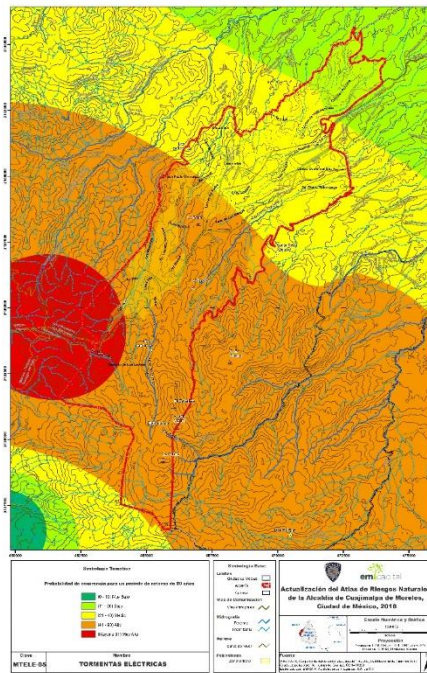
Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 79 Mapa de peligro para la ocurrencia de tormentas eléctricas para un periodo de retorno de 25 años



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 80 Mapa de peligro para la ocurrencia de tormentas eléctricas para un periodo de retorno de 50 años



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

3.2.10 Viento

El viento es una mezcla de gases que constituyen la atmósfera terrestre (aire) que se encuentra en movimiento con relación a la superficie de la Tierra y que generalmente se usa para referirse a su movimiento horizontal. Hay cuatro aspectos del viento que se miden: dirección, velocidad, tipo (ráfagas y rachas) y cambios.

Los cambios superficiales se miden con veletas y anemómetros, mientras que los de gran altitud se detectan con globos o sondas.

Dependiendo de la forma del relieve y condiciones meteorológicas, el viento se caracteriza de diferentes formas (SMN, 2018):

Viento Anabático

Viento ascendente debido a que la densidad del aire a lo largo de una pendiente es más débil que horizontalmente a alguna distancia de aquél. Este viento está asociado a un calentamiento de la superficie de la pendiente.

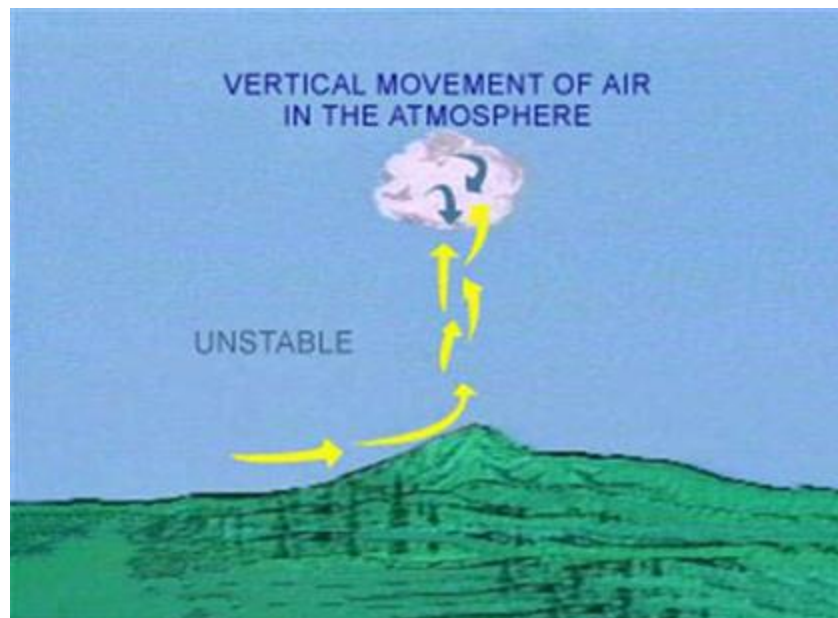
Viento Catabático.

Su nombre se deriva del griego kata (hacia abajo) y batos (que pasa). Es un viento que desciende debido a la marcada diferencia de la densidad del aire a lo largo de una ladera. Está asociado a un enfriamiento de la superficie de la ladera. Si el viento es cálido, se llama Föhn, si es frío puede ser un viento de desplome, como el bora. Se le conoce también como viento de montaña.

Viento Geostrófico

Es el viento resultante del equilibrio entre la aceleración de Coriolis y la fuerza del gradiente horizontal de presión. Sopla paralelamente a las isobaras o isohipsas. También Balance Geostrófico.

Imagen 81 Zona de Inestabilidad en Perfil



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Vientos Alisios

Sistema de vientos relativamente constantes en dirección y velocidad, desde los 30° de latitud hacia el Ecuador con dirección Noreste en el hemisferio Norte y Sureste en el hemisferio Sur. Son vientos tibios y húmedos en los que viajan las tormentas tropicales.

Vientos Alisios Superiores

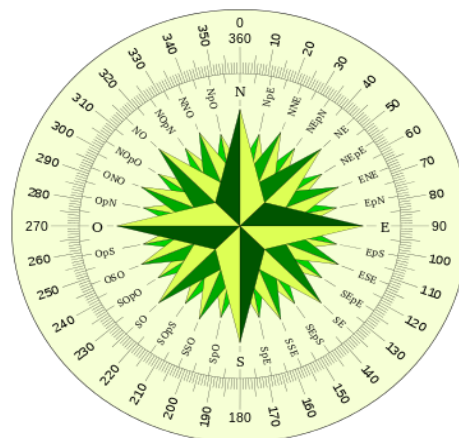
Viento planetario por encima del contralisio a unos 20 Km de altura. Soplan hacia el Ecuador del Noroeste.

En meteorología se suelen denominar los vientos según su fuerza y la dirección desde la que soplan. Los aumentos repentinos de la velocidad del viento durante un tiempo corto reciben el nombre de ráfagas. Los vientos fuertes de duración intermedia (aproximadamente un minuto) se llaman turbonadas. Los vientos de larga duración tienen diversos nombres según su fuerza media como, por ejemplo, brisa, temporal, tormenta, huracán o tifón. Para el presente estudio, se manejarán dirección y velocidad del viento.

Descripción de la Dirección del Viento

Se entiende por dirección del viento, la dirección de donde procede el viento. Así pues, un viento del Norte significa que procede del Norte y se dirige hacia el Sur. Para precisar la dirección del viento se utiliza la rosa náutica o rosa de los vientos, llamada así porque se supone que fue ideada por los marineros y, posteriormente, adoptada por los Servicios nacionales de meteorología. Para construirla se trazan dos rectas perpendiculares de manera que sus extremos coincidan con los cuatro puntos cardinales del lugar: Norte, Sur, Este y Oeste; posteriormente, cada uno de los cuadrantes se divide en ocho partes iguales, procediéndose a una numeración que responde a una división sexagesimal, que va de 0° a 360° partiendo del Norte y girando en sentido de las agujas del reloj.

Imagen 82 Rosa de los vientos

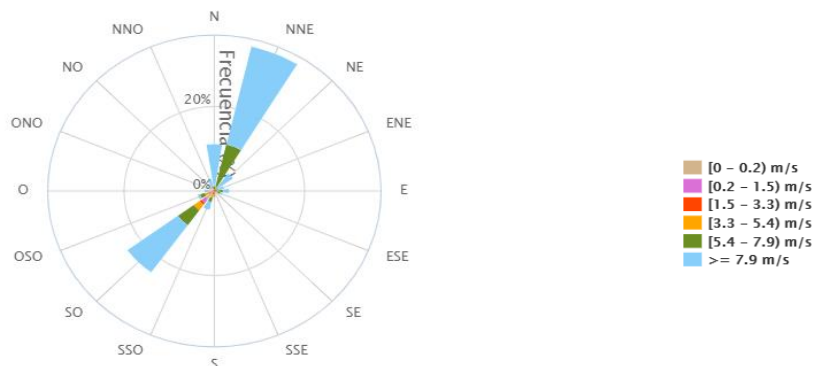


Fuente: Imagen tomada de Google imágenes

En la siguiente imagen se muestra la rosa de los vientos de la estación Santa Fe, obtenida de la red del Valle de México del Sistema Nacional de Información de la Calidad Del Aire (SINAICA). En ella se

muestra la velocidad del viento y la dirección correspondiente a dicha medición, con base en la forma geométrica de la rosa.

Imagen 83 Dirección del viento en estación Santa Fe. Datos del periodo de primavera de 2018 (de las 0 a las 23 horas)



Fuente: SINAICA, INECC

El instrumento más conocido y el más utilizado para determinar la dirección del viento es la veleta, que consiste en dos placas metálicas verticales, susceptibles de girar con gran facilidad alrededor de un eje también vertical; la veleta debe estar equilibrada de manera que su centro de gravedad coincida exactamente con el eje de giro, para que no tienda a colocarse por sí misma en una dirección determinada. Cuando la veleta tiene una sola placa vertical, suele experimentar oscilaciones bruscas cuando el viento es fuerte. Para evitar esto, se suele construir las veletas con dos placas verticales que estén perfectamente equilibradas y que formen un ángulo muy agudo; en este caso la dirección del viento viene dada por la bisectriz de dicho ángulo. Por último, a falta de veleta convenientemente montada, puede utilizarse una cinta ligera y flexible, atada al extremo de un mástil delgado, vertical y alto, para observar la dirección del viento.

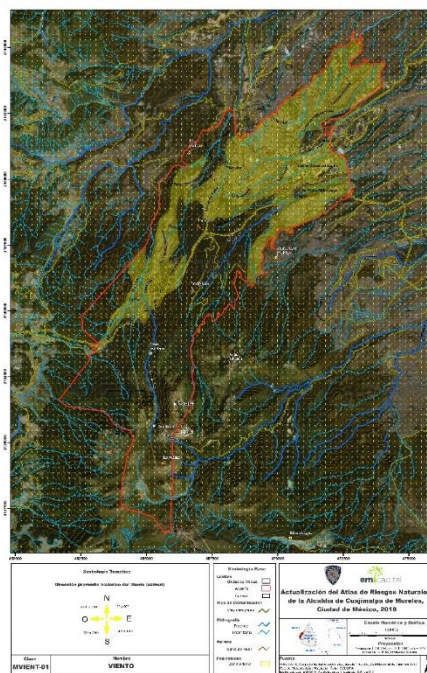
Imagen 84 Ejemplo de una Veleta



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Las veletas se instalan en la parte más elevada de los edificios o junto al suelo, pero, en este caso, en terreno completamente abierto y alejado de todo aquello que pueda influir en la dirección del viento, como construcciones, masas arbóreas, etc.

Imagen 85 Mapa de la dirección promedio histórico del viento (2000 al 2017)



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos de la Red de Meteorología y Radiación Solar, SEDEMA

Descripción de la Velocidad del Viento

La velocidad se mide con el anemómetro, que suele registrar dicha dirección y rapidez a lo largo del tiempo. Es un dispositivo que gira con el viento. El anemómetro rota a la misma velocidad del viento. Proporciona una medida directa de la velocidad del viento

La intensidad del viento se ordena según su rapidez utilizando la escala de Beaufort. Esta escala se divide en varios tramos según sus efectos y/o daños causados, desde el aire en calma hasta los huracanes de categoría 5 y los tornados.

Tabla 60 Escala de Beaufort

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Denominación	Efectos en tierra
0	0 a 1	Calma	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	Ventolina	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	Flojito (Brisa muy débil)	Se caen las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos de los campos
3	12 a 19	Flojo (Brisa Ligera)	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20 a 28	Bonancible(Brisa moderada)	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29 a 38	Fresquito (Brisa fresca)	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	39 a 49	Fresco (Brisa fuerte)	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas

7	50 a 61	Frescachón(Viento fuerte)	Se mueven los árboles grandes, dificultad para caminar contra el viento
8	62 a 74	Temporal(Viento duro)	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas muy difícil, los vehículos se mueven por sí mismos.
9	75 a 88	Temporal fuerte(Muy duro)	Daños en árboles, imposible caminar con normalidad. Se empiezan a dañar las construcciones. Arrastre de vehículos.
10	89 a 102	Temporal duro(Temporal)	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones. Daños mayores en objetos a la intemperie.
11	103 a 117	Temporal muy duro (Borrasca)	Destrucción en todas partes, lluvias muy intensas, inundaciones muy altas. Voladura de personas y de otros muchos objetos.
12	118	Temporal huracanado(Huracán)	Voladura de vehículos, árboles, casas, techos y personas. Puede generar un huracán o tifón

Fuente: Tabla tomada de Wikipedia

A partir de una base de estaciones obtenidas de SEDEMA, se procedió a depurar la información y asignar un periodo de análisis que consta a partir del año 2000 al 2018. Se obtuvieron valores máximos anuales por cada estación. Asimismo, se realizó un ajuste para obtener la curva de la función de distribución de probabilidad Gumbel y así poder extrapolar los valores a diferentes periodos de retorno.

Tabla 61 Estaciones SEDEMA

Clave de estación	Nombre de la estación	Longitud	Latitud	Altitud (m)
AJU	Ajusco	-99.16	19.15	2942
CUA	Cuajimalpa	-99.29	19.37	2704
FAC	FES Acatlán	-99.24	19.48	2299
INN	Investigaciones Nucleares	-99.38	19.29	3082
MER	Merced	-99.12	19.42	2245
MON	Montecillo	-98.90	19.46	2252
PED	Pedregal	-99.20	19.33	2326
SAG	San Agustín	-99.03	19.53	2241
SFE	Santa fe	-99.26	19.36	2599
TAH	Tláhuac	-99.01	19.25	2297
TLA	Tlalnepantla	-99.20	19.53	2311
VIF	Villa de las Flores	-99.10	19.66	2242
XAL	Xalostoc	-99.08	19.53	2160

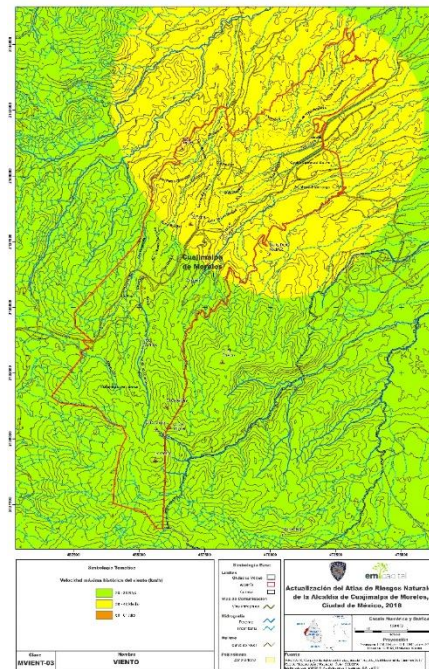
Fuente: Red de Meteorología y Radiación Solar, SEDEMA

Con base en la escala de Beaufort, se tipifica el peligro con los datos obtenidos de velocidad del viento de la Red de Meteorología y Radiación Solar como: Muy Bajo de 0 a 19 (km/h), Bajo de 20 a 38 (km/h), Medio de 39 a 49 (km/h), Alto de 50 a 61 (km/h), Muy Alto mayor a 62 (km/h).

Las velocidades del viento con grado de peligro Muy Bajo se caracterizan desde estar en calma hasta cuando las hojas de los árboles ondulan suavemente. Para el grado de peligro Bajo, esta se caracteriza por levantar polvo del suelo, los lagos empiezan a generar ondas debido a la superficie de rozamiento entre el viento y el espejo del agua, se levantan papeles del suelo. Con grado de peligro Medio se mueven las ramas de los árboles y con dificultad para mantener abierto el paraguas. Con grado de peligro Alto se mueven los árboles grandes y se presenta dificultad para caminar contra el viento. Finalmente, con un grado de peligro Muy Alto se quiebran las copas de los árboles, los vehículos se mueven por sí mismos, daños en árboles, imposible caminar con normalidad. Se empiezan a dañar las construcciones, daños mayores en objetos a la intemperie, voladura de vehículos, árboles, casas, techos y personas.

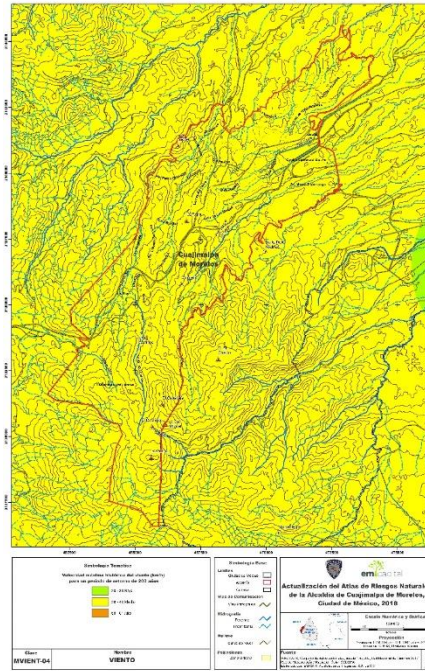
En la Alcaldía, las velocidades históricas máximas que se han presentado van desde los 20 kilómetros por hora hasta los 61 kilómetros por hora, por lo que se tipifica el peligro entre Bajo a Alto.

Imagen 86 Mapa de la velocidad máxima histórica del viento



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos de la Red de Meteorología y Radiación Solar, SEDEMA

Imagen 87 Mapa de la velocidad máxima histórica del viento para un periodo de retorno de 200 años.



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos de la Red de Meteorología y Radiación Solar, SEDEMA

3.2.11 Lluvias extremas

Las lluvias extremas se incluyen dentro de los análisis de inundación, por lo que no se incluye.

NO APLICA.

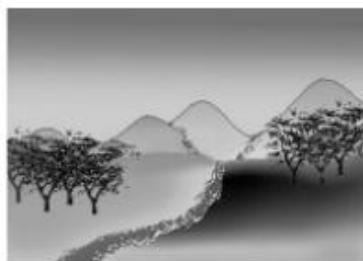
3.2.12 Inundación fluvial

Una inundación fluvial se concibe cuando los niveles máximos de flujo de aguas superficiales son excedidos, produciendo caudales máximos. En general, una inundación es la ocupación por parte del agua en las zonas que habitualmente están libres de esta, bien por desbordamiento de ríos debido a lluvias torrenciales o deshielo, o por subida de las mareas por encima del nivel habitual (pleamar máximo) o por avalanchas causadas por maremotos (CENAPRED, Inundaciones, 2014).

Las afectaciones de una inundación fluvial surgen a partir de asentamientos humanos en las márgenes del río o cualquier cuerpo de agua. Si los márgenes del río se encuentran libres de asentamientos humanos, al desbordarse un río, las zonas adyacentes se inundarían sin que esto signifique un problema (CENAPRED, Inundaciones, 2014).

Conforme crece la población, sus necesidades, infraestructura, etc., al desarrollarse en las partes aledañas de los cuerpos de agua, como consecuencia el riesgo de inundaciones se acrecienta debido a la ocupación de las cercanías a los cuerpos de agua.

Imagen 88 formación simple de una inundación.



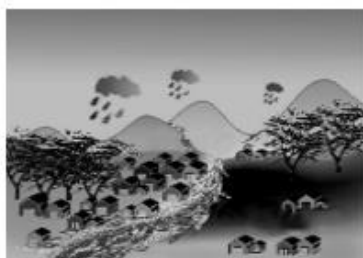
a) El entorno físico estaba en equilibrio.



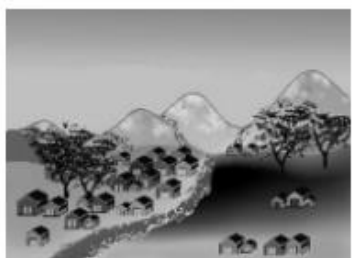
b) Se desborda el río y las zonas adyacentes se inundan, sin que esto signifique en sí, un problema.



c) Aparecen asentamientos humanos aledaños al río.



d) Cuando el río se desborda, los asentamientos humanos se ven afectados.



e) Adicionalmente se produce deforestación y erosión por actividades humanas.



f) Lo anterior agrava los problemas debidos a las inundaciones.

Fuente: CENAPRED, 2014

En la Alcaldía de Cuajimalpa, en general las corrientes de agua son de carácter intermitente, de orden 1 hasta alcanzar una orden de corriente 4. Dos de las principales corrientes son Agua de Leones proveniente desde el Cerro La Palma, el Rio Santo Desierto proveniente de los escurrimientos de los manantiales del Área Natural Protegida Desierto de los Leones.

Es importante destacar que las corrientes de agua están constantemente contaminadas por los asentamientos urbanos cercanos al lecho del río, descargas de agua residual, contaminación de basura, etc.

Imagen 89 Asentamientos humanos dentro del vestigio de un cauce, entre las calles Canadá y Atitla, San Pablo Chimalpa.



Fuente: Google Maps

Los ríos en su mayoría han dejado vestigio de la erosión, aunque no haya escurrimiento, los depósitos de bloques de rocas o los sedimentos depositados indican que la dinámica hidrológica de los ríos se ha presentado de forma súbita y que puede volver a presentarse al ocurrir un evento extraordinario.

En cualquier zona urbana los ríos se encuentran entubados o usados como descargas de aguas negras, e incluso se convierten en calles o avenidas principales, sin embargo, al desbordarse o al generarse una ruptura del tubo, los daños pueden ser catastróficos debido a que este tipo de inundación se genera en un suelo casi impermeable, generándose así en unos cuantos minutos un volumen de agua mucho mayor que en un suelo permeable, a esto comúnmente se le denomina inundación súbita.

Imagen 90 Flujo de agua residual, proveniente de los escurrimientos del Cerro La Papa, en el cruce con la calle Canadá, San Pablo Chimalpa.



Fuente: Google Maps

Los flujos provenientes desde las cotas más altas o de afloramientos de manantiales, presentan características fisicoquímicas muy estables, sin embargo al desembocar a una zona urbana sufren de constante contaminación. En el presente estudio se tomará como unidad básica de estudio a la Cuenca que se define como el área tributaria a un punto en el cual todos los escurrimientos van a dar a una salida (Aparicio, 1989).

Al ir aumentando el caudal de entrada en un escurrimiento, con base en los análisis obtenidos de la lluvia, la probabilidad de que el río se desborde es mayor pero la probabilidad de que suceda dicho evento será menor a medida de que a un corto plazo la inundación es más probable de que suceda.

Para conocer el origen de una inundación fluvial y poder diferenciarla de una pluvial, el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente a lluvia sobre la zona afectada.

3.2.12.1 Determinación del peligro por Inundación fluvial

En el ámbito de la Protección Civil, la idea de evaluar el peligro significa cuantificar en términos de probabilidad, la ocurrencia, en un lapso dado, de un fenómeno potencialmente dañino para los bienes expuestos.

Al momento de definir el peligro, conviene medir su potencial con una variable denominada "intensidad", ya que la caracterización de un fenómeno está completa si se especifica su intensidad (Ordaz, 1996).

Desde el punto de vista de las inundaciones, el método ideal para la obtención del peligro se basa en la información que se registra en las estaciones hidrométricas, a partir de las cuales se conoce el escurrimiento y sólo se caracteriza estadísticamente la avenida, sin embargo, en la mayoría de los casos no se cuenta con tal información, por lo que un método alternativo es usar un modelo lluvia escurrimiento.

Para determinar el gasto o caudal que llega al punto "B", bajo la lluvia máxima que se presenta con una frecuencia dada, apreciaremos lo siguiente:

Imagen 91 Ejemplo de una cuenca para calcular el caudal de salida.



Fuente: Departamento de Estructuración de Información Geoespacial, INEGI

Durante los primeros minutos de la lluvia, la intensidad de ésta es muy alta, pero como el tiempo es corto, no se ha alcanzado a drenar toda la cuenca, por lo que el gasto que pasa por el punto "B" no es muy grande.

A medida que transcurre el tiempo, la cuenca comienza a aportar más agua por efecto de que es mayor el área que se drena, pero por otro lado la intensidad de la lluvia va disminuyendo poco a poco.

El valor numérico del gasto o caudal se determina mediante el método racional:

$$Q = CiA$$

Donde:

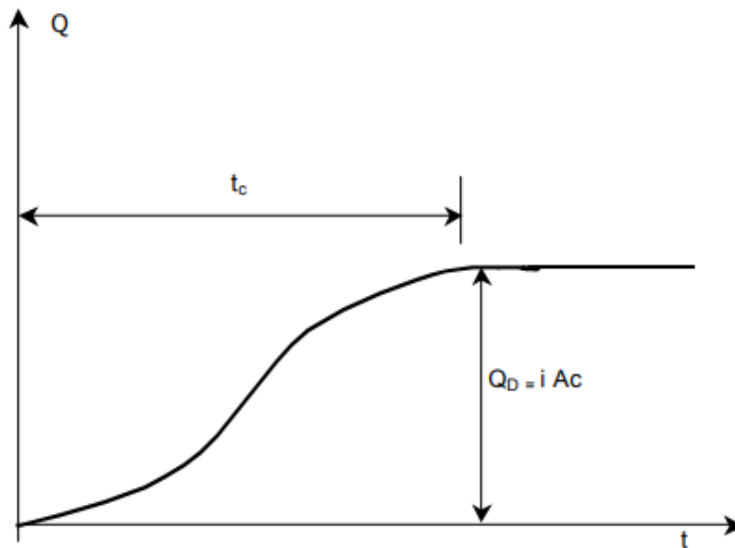
Q : Es el caudal en metros cúbicos por segundo

i : Es la intensidad en metros por hora,

A : Es la superficie de la cuenca en metros cuadrados

C : Es un coeficiente de escorrentía sin dimensiones.

Imagen 92 Hipótesis fundamental de la fórmula racional



Fuente: Hidrología Urbana, Dr. Agustín Breña Puyol

Tiempo de concentración

El tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia (punto "A") y el establecimiento del gasto de equilibrio (punto "B") se denomina tiempo de concentración, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Naturalmente, el tiempo de concentración T_c depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y de la velocidad que adquiere, en promedio, dentro de la misma.

Kirpich propone la siguiente expresión:

$$t_c = 0.0003245 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

Donde:

t_c : Tiempo de concentración en horas.

L : Longitud del cauce principal, definido como el de mayor recorrido, en kilómetros (km).

S : Pendiente de la cuenca adimensional

Coefficiente de escurrimiento

El criterio supone que las pérdidas son proporcionales a la intensidad de la lluvia. La constante de proporcionalidad es característica de cada tipo de cuenca drenada y se denomina coeficiente de escurrimiento. Se calcula con la expresión siguiente:

$$C = \frac{V_{ED}}{V_{LL}}$$

El criterio es empírico, y en general es el cociente entre el volumen de escurrimiento directo entre el volumen llovido y para su aplicación adecuada se necesita tener una amplia experiencia y de ser posible, contar con mediciones simultáneas de lluvia y escurrimiento, para tener una idea del valor del coeficiente de escurrimiento de la zona urbana de estudio.

Función de distribución de probabilidad.

La determinación del cómputo de los datos de las precipitaciones pluviales asignados a diferentes periodos de retorno se eligió la función de probabilidad Gumbel.

La función Gumbel se trabajó para el análisis de los valores extremos de dichos resultados.

Se estima la intensidad de la lluvia (i).

Una vez definido el periodo de retorno (T_r) de interés, se calcula la intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca que se puede estimar con alguno de los métodos probabilísticos o de regresión lineal múltiple.

Análisis Hidráulico

El resultado se reduce a conocer los niveles alcanzados por el agua en cualquier punto dentro de la zona de inundación.

El objetivo del análisis hidráulico es determinar los niveles de aguas máximas para crecidas de periodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

Para tales objetivos se deben puntualizar las siguientes consideraciones antes de proponer el modelo de conceptualización del flujo en las distintas corrientes.

1. El flujo es estacionario. Los valores de las variables no dependen del tiempo, que no interviene en los cálculos.
2. El flujo es gradualmente variado: no hay cambios bruscos de las características hidráulicas, de manera que puede suponerse una distribución hidrostática de la presión.
3. El flujo se considera unidimensional con corrección para distribución horizontal de velocidad. La altura de la energía es igual para todos los puntos de esta sección.
4. La pendiente del cauce ha de ser menor a un 10%, debido a que la altura de presión se supone equivalente a la cota de agua medida verticalmente.
5. Régimen único en cada tramo estudiado, admitiendo lento o rápido pero sin cambio en régimen.
6. La pendiente de la línea de energía es uniforme entre dos secciones transversales.
7. El lecho del cauce es fijo.

Simulación del Modelo Matemático

Con base en la información obtenida del análisis hidrológico, las simulaciones de los calados de las inundaciones se realizaron en el modelo matemático bidimensional IBER (FLUMEN).

El modelo matemático resuelve de forma iterativa la ecuación de la conservación de la energía para calcular el nivel del agua en una sección a partir de un nivel conocido en otra. Para calcular las pérdidas por fricción se utiliza la fórmula de Manning.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde:

Z1, Z2: cargas de las secciones.

Y1, Y2: tirantes de agua.

V1 y V2: Velocidades

h_e: Pérdidas de energía.

g: Aceleración de la gravedad.

En este caso, el software empleado para ejecutar las simulaciones matemáticas es Iber, que es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento a superficie libre en régimen no permanente y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial.

La información topográfica utilizada fue LIDAR (Light Detection and Ranging) por sus siglas en inglés, obtenida por el INEGI para generar el MDE (modelo digital de elevaciones), logrando una resolución

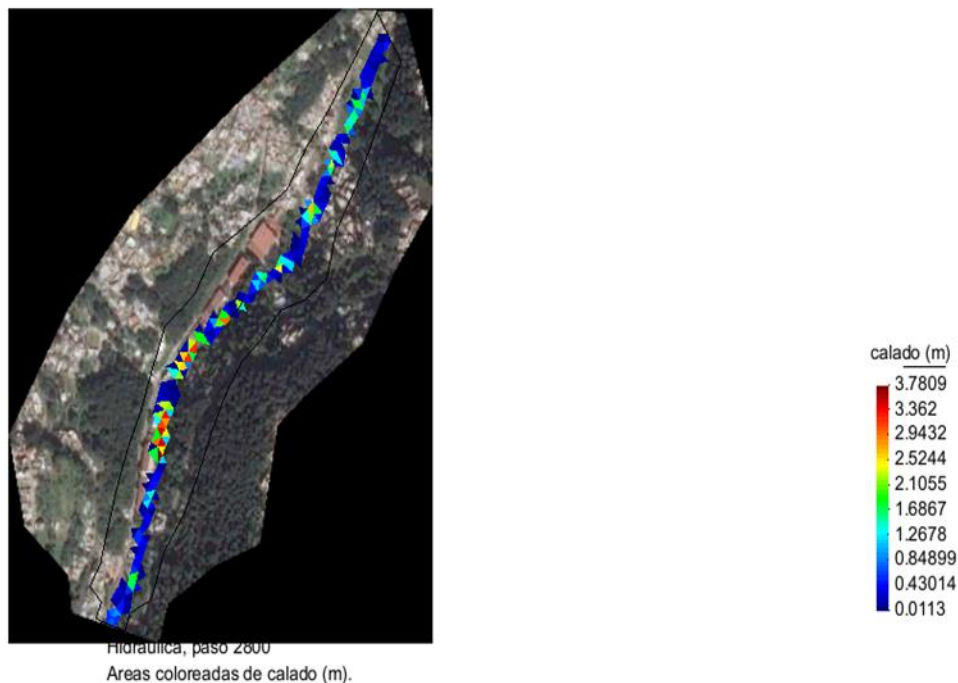
de 5 metros. El MDE se recortó según las dimensiones de la zona de estudio mediante un Sistema de Información Geográfica.

El modelo digital de elevación fue procesado en Iber y se consideró la hidrodinámica del cauce mediante las condiciones de contorno y condiciones iniciales, así como también la rugosidad.

La condición inicial se refiere al tirante inicial del cauce referido en metros sobre el nivel del mar, que inicialmente es un calado con valor cero; las condiciones de contorno se refieren a los gastos de entrada en régimen crítico/subcrítico como un caudal total y una salida en condición del flujo supercrítico/crítico; mientras que para la rugosidad se empleó un coeficiente de Manning en toda la zona de estudio igual a 0.025.

Posterior a esto, se procedió a calcular una malla no estructurada de superficie, seguidamente se carga la malla en formato *ascii* del terreno a evaluar. El último proceso antes de iniciar la simulación es la introducción de datos del problema, es decir, el tiempo máximo de simulación y el intervalo de resultados. Finalmente se procedió a ejecutar la simulación y visualizar los resultados.

Imagen 93 Visualización del resultado de una simulación en IBER.



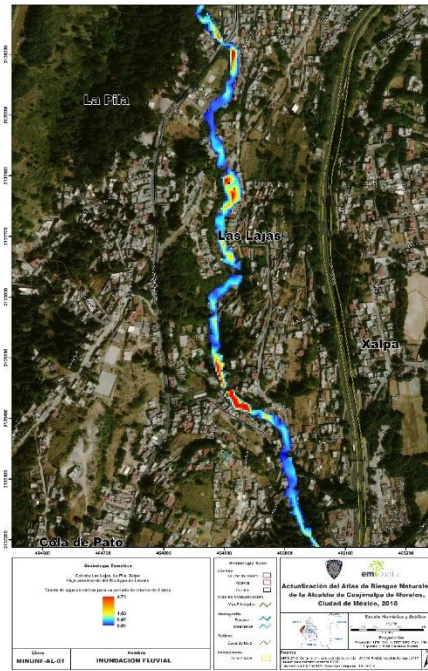
Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

La revisión hidráulica mediante modelos de simulación numérica del flujo se realizó para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500. Sin embargo para el presente estudio y con base en los términos de referencia para la Elaboración de y/o Riesgos 2018, se incluirán mapas de tirante para periodos de retorno de 2, 100 y 500 así como su respectivo mapa del peligro.

Las colonias involucradas dentro de las simulaciones de los flujos de inundación fueron: Las Lajas, La Pila, Xalpa que corresponden al flujo proveniente del Rio Agua de Leones; Parte de San Pablo Chimalpa y Zentlapatl que corresponde a una corriente de carácter intermitente proveniente desde el Cerro La Papa, El Ocotál; Lomas del Chamizal en los límites de la Alcaldía por una corriente intermitente; San Pablo Chimalpa, en la salida del escurrimiento que se encuentra aguas abajo de los afloramientos de los manantiales de San Pablo Chimalpa proveniente del Rio Borracho; San Mateo Tlaltenango, con el flujo proveniente del Rio Santo Desierto llamado también Rio Hueyatla.

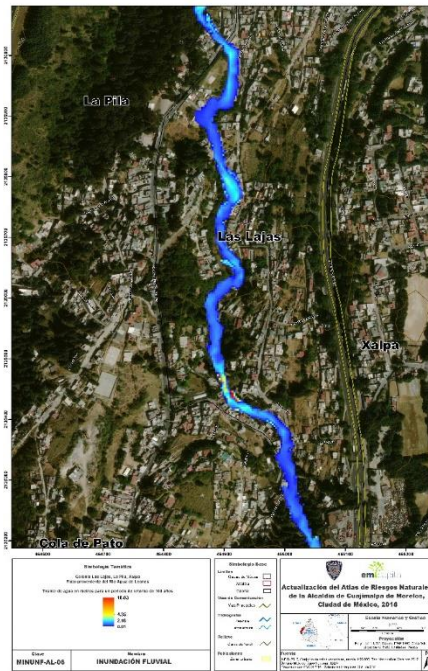
Río Agua de Leones

Imagen 94 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 2 años. Colonias Las Lajas, La Pila y Xalpa



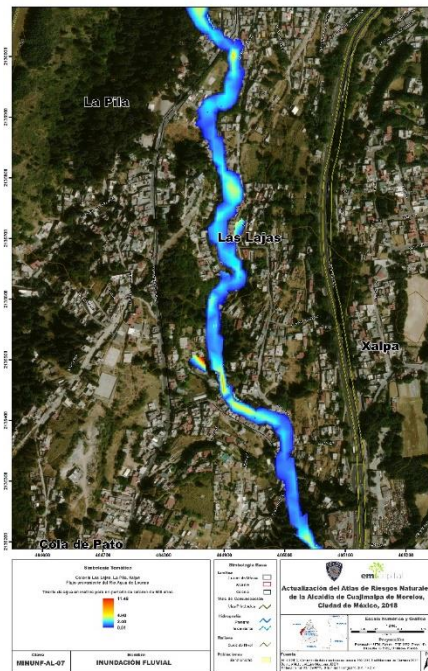
Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 95 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 100 años. Colonias Las Lajas, La Pila y Xalpa



Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

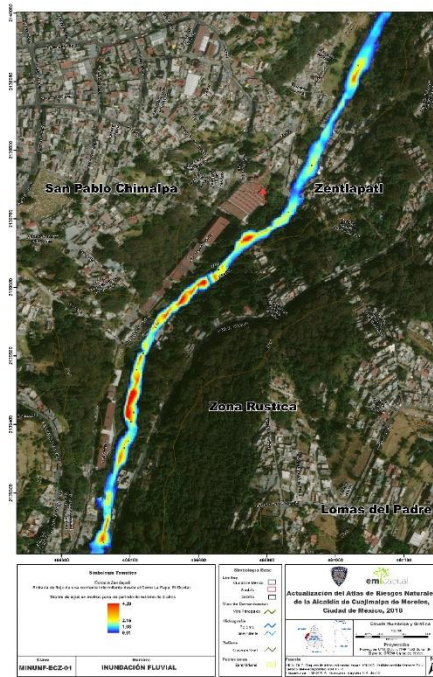
Imagen 96 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 500 años. Colonias Las Lajas, La Pila y Xalpa



Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

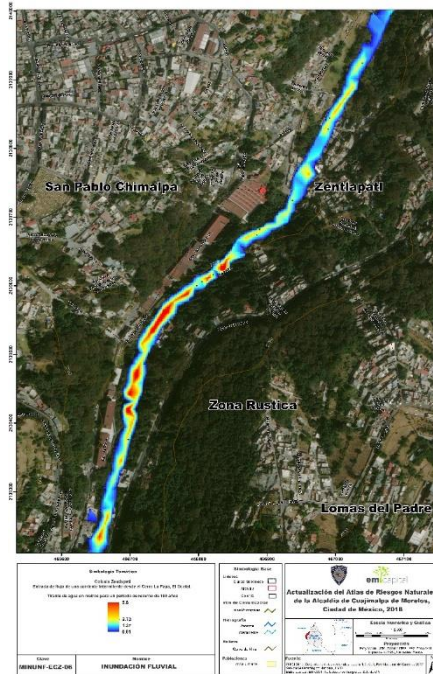
Flujo de carácter intermitente proveniente desde el Cerro La Papa, El Ocotal

Imagen 97 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 2 años. Colonias Zentlapatl, parte de San Pablo Chimalpa



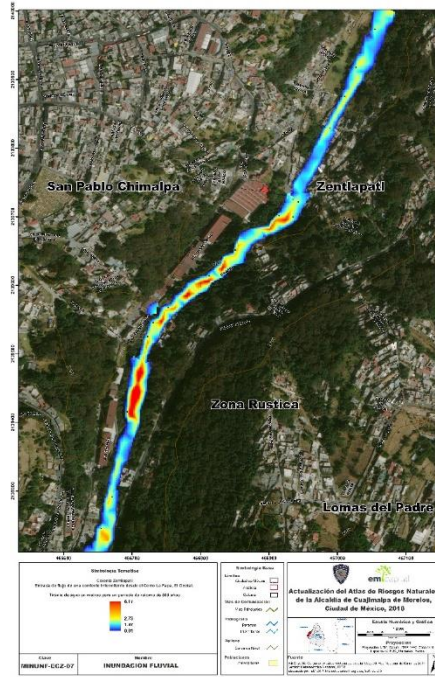
Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 98 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 100 años. Colonias Zentlapatl, parte de San Pablo Chimalpa



Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

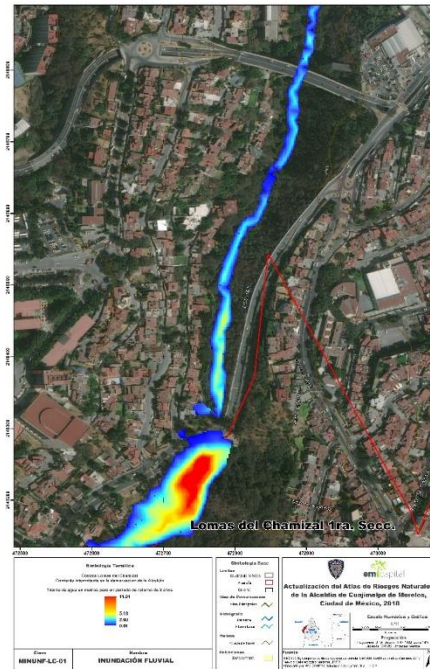
Imagen 99 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 500 años. Colonias Zentlapatl, parte de San Pablo Chimalpa



Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

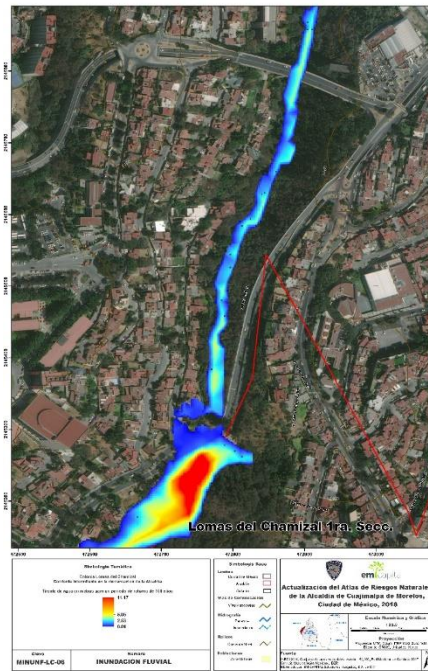
Lomas del Chamizal en los límites de la Alcaldía por una corriente intermitente

Imagen 100 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 2 años. Colonia Lomas del Chamizal



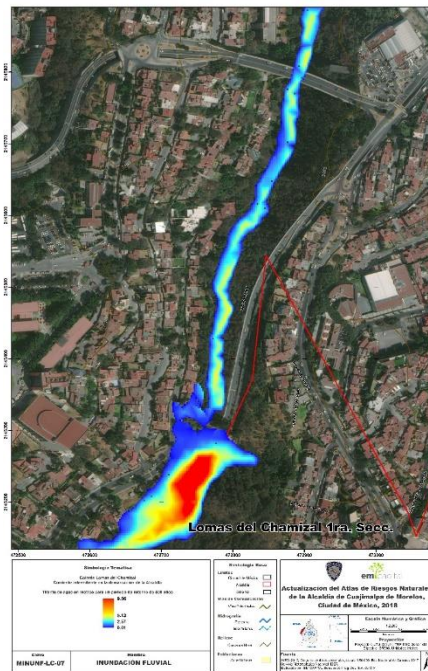
Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 101 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 100 años. Colonia Lomas del Chamizal



Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

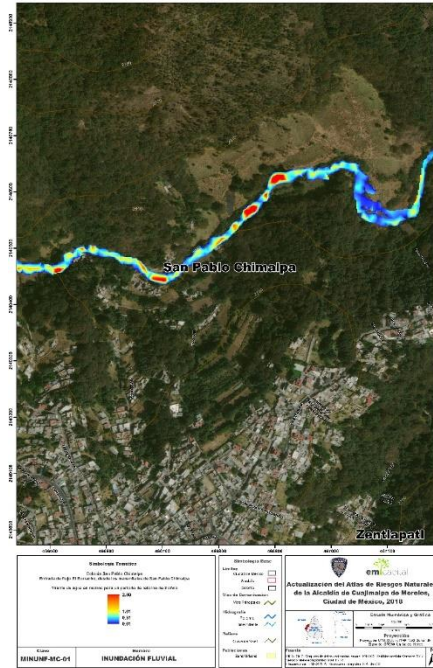
Imagen 102 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 500 años. Colonia Lomas del Chamizal



Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

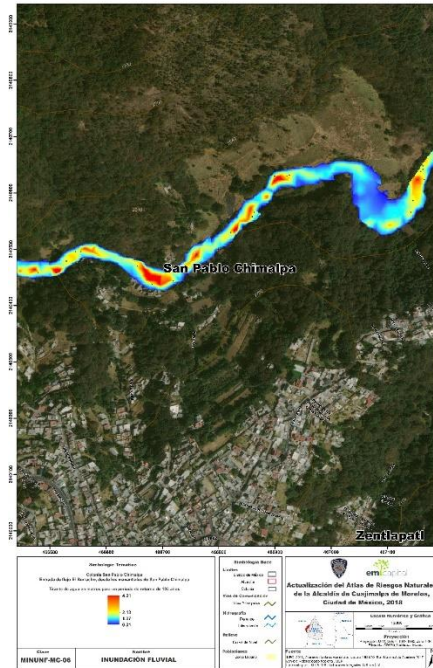
Río Borracho, entrada a San Pablo Chimalpa

Imagen 103 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 2 años. Colonia San Pablo Chimalpa, en la salida del escurrimiento que se encuentra aguas abajo de los afloramientos de los manantiales de San Pablo Chimalpa



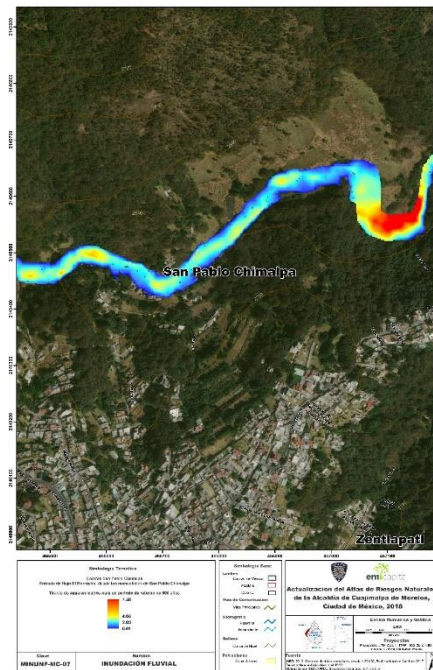
Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 104 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 100 años. Colonia San Pablo Chimalpa, en la salida del escurrimiento que se encuentra aguas abajo de los afloramientos de los manantiales de San Pablo Chimalpa



Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

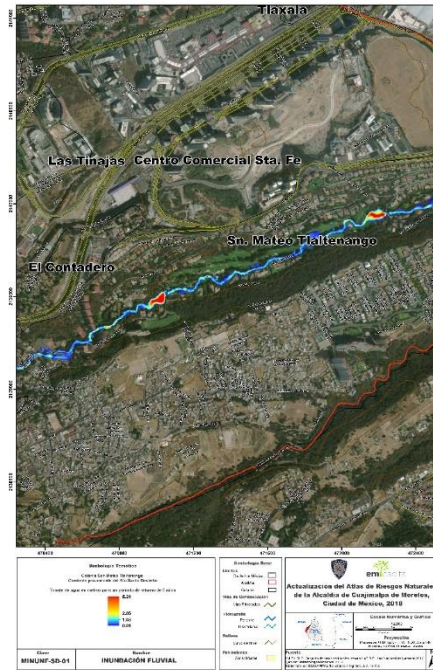
Imagen 105 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 500 años. Colonia San Pablo Chimalpa, en la salida del escurrimiento que se encuentra aguas abajo de los afloramientos de los manantiales de San Pablo Chimalpa



Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

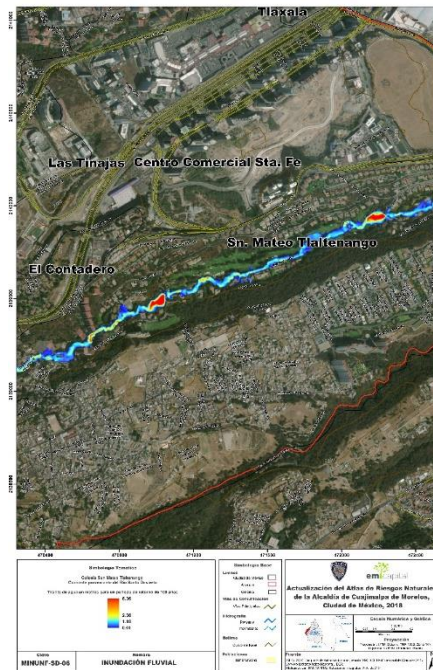
Río Santo Desierto

Imagen 106 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 2 años. Colonia San Mateo Tlaltenango, con el flujo también llamado Rio Hueyatla.



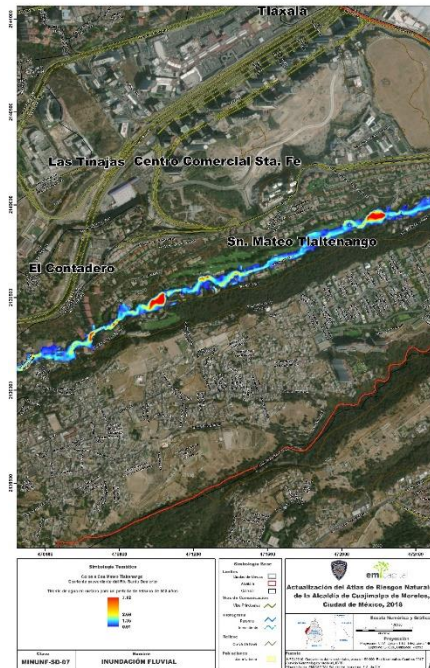
Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 107 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 100 años. Colonia San Mateo Tlaltenango, con el flujo también llamado Rio Hueyatla.



Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Imagen 108 Mapa de tirante en metros para un periodo de retorno de 500 años. Colonia San Mateo Tlaltenango, con el flujo también llamado Rio Hueyatla.



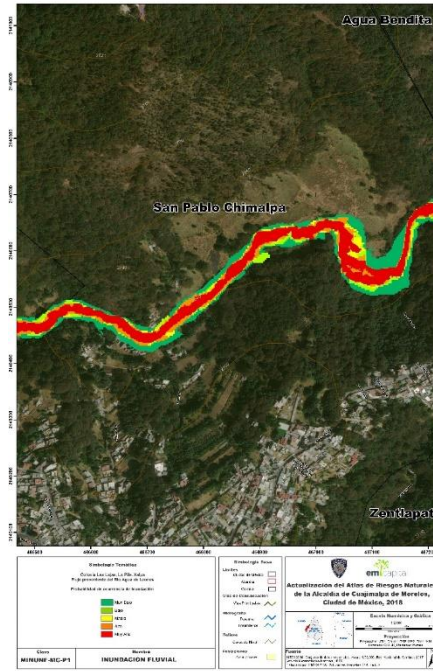
Fuente: IBER, elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V con datos del SMN

Peligro por inundación fluvial

La representación del peligro con base en los tirantes obtenidos en el análisis hidráulico y por cada periodo de retorno se tipifica como:

Muy Alto a los tirantes correspondientes a un periodo de retorno de 2 años, Alto a los tirantes proporcionados de los periodos de retorno de 5 años, Medio a los tirantes adecuados a un periodo de retorno de 10 años, Bajo a los tirantes correspondientes a los periodos de retorno de 25 años y Muy Bajo a los tirantes propios de los periodos de retorno de 100 y 500 años.

Imagen 109 Mapa de la probabilidad de ocurrencia del flujo proveniente del Rio Borracho hacia la Colonia San Pablo Chimalpa, aguas debajo de los afloramientos de los manantiales de la colonia.



Fuente: elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales, S.A. de C.V

3.2.13 Inundación Pluvial

En México, al igual que en muchos países del mundo se registran eventos de Inundación a consecuencia de lluvias intensas. Dichos eventos son causantes de grandes pérdidas, de hecho, en el país se calcula que los daños anuales promedio ascienden a los 500 millones de dólares (Bitrán, 2000), y cada vez los daños se incrementan, dada la dinámica poblacional tendiente a crecer en zonas expuestas a la ocurrencia de fenómenos desastrosos.

En la evaluación de riesgos naturales, el primer elemento fundamental consiste en definir al fenómeno destructivo, así pues, la inundación se define como “La presencia de agua en zonas donde de manera normal no hay agua”. Partiendo de la premisa anterior, es también necesario mencionar que no cualquier charco es una inundación, y en ese tenor, la acumulación de agua en magnitudes que pudieran afectar a los elementos expuestos, son las inundaciones que buscamos evaluar.

Este fenómeno afecta drásticamente en la topografía urbana, ya que la urbanización tiende a una modificación drástica de las condiciones naturales, que gobiernan el movimiento, la distribución y la calidad del agua. La urbanización convierte áreas permeables a impermeables y hace que se incremente la porción de lluvia y que a su vez se convierte en escurrimiento superficial, es decir incrementa el coeficiente de escurrimiento. Además, la aceleración producida en el proceso lluvia-escurrimiento, debida a la sustitución del suelo natural por superficies menos rugosas y mejor alineadas, hace que se produzca una disminución del tiempo de ocurrencia de las avenidas y por lo tanto, un incremento en el gasto máximo de las mismas.

Imagen 110 Inundación pluvial en Paseo de los Tamarindos, frente al centro comercial Arcos Bosques y el edificio conocido como “El Pantalón”.

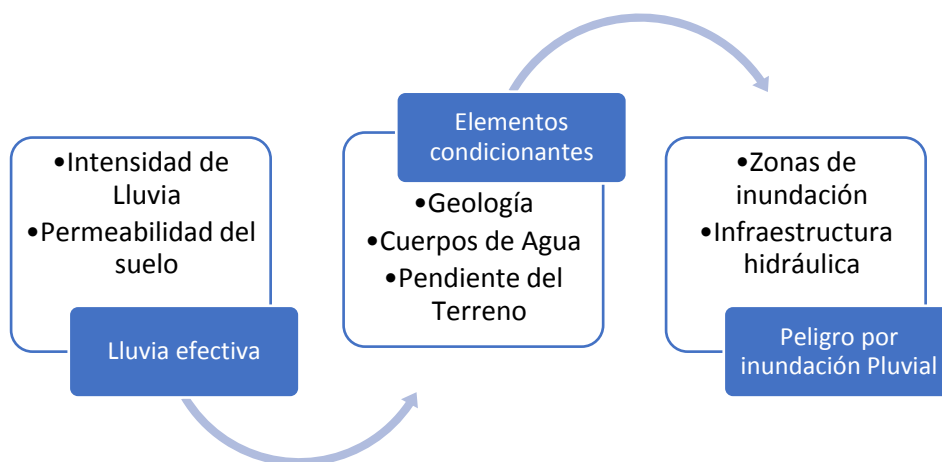


Fuente: Milenio, 2016

Metodología para el cálculo del peligro por Inundación pluvial

El método conjunta elementos hidrológicos para calcular la lluvia efectiva a consecuencia de las lluvias, con la composición del suelo y sus características morfológicas. A manera descriptiva se presenta el diagrama conceptual del procedimiento.

Imagen 111 Método para estimación del peligro por inundación pluvial

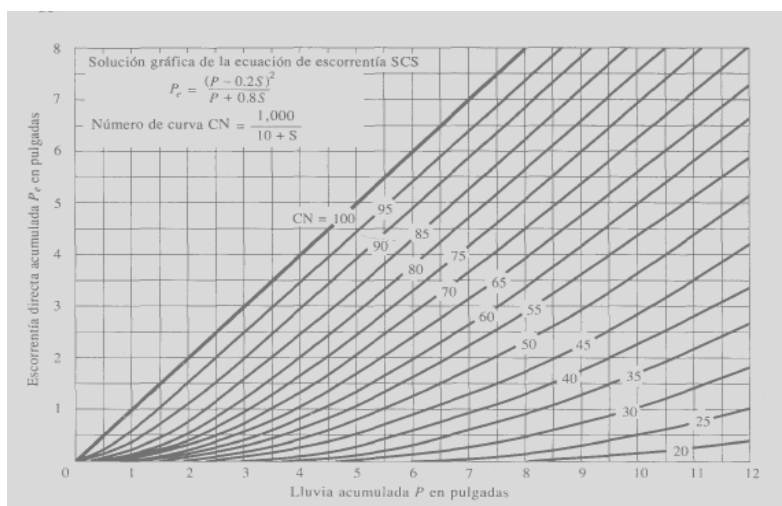


Fuente: EM CAPITAL Soluciones Integrales

3.2.14.1.1 Permeabilidad del suelo

El U.S. Soil Conservation Service (SCS, 1989) propone el siguiente método llamado “de los números de escurrimiento”. En el presente análisis hicimos uso de la información de usos de suelo y edafología escala 1:250,000 del INEGI.

Imagen 112 Gráfica de números curva (SCS, 1989)



Fuente: (Aparicio, 1989)

N es el “número de escurrimiento” cuyo valor depende del tipo de suelo, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y la precipitación antecedente, entre otros factores. En las siguientes tablas se muestran los valores para la selección del número de escurrimiento N en función del uso y tipo de suelo.

Tabla 62 Número de escurrimiento N con base al uso de suelo

Uso del suelo	Condiciones de superficie	Pendiente del terreno (%)	Tipo del suelo			
			A	B	C	D
bosques sembrados	esparcidos	-----	45	66	77	83
	normal	-----	36	60	73	79
	denso	-----	25	55	70	77
caminos	de tierra	-----	72	82	87	97
	superficie Dura	-----	74	84	90	92
bosques naturales	muy esparcidos	-----	56	75	86	91
	esparcidos	-----	45	68	73	84
	normal	-----	56	60	70	76
	denso	-----	25	52	62	67
	muy denso	-----	15	44	56	61
sin cultivo	con surcos rectos	-----	77	86	91	94
con cultivo	surcos rectos	> 1	72	81	88	91
	surcos rectos	< 1	67	78	85	89
	contorneo	> 1	70	79	84	88
	contorneo	< 1	65	75	82	86
	terrazza	> 1	66	74	80	82
	terrazza	< 1	62	71	78	81
cereales sembrados en surcos lo suficientemente cercanos de tal manera que la superficie del suelo no esté expuesta directamente a la Intemperie.	surcos rectos	> 1	65	76	84	88
	surcos rectos	< 1	63	75	83	87
pastizales y matorrales	contorneo	< 1	63	74	82	85
	contorneo	> 1	61	73	81	84
	terrazza	> 1	61	72	79	82
	terrazza	< 1	59	70	78	81
	pobre	-----	68	79	86	89
	normal	-----	49	69	79	84
	bueno	-----	39	61	74	80
	Curvas de nivel, pobre.	-----	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal.	-----	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno.	-----	6	35	70	79
Pradera permanente Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	-----	< 1	30	58	71	78
	-----	----	59	74	82	86
superficie impermeable	-----	-----	100	100	100	100

Los valores N, también están en función de los grupos de textura de suelo. Los grupos de referencia son los siguientes:

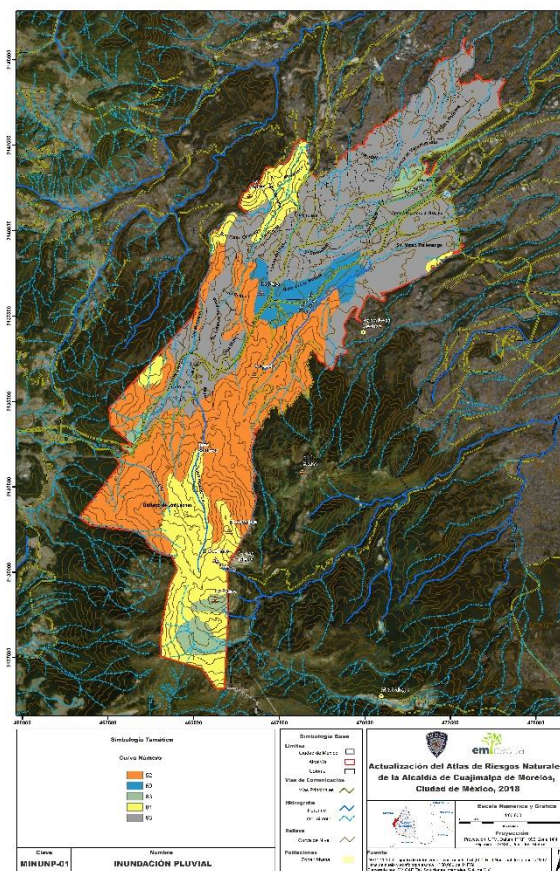
Tabla 63 Tipificación de suelos por textura

Tipo de suelo	Textura de suelo
Tipo A	Suelos muy permeables y bien drenados, mantos profundos de arena, gravas, arenas con poco limo y arcillas
Tipo B	Suelos permeables, regularmente drenados, suelos arenosos (arenas finas y limos)
Tipo C	Suelos pocos permeables, mantos pocos profundos con alto porcentaje de arcilla, arenas muy finas, limos y bastante arcilla
Tipo D	Suelos prácticamente impermeables, arcillas en grandes cantidades y suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana, suelos muy impermeables

Fuente: EM Capital Soluciones Integrales

Finalmente, los valores N para la demarcación de la alcaldía, con base al tipo y uso de suelo se muestran en la siguiente imagen.

Imagen 113 Valor de la curva número



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales

Al ponderar la N con base en las áreas de cada uso de suelo, en promedio se obtuvo un número de escurrimiento N igual a 77.35, como representativa para toda la demarcación de la alcaldía.

3.2.14.1.2 Lluvia efectiva

La lluvia efectiva se define como el agua con origen en la precipitación que después de los procesos de infiltración y evapotranspiración es potencialmente acumulable. Partiendo de la lluvia acumulada se estima de acuerdo con la ecuación siguiente.

$$P_e = \frac{\left[P_m - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P_m + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

Donde:

P_m= Precipitación (cm), P_e= Precipitación efectiva (cm) y

N= Numero de escurrimiento. La lluvia efectiva para el presente apartado estará asociado a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

De esta manera y con base en los números de escurrimiento “N” y con los datos de lluvia a 24 horas por periodo de retorno, se interpolan las mallas de precipitación efectiva por medio del método IDW, modelado en un Sistema de Información Geográfica y con base en las estaciones meteorológicas base referida en el apartado de Ondas Cálidas.

Imagen 114 Mapa de precipitación efectiva con periodo de retorno de 2 años

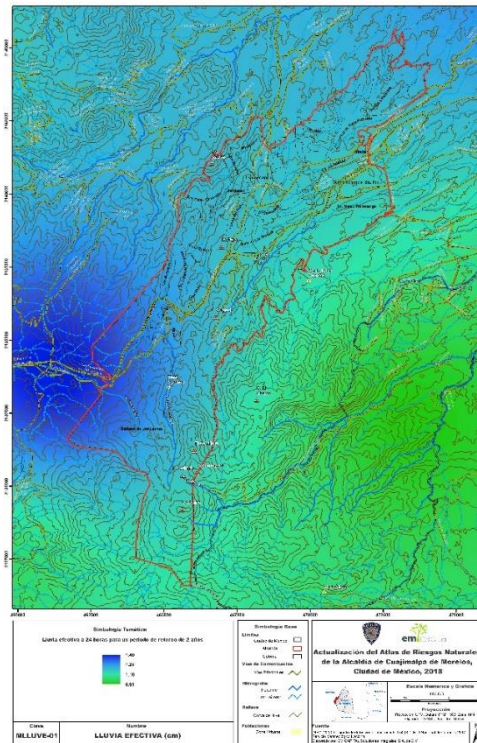


Imagen 115 Mapa de precipitación efectiva con periodo de retorno de 5 años

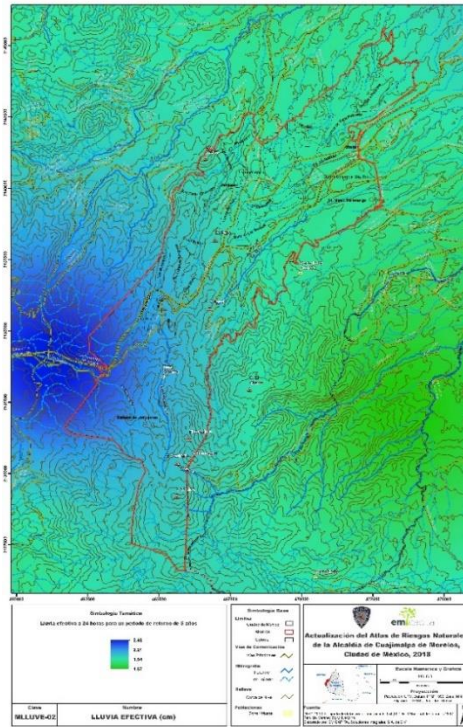
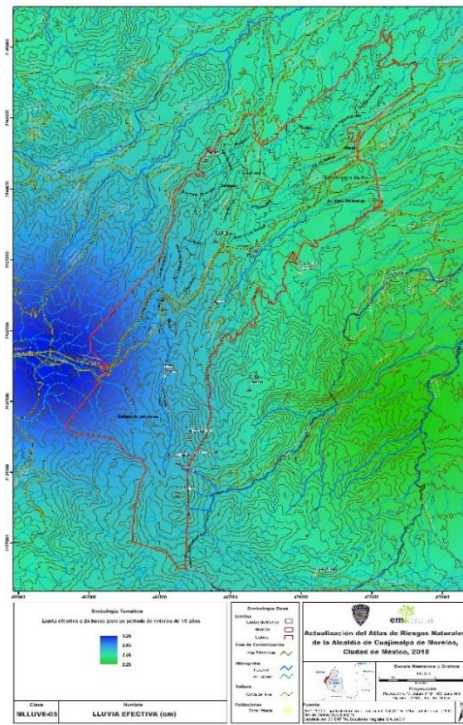


Imagen 116 Mapa de precipitación efectiva con periodo de retorno de 10 años



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales

Imagen 117 Mapa de precipitación efectiva con periodo de retorno de 25 años

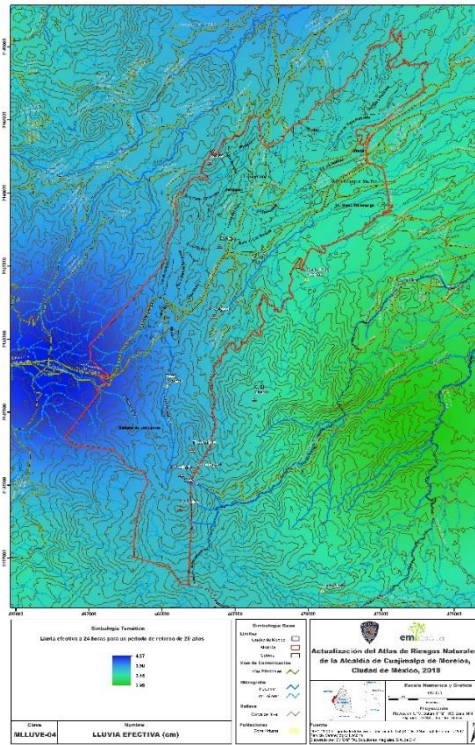
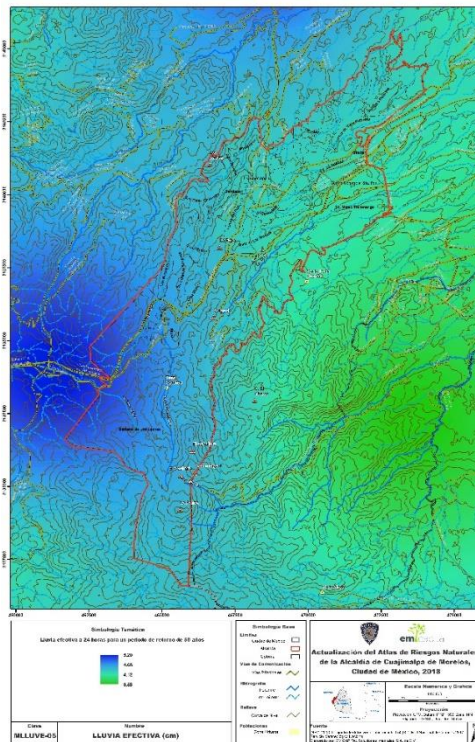
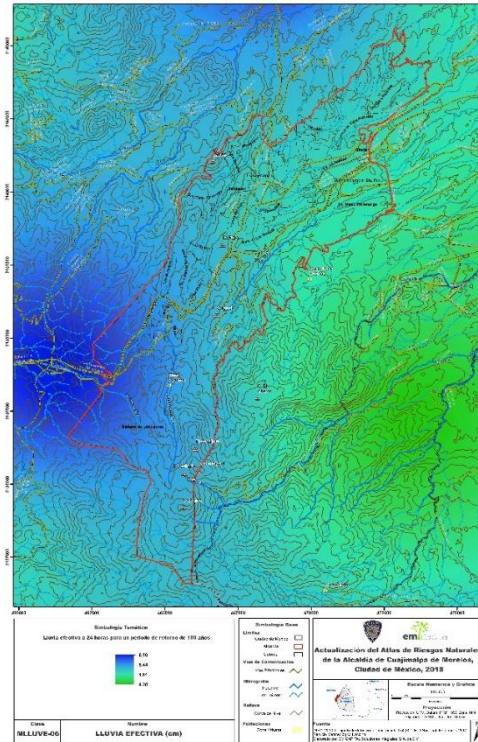


Imagen 118 Mapa de precipitación efectiva con periodo de retorno de 50 años



Fuente: Elaborado por EM CAPITAL Soluciones Integrales

Imagen 119 Mapa de precipitación efectiva con periodo de retorno de 100 años



Factores condicionantes

Es importante identificar aquellas zonas donde hay un alto nivel de susceptibilidad a la inundación pluvial, consecuentemente se aplican 2 filtros, el primero consistente en localizar aquellos suelos donde se presentan fenómenos de disolución a consecuencia del agua como en las calizas y este proceso no sea favorable para la acumulación hídrica superficial. El segundo filtro consiste en excluir todas aquellas zonas donde la lluvia efectiva sea menor a 2 cm.

Pendiente del terreno

La pendiente del terreno es junto con la lluvia efectiva el factor de más peso en la ocurrencia de las inundaciones pluviales. En nuestro modelo se propone que las inundaciones pluviales solo se pueden presentar en zonas de pendiente menores a 3°. Del mismo modo proponemos la siguiente ponderación de grupos de pendiente:

Tabla 64 Ponderación de pendiente

Pendiente	Ponderación
0-0.1	1.0
0.1-1.0	0.75
1.0-2.0	0.50
2.0-3.0	0.25

Fuente: EM Capital Soluciones Integrales

4 Bibliografía

Aparicio. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.

CENAPRED. (Mayo de 2007). *Sequías*. Obtenido de http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/372/1/images/fasciculo_sequias.pdf

CENAPRED. (2014). *Inundaciones*. Obtenido de <https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>

CENAPRED, CNPC. (Mayo de 2017). *¿Qué son los Fenómenos Hidrometeorológicos?* Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/253104/1.__Qu__son.pdf

LGPC. (6 de Junio de 2012). *LEY GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL*. Obtenido de <https://www.ifrc.org/docs/IDRL/LeyGPC.pdf>

Ramírez, B. T. (4 de Agosto de 2009). *Enfrentará el DF la peor sequía de los pasados 40 años: Aguirre Díaz*. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/2009/08/04/capital/032n1cap>

SCS. (1989). Runoff Curve. *Hidrology training series*, Modulo 104.

SMN. (26 de Diciembre de 2018). *Glosario Técnico*. Obtenido de <https://smn.cna.gob.mx/es/smn/glosario>

SMN. (28 de Noviembre de 2018). *Monitor de Sequía en México (MSM)*. Obtenido de <http://smn.conagua.gob.mx/es/monitor-de-sequia-en-mexico2>

SMN. (28 de Noviembre de 2018). *Monitor de Sequía en México (MSM)*. Obtenido de <http://smn.conagua.gob.mx/es/monitor-de-sequia-en-mexico2>

Universal, E. (1 de Enero de 2018). *Agradecemos tu interés en nuestros contenidos, sin embargo; este material cuenta con derechos de propiedad intelectual, queda expresamente prohibido la publicación, retransmisión, distribución, venta, edición y cualquier otro uso de los contenidos (i)*. Obtenido de <http://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/con-lena-habitantes-buscan-calor-tras-caida-de-aguanieve-en-cuajimalpa>