ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Atlas de Riesgos
Informe Técnico 2021

imeplan
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Jalisco
GOBIERNO DEL ESTADO

Atlas de Riesgos. Informe Técnico 2021

Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN)
Fecha de publicación: 1 de octubre de 2021

Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN)
Avenida Abedules 565, Los Pinos, 45120 Zapopan, Jalisco, México.

Citación sugerida: Atlas de Riesgos Informe Técnico. Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN) (2021). México: Gobierno de Jalisco.

Disponible en: http://seplan.app.jalisco.gob.mx/biblioteca
Colección: Planes

ATLAS METROPOLITANO DE RIESGOS

DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

DOCUMENTO TÉCNICO



imeplan
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
del Área Metropolitana de Guadalajara

Atlas Metropolitano de Riesgos

Área Metropolitana de Guadalajara

Instituto de Planeación y Gestión
del Desarrollo del Área Metropolitana
de Guadalajara

Dirección de Planeación Metropolitana
Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo

Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Informe técnico
Octubre de 2021

Primera edición, octubre 2021

D.R. © 2021 Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN). Av. Abedules 565, Los Pinos, 45120 Zapopan, Jalisco, México.
https://www.imeplan.mx

Forma de citar:
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN), UNAM. 2021. "Atlas Metropolitano de Riesgos. Área Metropolitana de Guadalajara. Informe Técnico", Guadalajara, Jalisco, México.

Elaboración:
Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México

Director Instituto de Geografía UNAM:
Manuel Suárez Lastra

Coordinación técnica UNAM:
Naxhelli Ruiz Rivera y Víctor Orlando Magaña Rueda

Grupo redactor:
Naxhelli Ruiz Rivera, Víctor Orlando Magaña Rueda, Armando Peralta Higuera, Mónica Lucía Martínez Herrera, Tania Pérez Sánchez, Moisés Gamaliel López Arias, Luis Manuel Galván Ortiz, Gustavo Vázquez Cruz, Mardocheo Palma Muñoz, Héctor Daniel Reséndiz López, Ana Rosa Rosales Tapia. Con la colaboración de Ángel Emmanuel Zúñiga

Director General IMEPLAN:
Mario Silva Rodríguez

Coordinación y seguimiento IMEPLAN:
Miguel Ángel Rodríguez Urrego. Director de Planeación Metropolitana
Patricia Guadalupe Zamora Guzmán. Gerente Técnica de Gestión Integral del Riesgo
Alan Gerardo Preciado Santana. Coordinador Análisis de Riesgos

Revisión técnica: Miguel Ángel Rodríguez Urrego, Patricia Guadalupe Zamora Guzmán, Alan Gerardo Preciado Santana, Ana Cecilia Perales de Dios, Cuauhtémoc Aquiles Zúñiga Lázaro, Juan Pablo Jiménez González, Alicia Guzmán Aguilera, Laura Elena Guzmán Gutiérrez, Martín Josué García Chávez.

Diseño y producción editorial:
Dania Gizeh Palacios Alvarez
José Germán Águila González
Joel Nivardo Castro González
Juan José Lopez Hernandez

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

JUNTA DE COORDINACIÓN METROPOLITANA

Enrique Alfaro Ramírez
Gobernador del Estado de Jalisco

Salvador Zamora Zamora
Presidente Municipal de Tlajumulco de Zúñiga
Presidente de la Junta de Coordinación Metropolitana del AMG

Ricardo Zaid Santillán Cortés
Presidente Municipal de El Salto

Jesús Pablo Lemus Navarro
Presidente Municipal de Guadalajara

José Heriberto García Murillo
Presidente Municipal de Ixtlahuacán de los Membrillos

Francisco de la Cerda Suárez
Presidente Municipal de Juanacatlán

Rafael García Íñiguez
Presidente Municipal de San Pedro Tlaquepaque

Sergio Armando Chávez Dávalos
Presidente Municipal de Tonalá

Juan José Frangie Saade
Presidente Municipal de Zapopan

Gonzalo Álvarez Barragán
Presidente Municipal de Zapotlanejo

Roman Meyer Falcón
Secretario de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, SEDATU

Josué Daniel Sánchez Tapetillo
Presidente del Consejo Ciudadano Metropolitano

Ana Lidia Sandoval García
Presidenta de la Comisión Metropolitana del Congreso de Jalisco

Mario Ramón Silva Rodríguez
Director General del IMEPLAN
Secretario Técnico de la Junta de Coordinación Metropolitana

Contenido

Índice general 5
Índice de figuras 6
Índice de tablas 8
Listado de siglas 9

Presentación 11
Marco Normativo legal 13
¿Cómo consultar este instrumento? 15
Resumen ejecutivo 15

PARTE I
Principios orientadores del Atlas de Riesgos Metropolitano del AMG 19
Componentes básicos del Atlas de Riesgos 20
Identificación de usuarios y procesos (focalización) 21
Producción de cartografía segmentada 23

PARTE II
Diagnóstico síntesis de riesgos climáticos del AMG, sus componentes y aspectos de gestión 25
Introducción 26
Cartografía de inundaciones y encharcamientos 28
Cartografía de ondas de calor 54
Cartografía de ondas de frio 68
Cartografía de incendios forestales 74

PARTE III
Recomendaciones para la gestión de riesgos climáticos en el AMG 82
Recomendaciones generales en materia de planeación 83
Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica 83
Identificar poblaciones vulnerables ante ondas de calor y frío, y diseñar medidas preventivas específicas de salud pública y protección social 84
Diseño de un sistema de información metropolitano unificado en gestión de riesgos 86
Listado de recomendaciones específicas 87

PARTE IV
Modelo científico 90
Procesamiento de datos meteorológicos 91
Análisis de campos medios mensuales y valores extremos diarios 95
Temperatura 95
Precipitación 98
Cálculo de riesgo de inundación en el AMG 101
Componente escurrimiento y acumulación 103
Componente permeabilidad e infiltración 105
Ondas de calor y salud en el AMG 111
Confort humano e Isla de Calor 111
Periodos de calor y enfermedades diarreicas agudas (EDAs) 113
Vulnerabilidad social y riesgo en períodos cálidos 114
Ondas de frío y salud en el AMG 116
Riesgo de incendios forestales en el AMG 119
Uso de suelo y vegetación (USV) 122
Condición de la vegetación 123
Accesibilidad como exposición 123
Sequía meteorológica como peligro 123
Sequía socioeconómica 124
Conceptos básicos: sequía meteorológica, hidrológica y socioeconómica 124
La sequía meteorológica: Condición de peligro 125
El contexto (vulnerabilidad) del sector hídrico en el AMG 126
El peligro de la sequía meteorológica 128
El riesgo de sequía socioeconómica en el AMG 132
Información Complementaria 134
Fuentes de datos 135
Glosario 136
Referencias 137
Anexo 1. Distribución anual de reportes de enfermedades diarreicas agudas 141
Anexo 2. Distribución anual de infecciones respiratorias agudas 145
Anexo 3. Cartografía de riesgo en plantilla simplificada para divulgación 146
Cartografía de inundaciones y encharcamientos 146
Cartografía de ondas de calor 152
Cartografía de ondas de frio 162
Cartografía de incendios forestales 166
Anexo 4. Punto de acuerdo sobre predios con registro de incendios forestales 170

Índice de figuras

26
Figura 1. Evolución de la cobertura vegetal en el AMG
27
Figura 2. Diferencia en EVI (Enhanced Vegetation Index)
91
Figura 3 Ejemplo de un climograma de las estaciones meteorológicas del AMG
92
Figura 4 Función de distribución de probabilidades para la temperatura, representando clíma y sus cambios.
92
Figura 5 Ubicación de estaciones meteorológicas en el dominio de interés
93
Figura 6 Ejemplo de fallas en las series de tiempo diarias de TMax, TMin y PCP en un observatorio meteorológico del SMN (14065, Guadalajara).
94
Figura 7 Serie de tiempo de temperatura máxima: asimilada (azul), observada en Colomos (mostaza) y observada en la estación 14066 Guadalajara (naranja).
94
Figura 8 Serie de datos diarios de precipitación (mm/día) en una estación y su comparación con los valores por pixel
95
Figura 9 Campos medios mensuales de TMax para el periodo 1981-2000 y 2000-2018
96
Figura 10 Percentil 90 (P90) y percentil 95 (P95) de la temperatura máxima en el AMG, para dos periodos de tiempo: 1981-2000 y 2000-2018
96
Figura 11 Temperatura del suelo en el AMG para marzo-2016 y septiembre-2016.
97
Figura 12 Campos de TMin mensual sobre el AMG para los periodos 1981-2000 y 2000-2018.
98
Figura 13 Percentil 10 (P10) y percentil 5 (P05) de temperatura mínima (TMin) en el AMG, para los periodos 1981-2000 y 2000-2018.
98
Figura 14. Diagrama de dispersión entre datos de precipitación diaria (mm) estimados por análisis objetivo y valores observados (estación 14351 Guadalajara y 14066 Guadalajara).
99
Figura 15. Campos medios mensuales de precipitación (mm/mes) en el AMG
99
Figura 16. Precipitación anual en el AMG resultado de los análisis objetivos (isolíneas blancas y tonalidades azules), comparado con los reportes anuales por estación (números amarillos).
100
Figura 17. Distribución de frecuencia de precipitaciones diarias en Zapopan. Los percentiles 90 y 95% están indicados con flechas verdes.
100
Figura 18. Precipitación diaria en la estación 14169 Guadalajara entre 1950 y 2017
101
Figura 19. Percentiles P90 (izquierda) y P95 (derecha) de precipitación diaria (mm/día) para el AMG correspondientes a los periodos a) 1950-1972, b) 1973-1995 y c) 1996-2018
101
Figura 20 Serie de tiempo de los recuentos de eventos de inundación en el AMG entre 1970 y 2018
102
Figura 21 Eventos históricos de inundación en(puntos rojos) el AMG para cinco periodos
102
Figura 22 Número de eventos de lluvia mayor a 30 mm/día.
103
Figura 23 Ejemplo de patrones de precipitación diaria que representan una amenaza y riesgo de inundación para las zonas indicadas.
104
Figura 24 Intensidad de las pendientes en el AMG
104
Figura 25 Orientación de las pendientes del AMG
105
Figura 26 Diagrama de flujo que describe la delimitación de cuecas, a partir de la red de drenaje y acumulación de flujo obtenido de un modelo de elevación del terreno.
107
Figura 27 Agrupación de los tipos de suelo con base en su textura y propiedades de infiltración.
108
Figura 28 Clúster de puntos de inundación a lo largo de la subcuenca San Juan de Dios, en el centro del AMG
109
Figura 29 Clúster de puntos de inundación en la Cuenca Santa Anita y microcuenca Las Pintas, en el centro del AMG.
109
Figura 30 Distribución de inundaciones de acuerdo con la profundidad del tirante y en relación con avenidas principales
110
Figura 31 Secuencia que muestra 1) cauces de ríos de acuerdo con el MDE 2) ejemplo de un río convertido en avenida del dominio indicado en cuadro rojo, que se convierte en “río urbano”.
110
Figura 32 Índice de vulnerabilidad física (regional) por inundaciones en el AMG.
112
Figura 33. Tabla de valores de sensación térmica por calor (Índice de calor)
112
Figura 34 Índice de calor sobre el AMG en dos periodos: 1981-2000 y 2000-2018.
113
Figura 35 Probabilidad de índice de confort para tres rangos distintos.
113
Figura 36 Temporada de calor y EDAS.
115
Figura 37. Matriz combinada de valores absolutos y relativos, por caso, para la determinación global de la vulnerabilidad social
115
Figura 38 Índice de vulnerabilidad ante ondas de calor.
116
Figura 39 Peligro ante ondas de calor.
117
Figura 40 Reportes de neumonía y bronconeumonía por grupos etarios para el año 2016.
117
Figura 41 Probabilidades para diferentes valores de TMin
118
Figura 42 índice de vulnerabilidad ante ondas de frío
118
Figura 43 Peligro ante ondas de frío
118
Figura 44 Riesgo ante ondas de frío

119
Figura 45 Comparativo de número de incendios y superficie afectada (Has) en México entre 1970 y 2019.
119
Figura 46 Triángulo de fuego con los componentes del riesgo de incendio forestal.
120
Figura 47 Serie de tiempo de número de puntos de calor y superficie afectada (has) por incendios forestales en Jalisco.
120
Figura 48 Índice Estandarizado de Precipitación -6 en Jalisco, entre 2000 y 2018.
120
Figura 49 Puntos de calor acumulados por mes del periodo 2012 a octubre de 2020 para el AMG
121
Figura 50 Clasificación de la sequía de acuerdo con el Índice Estandarizado de la Precipitación (SPI).
121
Figura 51 Puntos de calor derivados del sensor VIIRS, para el periodo 2012 - 2020
123
Figura 52 . Riesgo de incendios forestales por amenaza climática al 2021
125
Figura 53 Componentes del riesgo de impactos de la sequía.
126
Figura 54 Evolución del padrón de usuario y volúmenes suministrados por SIAPA para el AMG entre 2015 y 2019
126
Figura 55 Porcentaje de usuarios de agua por municipio y por sector en el AMG.
127
Figura 56 Agua suministrada al AMG en el año 2013 y 2014.
127
Figura 57 Agua suministrada al AMG para los años 2016, 2017 y 2018
127
Figura 58 Fuentes de abastecimiento de agua suministrada para el año 2014.
127
Figura 59 Fuentes de abastecimiento de agua suministrada para el año 2018.
127
Figura 60 Volúmenes mensuales de agua suministrados al AMG (litros/segundo) desde el Lago de Chapala en los años 2013 y 2014
127
Figura 61 Volúmenes mensuales de agua suministrada al AMG (litros/segundo) desde el Lago de Chapala entre 2016 y 2018.
128
Figura 62 Volúmenes extraídos de fuentes de abastecimiento por mes para el periodo 2016 a 2018.
128
Figura 63 Volúmenes de agua extraídos para suministro del AMG en años recientes por mes, mostrando el aumento en la extracción en los meses cálidos.
128
Figura 64 Almacenamiento (miles de m3) en el Lago de Chapala, en relación con periodos de sequía (SPI-12) en la región occidente de México.
129
Figura 65 Precipitación anual (mm/año) en la zona de Chapala entre 1964 y 2019
129
Figura 66 Volumen de agua que llueve en la zona del Lago de Chapala (miles de m3) y variaciones del SPI que reflejan condiciones de sequía.
129
Figura 67 Relaciones entre evaporación y precipitación en el Lago de Chapala entre 1934 y 2006.
130
Figura 68 Tendencias (1935-2019) de la temperatura máxima anual (ºC) y temperatura mínima anual (ºC) sobre el Lago de Chapala.
130
Figura 69 Evaporación mensual (línea amarilla) y precipitación mensual (línea azul) mm/mes entre 1934 y 2019 sobre el Lago de Chapala.
130
Figura 70 Cota del nivel de agua en el Lago de Chapala (m) entre 1900 y 2019
131
Figura 71 Relación descensos – recuperación en los niveles del Lago de Chapala entre 2000 y 2018.
131
Figura 72 Estimaciones de variación de las aguas subterráneas en el AMG y sus alrededores.
141
Figura 73 Reportes de EDAS año 2000
141
Figura 74 Reportes de EDAS año 2000
141
Figura 75 Reportes de EDAS año 2001
141
Figura 76 Reportes de EDAS año 2002
142
Figura 77 Reportes de EDAS año 2003
142
Figura 78 Reportes de EDAS año 2004
142
Figura 79 Reportes de EDAS año 2005
142
Figura 80 Reportes de EDAS año 2006
143
Figura 81 Reportes de EDAS año 2007
143
Figura 82 Reportes de EDAS año 2008
143
Figura 83 Reportes de EDAS año 2009
143
Figura 84 Reportes de EDAS año 2010
144
Figura 85 Reportes de EDAS año 2011
144
Figura 86 Casos de egresos hospitalarios por EDA entre niños menores de cinco años (casos / 100,000 personas)
145
Figura 87 Egresos hospitalarios de IRAS año 2005
145
Figura 88 Egresos hospitalarios de IRAS año 2010
145
Figura 89 Egresos hospitalarios de IRAS año 2011
145
Figura 90 Egresos hospitalarios de IRAS año 2015

Índice de tablas

20
Tabla 1. Definiciones del riesgo y sus componentes en la Ley General de Protección Civil
20
Tabla 2. Definiciones del riesgo y sus componentes, de acuerdo con la Revisión Técnica de la Terminología Actualizada Propuesta sobre Reducción de Riesgo de Desastres de la UNDRR
21
Tabla 3. Diferencia entre la representación probabilística y determinística
22
Tabla 4. Procesos clave de la gestión integral de riesgo
91
Tabla 5 Estaciones con datos meteorológicos
100
Tabla 6 Valores puntuales de percentiles para diferentes épocas.
106
Tabla 7 Grupos hidrológicos de suelo.
106
Tabla 8 Condición hidrológica de la vegetación y usos del suelo
107
Tabla 9. Condición hidrológica de la vegetación y usos del suelo
122
Tabla 10 Categorías de susceptibilidad a incendios de las comunidades vegetales

Listado de siglas

AMG:
Área Metropolitana de Guadalajara

CN:
Curvas numéricas

CENAPRED:
Centro Nacional de Prevención de Desastres

CONAGUA:
Comisión Nacional del Agua

CONAPO:
Consejo Nacional de Población

EDA:
Enfermedad diarreica aguda

EMAs:
Estaciones Meteorológicas Automáticas

IC:
Índice de Confort

ICU:
Isla de Calor Urbana

INEGI:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IRA:
Infección respiratoria aguda

LGAHOTDU:
Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano

MDE:
Modelo digital de elevación

MDS:
Modelo digital de superficie

P90:
Percentil noventa (eventos en el 10% extremo más alto)

P95:
Percentil noventa y cinco (eventos en el 5% extremo más alto)

PCP:
Pronóstico cuantitativo de precipitación

SEDATU:
Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

SIAT:
Sistemas de Alerta Temprana

SIGMetro:
Sistema de Información y Gestión Metropolitana

SMN:
Servicio Meteorológico Nacional

SPI:
Índice estandarizado de precipitación

TMax:
Temperatura máxima

TMin:
Temperatura mínima

USV:
Uso de suelo y vegetación

UNDRR:
Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (antes UNISDR)



Presentación

Presentación

El ámbito metropolitano es cada vez más importante en nuestro país. De acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en las 10 zonas metropolitanas más grandes del país reside cerca del 40% de la población. En años recientes, los instrumentos de coordinación en materias como transporte, agua, gestión de residuos sólidos y diferentes aspectos de calidad ambiental, se han convertido en aspectos clave de la política local municipal.

En este contexto, el Área Metropolitana de Guadalajara es un ejemplo de los grandes retos en materia de gobernanza metropolitana para generar espacios urbanos bajo los principios que México ha asumido en el marco de la Nueva Agenda Urbana (Habitat III). De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, el AMG tiene 5,268,642 habitantes, lo que la convierte en la tercera área metropolitana más poblada del país. Entre 1990 y 2020, la población del AMG pasó de poco más de tres millones de habitantes a más de cinco millones, lo que constituye un gran reto en materia de provisión de servicios, espacios y conservación de recursos ambientales.

Como en la mayor parte de las grandes ciudades de México, el modelo de desarrollo del AMG no ha considerado explícitamente el incremento del riesgo (al aumentar peligro y vulnerabilidad) resultado del proceso de urbanización. Por ejemplo, la reducción de la vegetación en zonas urbanas es de particular importancia para regular el clima local y el nivel de escurrimiento pluvial, por lo cual fenómenos como la isla de calor urbana y las inundaciones se relacionan directamente con la deforestación e impermeabilización urbana.

En este sentido, la planeación integral y coordinada del suelo urbano en áreas metropolitanas es un eslabón crucial para la reducción del riesgo de desastres. Los elementos que componen el presente instrumento incluyen algunos de los principales riesgos asociados al clima, que causan mayores afectaciones al AMG. Los fenómenos estudiados corresponden a condiciones peligrosas por temperaturas extremas, precipitaciones intensas e incendios forestales. El periodo considerado en el análisis de los parámetros probabilísticos se extiende por lo general entre 1980 y 2018, aunque en algunos casos se toman datos desde 1950.

El propósito principal del presente instrumento es identificar algunos de los principales procesos en el territorio del AMG que contribuyen a la creación de riesgos socioambientales, para proponer los criterios y lineamientos para la planeación metropolitana orientados a la reducción de dichos riesgos. Los alcances de este Atlas Metropolitano de Riesgos se abocan a la consecución de dos objetivos fundamentales. El primero de ellos es la generación de insumos aplicables a la planeación territorial, a partir de modelos probabilísticos. El segundo es establecer una estrategia que se pueda replicar en la escala municipal en la medida que el marco regulatorio lo permita, para generar a mediano plazo una estrategia de homologación de los instrumentos geográficos de análisis de riesgo; y, a partir de ello, una alineación de los lineamientos y criterios de planeación territorial entre la escala metropolitana y la municipal.

Los desarrollos que se presentan se han sintetizado en mapas que describen el peligro, las amenazas, la vulnerabilidad y algunos impactos, mismos que se pueden consultar paralelamente entre este documento y la plataforma SIGMetro, a cargo del IMEPLAN. La filosofía detrás de este planteamiento es la de presentar la evolución, en escalas de décadas, del clima y del contexto de vulnerabilidad física, que resultan en riesgo cambiante, pero que permite establecer parámetros probabilísticos para comprender tanto los elementos determinantes como los moduladores de las inundaciones, las ondas de calor y los incendios forestales. Estos modelos consideran los procesos urbano-ambientales del Área Metropolitana de Guadalajara de manera integrada.

Para el desarrollo de este instrumento, se utilizaron modelos probabilísticos para identificar de mejor manera el riesgo y sus diferentes componentes, tanto estáticos como dinámicos; se utilizan de manera diferenciada los conceptos *peligro* y *amenaza*, mismos que repercuten de manera importante en la elaboración de la cartografía, tanto de los componentes físicos del riesgo, como de la exposición, la vulnerabilidad y los posibles impactos. La perspectiva que se utiliza aquí es conceptualmente cercana a la de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre, donde vale la pena anotar la diferencia entre peligro y amenaza y cómo se relaciona esto con los componentes estáticos y dinámicos del riesgo.

El *peligro* habla de la probabilidad de ocurrencia a mediano y largo plazo, de un fenómeno que rebase los umbrales en donde el impacto negativo es significativo; es decir, una probabilidad de un evento de alta magnitud. El día que esta probabilidad se materializa y ocurre un evento importante, éste se traduce en una *amenaza*; por ejemplo, una inundación pluvial súbita. Es decir, la amenaza es una expresión activa (o materialización) del peligro, en un plazo corto. Conocer el peligro nos ayuda a saber las probabilidades de que ocurran fenómenos de gran magnitud, mientras que conocer la amenaza nos ayuda a tomar acciones específicas en el territorio antes de que el fenómeno impacte para reducir su intensidad (*mitigación*) o los efectos dañinos que esta intensidad pueda provocar en las personas y sus bienes. El conocimiento de peligro, la amenaza y vulnerabilidad permiten estimar la condición de riesgo y definir acciones de gestión para evitar que éste llegue a niveles críticos o intolerables.

Por otro lado, el instrumento hace uso de diferentes tipos de representaciones para facilitar su consulta e implementación en contextos específicos de planeación metropolitana. Por ejemplo, se traducen las *representaciones probabilísticas* del riesgo (y de su componente de peligro) a *representaciones determinísticas*, para que la cartografía pueda ser utilizada en la toma de decisiones; por ejemplo, para orientar adecuadamente procesos de zonificación, lo cual se realiza fundamentalmente a partir de representaciones determinísticas.

Cada uno de los diferentes mapas y capas de información expresa de manera distinta los componentes del riesgo, y tiene funciones diferentes en términos de comunicación y de vinculación con otros instrumentos de ordenamiento territorial. El aspecto dinámico y de incertidumbre propio de la cartografía probabilística es usualmente incompatible con la naturaleza de los instrumentos de zonificación, los cuales son poco flexibles por su naturaleza jurídica. Esto quiere decir que los mapas probabilísticos son una gran fuente de conocimiento del riesgo, pero no son aplicables de manera automática a la definición de las acciones y criterios para el ordenamiento territorial, de manera directa; hay que 'traducirlos' a otros productos determinísticos, que puedan ser utilizados para la toma de decisiones en los diferentes procesos de gestión del riesgo. En este Atlas, presentamos ambos tipos de cartografía, para los propósitos diferenciados que cada uno de ellos tiene.

En general, los mapas diseñados para visualizar elementos especializados a públicos de profesionistas y científicos pueden y deben priorizar la precisión, exactitud y regularidad de un conjunto relativamente amplio de elementos cartográficos. Por otro lado, los mapas temáticos propios de procesos de divulgación a públicos no expertos (o bien, a profesionistas en áreas no familiarizadas con el uso de cartografía, como abogados o administradores públicos) deben priorizar ante todo, la claridad de la información a partir de un manejo de criterios de simplificación, así como resaltar el objeto o tema central del mapa, y utilizar el color, el contraste y el tamaño de los objetos para destacar los valores o narrativas relevantes que se desea comunicar al usuario.

El Atlas de Riesgos presenta cartografía orientada a inundaciones pluviales, incendios forestales y ondas de calor, así como información probabilística de sequías, las cuales se desglosan temáticamente en sus componentes de peligro, amenaza, vulnerabilidad física y/o social, y por diversos aspectos de gestión que abordan sus impactos. Asimismo, se ha generado cartografía específicamente aplicada a la planeación metropolitana, diseñada para intervenir en alguno de los diversos procesos para la reducción del riesgo. La representación de estos elementos en cada mapa ha sido pensada para el uso de los servidores públicos, así como de otros actores interesados en los procesos de gestión del riesgo. Esperamos con ello, contribuir activamente a la reducción del riesgo en el AMG a través de procesos de gobernanza metropolitana transparentes, incluyentes y eficaces.

Marco normativo y legal

Los Atlas de Riesgos son un instrumento crecientemente importante en diferentes aspectos de la planeación territorial en nuestro país. Hay un reconocimiento público de la relevancia de los Atlas de Riesgos en todos los momentos de la gestión integral de riesgo y, sin lugar a duda, son centrales para el diseño de las políticas públicas de carácter territorial y para garantizar la sostenibilidad de territorios, tanto urbanos como rurales, en un marco de seguridad humana.

Sin embargo, a pesar de este papel tan importante en el ámbito público, hay aún muchas áreas de oportunidad que atender en cuanto al diseño y aplicación de los Atlas de Riesgos en los diferentes ámbitos de las instituciones públicas y ámbitos sociales. En diferentes revisiones, por ejemplo, en Medina et al. (2017) o en Ruiz et al. (2012), se señala como un problema importante, la distancia entre el contenido y calidad de la información de los Atlas de Riesgos, respecto a la realidad en la que los funcionarios de los diferentes niveles de gobierno deben utilizarlos como referente para el ejercicio de sus tareas en el servicio público.

Una parte importante de la explicación de esta distancia está en que los Atlas de Riesgo son resultado de los avances progresivos en el conocimiento que sobre el riesgo desarrolla la comunidad científica, saberes que no siempre se vinculan con las instituciones que, en diferentes sectores y niveles de gobierno, intervienen en las materias de planeación del desarrollo, ordenamiento territorial o protección civil. Las políticas públicas que se han diseñado en México para financiar y generar los Atlas de Riesgos han sido progresivas, ya que conforme cambian y mejoran los programas y sus reglas de operación e integran los nuevos avances del conocimiento en las diferentes disciplinas involucradas en la comprensión del riesgo de desastres; hay un mayor aprendizaje sobre en qué aspectos hay que incidir para mejorar el uso de los Atlas de Riesgo en los contextos locales.

En México hay un largo camino de casi treinta años que nos lleva a los Atlas de Riesgos que tenemos hoy, comenzando por el Primer Atlas Nacional de Riesgos que publicó el Centro Nacional de Prevención de Desastres en 1991. Desde entonces, el CENAPRED integra el Atlas Nacional de Riesgos y ha complejizado progresivamente su contenido y estructura la cual, actualmente contiene los atlas estatales y municipales, así como diferentes tipos de visualizadores geográficos que se enfocan en identificar diferentes aspectos del riesgo de desastres a partir de las estrategias, metodologías e información que genera el propio Centro Nacional, así como diferentes instancias académicas y del Gobierno Federal.

Existe legislación tanto a nivel nacional como estatal que determina los aspectos a tomar en cuenta para el desarrollo de los atlas de riesgo en sus distintas escalas. Sin embargo, no hay ley que precise cuál es proceso que se tiene que seguir para la elaboración de estos instrumentos. Solo a nivel de coordinación metropolitana se precisan algunos aspectos del proceso para el Atlas Metropolitano de Riesgos.

Si bien, las leyes que se describen a continuación son de distinta materia, estas deben observarse y atenderse de manera integral dado que buscan un objetivo común: la identificación de todos los posibles fenómenos en un territorio y el desarrollo de acciones para la gestión integral del riesgo. En ese sentido, el marco legal que determina el ámbito para los atlas de riesgo es el siguiente, siendo en el nivel estatal donde se precisa que se debe elaborar el Atlas Metropolitano de Riesgo.

Legislación Nacional

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el artículo 115 inciso III se señala que "los municipios, previo acuerdo entre sus ayuntamientos, podrán coordinarse y asociarse para la más eficaz prestación de los servicios públicos o el mejor ejercicio de las funciones que les correspondan". Por lo que, desde esta ley suprema se establece la base para realizar acciones entre municipios, siendo el ámbito metropolitano el que representa un nivel intermunicipal mismo que requiere de acciones conjuntas y coordinadas para un mejor ejercicio de las atribuciones municipales.

En la Ley General de Protección Civil está prevista la elaboración del atlas en tres escalas: nacional, estatal y municipal. Este instrumento debe atender las atribuciones que a cada nivel de gobierno se le han conferido en el tema. Esta ley se centra principalmente en definir los criterios para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos. En su artículo 19 se precisa que, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) es el encargado de supervisar la realización y actualización de los atlas en los tres niveles, sin definir un proceso para ello.

Por su parte, en el artículo 2 de la Ley General de Protección Civil se describe el atlas como un "Sistema integral de información sobre los agentes perturbadores y daños esperados, resultado de un análisis espacial y temporal sobre la interacción entre los peligros, la vulnerabilidad y el grado de exposición de los agentes afectables". Asimismo, en el artículo 19 se señala que los atlas "constituyen el marco de referencia para la elaboración de políticas y programas en todas las etapas de la Gestión Integral del Riesgo" y, el artículo 86 describe que en todos los atlas "deberán establecerse los diferentes niveles de peligro y riesgo, para todos los fenómenos que influyan en las distintas zonas. Dichos instrumentos deberán ser tomados en consideración por las autoridades competentes, esto para la autorización o no de cualquier tipo de construcciones, obras de infraestructura o asentamientos humanos".

Por lo anterior, es claro que no hay un marco de referencia a nivel nacional que determine explícitamente que debe elaborarse un Atlas Metropolitano de Riesgo, y tampoco un proceso de cómo debe realizarse este instrumento y el resto de los atlas. Respecto al tipo de instrumento, este debe ser entendido como un sistema de información que registra todos los fenómenos sucedidos y que, por medio de un análisis con las características territoriales y sociales de un área se determine el tipo de peligro, la vulnerabilidad y el nivel de riesgo dando como resultante; la base para el desarrollo de políticas y programas de gestión integral del riesgo, misma que se debe considerar para la creación de asentamientos humanos y para cualquier construcción u obras de infraestructura.

Si bien, no hay una especificación sobre la elaboración de un atlas a nivel metropolitano, no obstante, en la *Ley General de Protección Civil, la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano* (LGAHOTDU) se señalan varias determinaciones que tienen que considerarse en coordinación con los municipios y los otros órdenes de gobierno para que los instrumentos de planeación metropolitana en materia de ordenamiento territorial, desarrollen estrategias para la gestión integral del riesgo en esta escala.

En el artículo 4 de la LGAHOTDU, citada anteriormente; se describen los principios de política pública para la planeación, regulación y gestión de los asentamientos humanos, centros de población y el ordenamiento territorial a los que deben apegarse todos los instrumentos de planeación en la materia. Cabe mencionar que, en el inciso VIII relativo a la resiliencia, seguridad urbana y riesgos, se precisa que se debe "propiciar y fortalecer todas las instituciones y medidas de prevención, mitigación, atención, adaptación y resiliencia que tengan por objetivo proteger a las personas y su patrimonio, frente a los riesgos naturales y antropogénicos; así como evitar la ocupación de zonas de alto riesgo". En función de esto, en el artículo 34 se define que una materia de interés metropolitano es "la prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y los efectos del cambio climático".

En este sentido, se resalta la importancia de la realización de un atlas de riesgo de escala metropolitana que identifique los fenómenos a este nivel, que, si bien, no corresponde a un orden de gobierno, el nivel metropolitano sí es un ámbito socio-territorial y funcional de las ciudades y territorios en México, por lo que, este instrumento es fundamental para cumplir con el principio de resiliencia, seguridad urbana y riesgos en los instrumentos de planeación urbana y ordenamiento territorial. Por tal razón, en la legislación local se exige el Atlas Metropolitano de Riesgo scon la finalidad de hacer una efectiva gestión del riesgo y cumplir los principios antes descritos.

Legislación Estatal

Retomando el principio de coordinación municipal descrito anteriormente, la Constitución Política del Estado de Jalisco se prevé en los artículos 81 bis y 87 que "los municipios que forman parte de un área metropolitana declarada oficialmente por el Congreso del Estado mediante las instancias de coordinación generarán acuerdos que convendrán para planear y regular de manera conjunta y coordinada su desarrollo", que constituyen la base para un conjunto de determinaciones de escala metropolitana que son reguladas por la Ley de Coordinación Metropolitana y el Código Urbano ambos ordenamientos del Estado de Jalisco.

El Código Urbano para el Estado de Jalisco en su artículo 78 A fracción II, inciso f, reconoce al Atlas Metropolitano de Riesgos como un instrumento de referencia dentro del Sistema Estatal de Planeación.

Asimismo, los artículos 28 numeral 1 fracción II, inciso c y 31 numeral 1 fracción I inciso c) de la Ley de Coordinación Metropolitana del Estado de Jalisco facultan al Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara, a la Junta de Coordinación Metropolitana y a los Ayuntamientos de los Municipios del Área, para elaborar, autorizar y aprobar, respectivamente, el referido Instrumento.

Por su parte, el Estatuto Orgánico de las Instancias de Coordinación Metropolitana del AMG prevé en los artículos 119 fracción III y 122 la existencia del Mapa de Riesgos Metropolitano el cual es equiparable al Atlas Metropolitano de Riesgos, cuya integración al Sistema Estatal de Planeación, se dio con la reforma al Código Urbano para el Estado de Jalisco en el año 2017, superando de esta forma lo establecido en el Estatuto antes señalado, mismo que actualmente se encuentra en un proceso de actualización.

En este contexto, y en consonancia con el marco legal antes señalado, los alcances de este Atlas Metropolitano de Riesgos se abocan a la consecución de dos objetivos fundamentales. El primero de ellos es la generación de insumos determinísticos para la planeación territorial, a partir de un modelo de riesgo probabilístico con capacidad predictiva. El segundo establece una estrategia que se pueda replicar en la escala municipal en la medida que el marco regulatorio lo permita, para generar a mediano plazo; una estrategia de homologación de los instrumentos geográficos de análisis probabilístico del riesgo y, a partir de ello, una alineación de los lineamientos y criterios de planeación territorial entre la escala metropolitana y la municipal.

La cartografía del Atlas Metropolitano de Riesgos debe asumir los principios de responsabilidad horizontal entre municipios y considerar cuidadosamente las facultades y competencias de este nivel de gobierno, conforme a la cláusula vigésima primera del Convenio de Coordinación Metropolitana del Área Metropolitana de Guadalajara suscrito el 14 de febrero de 2014.

Cómo consultar este instrumento

El documento del Atlas Metropolitano de Riesgos del AMG está dividido en cuatro apartados, cada uno de los cuales se enfoca en un aspecto distinto del Atlas.

- Para conocer los principios y conceptos básicos que se utilizaron para desarrollar el Atlas de Riesgos – consultar la PARTE I.
- Para revisar la cartografía-diagnóstico de riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara, asociados a inundaciones, ondas de calor y frío e incendios forestales – consultar la PARTE II.
- Para revisar las recomendaciones y acciones sugeridas para los diferentes actores que participan de la gobernanza metropolitana del AMG y en los diferentes momentos de la gestión de riesgos – consultar la PARTE III.
- Para conocer a detalle el modelo científico que sustenta este Atlas de Riesgos – consultar la PARTE IV.

Al final del instrumento se encuentran las fuentes de datos, glosario de conceptos y referencias académicas utilizadas.

El objetivo principal de este Atlas es que sea un instrumento útil para el diseño e implementación de acciones específicas que incidan en la reducción del riesgo de desastres en el AMG, así como en distintas tareas de gestión correctiva, reactiva, prospectiva y compensatoria, desde una perspectiva multi actor y multi sectorial, tal y como lo plantea el Marco de Acción de Sendai, en su Prioridad 2 (UNISDR, 2015a, p. 17).

De esta manera, el Atlas Metropolitano de Riesgos presenta, además del análisis de los peligros, amenazas, vulnerabilidad física y social, y algunos riesgos, y su sustento científico, un catálogo de recomendaciones segmentadas y focalizadas para su evaluación y, en su caso, adopción por parte de los actores involucrados en procesos de gestión de riesgo. Se busca que cada actor político y social del AMG que tenga entre sus atribuciones alguna tarea que pueda abonar a la gestión del riesgo, encuentre en este Atlas una herramienta útil para sus tareas cotidianas y agendas de trabajo.

Resumen ejecutivo

Los Atlas de Riesgos son un instrumento crecientemente importante en diferentes aspectos de la planeación territorial en nuestro país. Sin embargo, hay aún muchas áreas de oportunidad que atender en cuanto al diseño y aplicación de los Atlas de Riesgos en los diferentes ámbitos de las instituciones públicas y ámbitos sociales. Un problema importante radica en la distancia entre el contenido y calidad de la información de los Atlas de Riesgos, respecto a las circunstancias de trabajo de los servidores públicos de los diferentes niveles de gobierno y de los ciudadanos que lo utilizan como referente.

Los cambios a lo largo de las últimas tres décadas respecto a la forma de ver e intervenir en el proceso riesgo-desastre implican la necesidad de ir más allá de la caracterización de los fenómenos de gran magnitud. Es decir, pasar a análisis que nos permitan establecer cuándo un riesgo se vuelve crítico, así como elaborar e implementar mecanismos para atender territorialmente las causas del riesgo, a través de mejores capacidades institucionales para reducirlo. Esto se logra a partir de los modelos de riesgo que identifiquen e integren el peligro, la amenaza y las vulnerabilidades, de manera que los usuarios de los Atlas de Riesgos puedan, a partir de ese conocimiento, implementar adecuadamente las acciones necesarias para reducir este riesgo.

El Atlas Metropolitano de Riesgos producido por el Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara está contemplado en el Código Urbano del Estado de Jalisco (Art. 102, Fracc. I, Párrafo 9); en la Ley de Coordinación Metropolitana del Estado de Jalisco (Art. 31, Fracc. I Inciso c), así como el Estatuto Orgánico de las Instancias de Coordinación Metropolitana del Área Metropolitana de Guadalajara del 14 de enero de 2014, en sus artículos 119 y 122 vigente; y en el Art. 122 del mismo Estatuto reformado, aprobado por la Junta de Coordinación Metropolitana el 26 de febrero de 2020.

Este instrumento parte del principio de que los Atlas de Riesgos son instrumentos multipropósito que, además, son muy sensibles a la escala de trabajo. Las aplicaciones específicas de cada uno de ellos dependen de dos cosas:

- Las facultades y atribuciones de cada nivel de gobierno, sea municipal, estatal o federal (aspecto al cual va vinculado lo que la ciudadanía, organizada o no, puede esperar en cuanto a sus alcances); o bien, del ámbito metropolitano, que no es un nivel de gobierno, pero sí de coordinación.
- Las tareas que constituyen los diferentes procesos misionales de la gestión integral de riesgos.

El instrumento utiliza un desglose de los componentes de la gestión de riesgos en seis procesos clave, que responden a 'hitos', es decir, a las distintas fases del proceso riesgo-desastre (Narváez et al., 2009). Estos autores proponen que las acciones de intervención relacionadas a la gestión de riesgos se dividan en gestión correctiva (el conjunto de acciones tendientes a reducir el riesgo ya existente) y gestión prospectiva (acciones que se abocan a atender a la creación del riesgo futuro) (2009, p. 41)

1. Generar conocimiento sobre el riesgo de desastres en sus diferentes ámbitos
2. Prevenir el riesgo futuro
3. Reducir el riesgo existente
4. Preparar la respuesta
5. Responder y rehabilitar
6. Recuperar y reconstruir

A diferencia de otras perspectivas de gestión del riesgo, la de estos autores es útil para plantear procesos de manera transversal, no solamente sectorial o a través de funciones específicas. Para los objetivos de un Atlas Metropolitano de Riesgos, estas funciones recaen no solamente en la instancia metropolitana de planeación, sino también en otras que colaboran y se coordinan tanto de manera vertical como horizontal.

Esto quiere decir que, en un enfoque basado en procesos, se identifica una misión (meta en materia reducción del riesgo) a la cual se llega a través de vínculos interdependientes entre sus componentes (procesos) en las cuales el producto final (Atlas de Riesgo) se orienta a un resultado o solución de un problema; y en el cual el usuario es parte del sistema, lo alimenta y retroalimenta, y es el referente para definir el producto que necesita.

Esta es la lógica con la que hemos trabajado en este Atlas Metropolitano de Riesgos. Por la escala de éste y por las atribuciones diferenciadas entre las instancias de coordinación metropolitana, el estado y los municipios, podríamos definir que el Atlas de Riesgos se orienta esencialmente a algunas tareas de los tres primeros procesos clave: 1) generar conocimiento sobre el riesgo de desastres en sus diferentes ámbitos, 2) prevenir el riesgo futuro y 3) reducir el riesgo existente. Las funciones asociadas a preparar la respuesta, responder y rehabilitar, recuperar y reconstruir corresponden legalmente al ejecutivo estatal y a los ayuntamientos a través de instancias como los Comités Municipales de Protección Civil que deberían estar incluidos en los atlas de riesgos municipales y en el estatal. Por ello, el instrumento del Atlas Metropolitano de Riesgos se centra especialmente en los objetivos de gestión correctiva y prospectiva, a partir de los tres procesos clave mencionados.

Otro aspecto relevante de este Atlas es el uso de cartografía digital segmentada, la cual está disponible para su consulta en el SIGMetro. La segmentación es el diseño del Atlas orientado hacia los diferentes usuarios, de manera que las diversas herramientas que ofrece la cartografía puedan ser utilizadas para diseñar productos apropiados a las necesidades de las personas y del servicio público, de tal manera que la información que el instrumento contiene sea adecuada a sus conocimientos, necesidades y atribuciones.

En este documento y en la cartografía digital publicada en SIGMetro, hemos hecho uso de distintas herramientas cartográficas con el propósito de comunicar de la mejor manera posible los diferentes aspectos del riesgo. En el SIGMetro se está tanto la cartografía especializada de peligro, vulnerabilidad física y social, así como la cartografía temática que hemos diseñado, la cual retoma las propuestas de cartógrafos, diseñadores y comunicadores para incidir mejor en procesos de planeación para protección civil y para divulgación.

En esa cartografía hacemos uso de diferentes recursos, tales como el formato, la escala, el color, el contraste, los gráficos, la temática, el texto y la interactividad para poder mostrar de manera más comprensible y directa, los diferentes aspectos y componentes del riesgo climático. Hemos buscado generar un sistema de información cuya prioridad sea la de formular y visualizar los diferentes productos cartográficos necesarios para tomar decisiones en el marco de distintos modelos y escenarios de riesgo, validados técnica y científicamente; de manera que lo que se presenta a los usuarios sea útil a un servidor público (y al ciudadano con interés en el tema) para tomar una decisión informada a partir de ese conocimiento, en la medida que la información y el conocimiento científico lo permitan.

En este tenor, en el Atlas Metropolitano de Riesgos se identifican espacialmente:

1. Las zonas con mayores probabilidades de presentar inundaciones pluviales (estáticas o dinámicas) con una intensidad que puede generar afectaciones relevantes a las personas y a la infraestructura;
2. Las zonas que, por las características de su cobertura vegetal, exposición y estrés hídrico presentan mayores probabilidades de presentar incendios forestales;
3. Las áreas del AMG en las cuales hay mayor potencial de afectación a las personas, en un evento de onda de calor, a partir de integrar el análisis climático con factores de vulnerabilidad social intrínseca y específica.

A partir de la modelación espacial de estos procesos, este instrumento presenta algunas recomendaciones orientadas a la gestión de estos riesgos. Entre éstas se señala, de manera prioritaria, la **recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica.** Dado que, en materia de escenarios de riesgo, se observa un aumento en el número e intensidad de los eventos extremos de precipitación, y una disminución en la capacidad de infiltración y captación, la atención a largo plazo de los aspectos que nos impone el cálculo del peligro no sólo debe atenderse incrementando la captación de agua pluvial; también debe aumentar la infiltración, ya sea por medio de obras de ingeniería en puntos estratégicos o bien, por medio de la recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica. Esto último significa aprovechar las capacidades de los suelos naturales (no impermeabilizados por la urbanización), parques y jardines, para absorber el agua pluvial, llevándola al subsuelo.

Lo anterior requiere de intervenciones en materia de uso de suelo en zonas estratégicas para la infiltración natural e inducida, de tal manera que se tengan medidas a largo plazo no sólo para aumentar la capacidad de captación y descarga, sino, sobre todo, para reducir al máximo posible los picos de caudal pluvial que se acumulan en los puntos estratégicos. Asimismo, requiere de alternativas de financiamiento, entre las cuales no se encuentran solamente los recursos públicos; es posible innovar en materia de financiamiento urbano filoclimático a partir de instrumentos de gestión de suelo urbano.

Por otro lado, el instrumento también recomienda **diseñar medidas preventivas específicas de salud pública y protección social** a partir de la identificación de las poblaciones vulnerables ante ondas de calor. Los efectos negativos de las ondas de calor son diversos y con excepción de las diversas enfermedades diarreicas agudas, de las cuales hay un seguimiento epidemiológico puntual, no necesariamente existe un reconocimiento en estadísticas de salud de diversas manifestaciones y efectos en la salud. Lo anterior se debe a que los síntomas que genera el calor excesivo en el cuerpo humano pueden confundirse con los de otras enfermedades, por lo cual es muy relevante identificar las poblaciones vulnerables a los extremos de calor para evitar un exceso de mortalidad cuando se susciten estos eventos.

Existen aspectos propios de la condición urbana, que aumentan la susceptibilidad de estas personas vulnerables a sufrir efectos adversos graves ante la presencia de una onda de calor. Éstos tienen que ver con el acceso a medicina preventiva, así como con la distribución de la población infantil y adulta mayor con una deficiente red de apoyo para evitar condiciones de exposición. Todo ello debe considerarse para diseñar una alerta temprana ante ondas de calor. La cartografía generada puede utilizarse para el diseño de protocolos, rangos de tiempo de actuación y materiales de difusión focalizados precisamente a los grupos vulnerables y áreas espaciales especialmente expuestas.

En ese sentido, se recomienda definir una instancia pública metropolitana única emisora del alertamiento temprano, y cultivar la confianza y legitimidad ante la población de dicha instancia, para que sus mensajes tengan los efectos de acción requeridos en momentos de crisis. También, diseñar claramente las acciones concretas que deban ser conocidas y practicadas por los profesionales de la salud, de la protección civil o de lo servidores públicos responsables.

Finalmente, consideramos importante que el AMG desarrolle una estrategia a mediano y largo plazo para la adaptación de la vivienda a condiciones de incremento probabilístico del peligro por ondas de calor. Se recomienda una atención especial a las zonas que tienen mayores déficits de calidad de vivienda y cobertura de servicios básicos para trabajar de manera conjunta con los diferentes servicios de salud con presencia en el AMG (especialmente de primer nivel) y de atención al bienestar. A ello se debe de sumar la incorporación de criterios de conservación de áreas con vegetación (tanto primaria como secundaria) que permitan recuperar y aumentar los servicios de regulación climática que ofrece el verdor en una ciudad.

A partir de la evidencia del Atlas, también se aborda la necesidad de un **diseño de un sistema de información metropolitano unificado en gestión de riesgos**, a partir de sistemas de información metropolitanos homologados e interoperables. Aunque mucho se ha avanzado al respecto en el AMG, con el diseño e implementación del sistema VIMOZ metro, encontramos aún una importante área de oportunidad en diversos temas que pueden ser objeto de coordinación metropolitana en materia de gestión de riesgos.

En particular, uno de los temas en los cuales el AMG se vería beneficiada en el corto y mediano plazo, es el relativo a un posible sistema de información metropolitano unificado de la infraestructura de gestión de agua y drenaje sanitario y pluvial. Se sugiere abordar las implicaciones de un sistema de información de esta naturaleza para la coordinación metropolitana, así como buscar los recursos para trasladar gradualmente la información de los archivos dispersos a este sistema de información.

Existen muchas otras áreas de oportunidad en materia de homologación, tales como reportes de emergencias; protocolos de ayuda mutua municipal para la atención de emergencias mayores; los parámetros de zonificación secundaria a partir de riesgo utilizados para PDDU de municipios vecinos; o la información sobre las características de la infraestructura hidráulica entre áreas atendidas por el organismo operador metropolitano, respecto a las zonas atendidas directamente por los municipios.

En caso de que ese sistema metropolitano de información para la gestión de riesgos se considere como una meta relevante para la gobernanza metropolitana, se requiere un acuerdo marco entre los municipios, para la homologación de estándares, criterios y, en algunos casos, rediseño institucional. Tal meta es ambiciosa, pero puede dar lugar a procesos metropolitanos innovadores, de los cuales no hay precedente.



PARTE I

Principios orientadores del Atlas Metropolitano de Riesgos del AMG

Componentes básicos del Atlas de Riesgos

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil (2012), el Atlas Nacional de Riesgos es un "sistema integral de información sobre los agentes perturbadores y daños esperados, resultado de un análisis espacial y temporal sobre la interacción entre los peligros, la vulnerabilidad y el grado de exposición de los agentes afectables". En esta definición se consideran diversos componentes, cuyas definiciones se encuentran desglosadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Definiciones del riesgo y sus componentes en la Ley General de Protección Civil

Componente	Definición
Peligro	Probabilidad de ocurrencia de un agente perturbador potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo y en un sitio determinado.
Riesgo	Daños o pérdidas probables sobre un agente afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador.
Vulnerabilidad	Susceptibilidad o propensión de un agente afectable a sufrir daños o pérdidas ante la presencia de un agente perturbador, determinado por factores físicos, sociales, económicos y ambientales.
Agente afectable	La población, vivienda, edificaciones, infraestructura estratégica, cultivos, instalaciones de fibra óptica, actividad productiva, capital ambiental y cultural, así como cualquier otro bien sujeto a los efectos de los fenómenos perturbadores.

Fuente: Ley General de Protección Civil (2012) y la Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos (2016)

El contenido conceptual de los términos que se utilizan en la legislación mexicana (contenidos en la Tabla 1), son diferentes a las perspectivas que se utilizan a nivel internacional. Ejemplo de ello es la **Revisión Técnica de la Terminología Actualizada Propuesta sobre Reducción de Riesgo de Desastres** (Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction: A Technical Review)[1] de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2015b). En este documento, es posible ver algunas diferencias con las definiciones propuestas en nuestra Ley General de Protección Civil. Algunas de las diferencias significativas son las siguientes:

1.- El documento señalado es una revisión fundamentalmente sobre el contenido de la Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres (2009), también de la UNDRR (antes UNISDR), y del Marco de Acción de Sendai, aprobado en 2015 y ratificado por México. Esta revisión está disponible en el sitio https://bit.ly/2AGa1hG. Último acceso: 15 de marzo de 2021.

Tabla 2. Definiciones del riesgo y sus componentes, de acuerdo con la Revisión Técnica de la Terminología Actualizada Propuesta sobre Reducción de Riesgo de Desastres de la UNDRR

Componente	Definición
Amenaza	Un evento físico, fenómeno o actividad humana potencialmente dañino, que puede causar la pérdida de la vida o heridas, daños en la propiedad, alteración social y económica, o degradación ambiental.
Riesgo	La combinación de la probabilidad de un evento amenazante y sus consecuencias, que resultan de la interacción entre amenazas naturales o antropogénicas, vulnerabilidad, exposición y capacidad.
Vulnerabilidad	Las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos o ambientales, que incrementan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de una amenaza.

Fuente: UNISDR (2015)

Si bien, es posible observar que a partir de la comparación entre la Tabla 1 y la Tabla 2, la mayor divergencia conceptual radica en la definición de los términos *peligro* y *amenaza*, aunque en gran parte de los estudios sobre riesgo que existen en la lengua española ambos términos se tratan como sinónimos, una parte importante de los disensos o controversias científicas de este campo de conocimiento es justamente esta diferenciación. Es esta una de las diferencias nodales de la propuesta que aquí presentamos, respecto a la estrategia que se desarrolló entre 2011 y 2018 en México para la elaboración de *Atlas de Riesgos* municipales, a partir del Programa de *Prevención de Riesgos* [en Asentamientos Humanos].

Para el desarrollo de una metodología que permita identificar de mejor manera el riesgo y sus componentes, tanto estáticos como dinámicos, utilizamos de manera diferenciada los conceptos *peligro* y *amenaza*, mismos que repercuten de manera importante en la elaboración de la cartografía de estos dos componentes, así como en la de exposición. La perspectiva que se utiliza aquí es más cercana a la de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre, aunque los conceptos utilizados en la metodología se pueden consultar en el **Glosario**, donde vale la pena anotar cuál es la diferencia entre peligro y amenaza y cómo se relaciona esto con los componentes estáticos y dinámicos del riesgo.

El *peligro* habla de la probabilidad de ocurrencia a mediano y largo plazo, de un fenómeno que rebase los umbrales en donde el impacto negativo es significativo; es decir, una probabilidad de un evento de alta magnitud. Por ejemplo, el peligro puede ser una probabilidad, calculada a partir de datos de mediano y largo alcance, de que un evento de lluvia sea mayor de 20 mm/día; por ejemplo, el 5%. El día que esta probabilidad se materializa y ocurre un evento de 23 mm/día, el evento se traduce en una amenaza; por ejemplo, una inundación pluvial súbita. Es decir, la amenaza es una expresión activa (o materialización) del peligro, en corto plazo. En síntesis, mientras que el peligro es la probabilidad de que ocurra un evento en espacio y tiempo con suficiente intensidad como para producir daños, la amenaza es la expresión física específica en un espacio y tiempo determinado de ese fenómeno de gran magnitud.

Otro ejemplo para entender esta diferencia se puede distinguir a partir del riesgo sísmico. Mientras que el análisis de peligro radica en entender la probabilidad de ocurrencia (en tiempo y espacio) de un sismo de cierta *magnitud*, el análisis de amenaza busca entender cómo se manifiesta la *intensidad* de ese sismo en diferentes ámbitos territoriales a partir de factores como la distancia al epicentro y los efectos de sitio. Cabe señalar que un mismo peligro puede ser fuente de diferentes tipos de amenaza; por ejemplo, una lluvia que rebase un cierto umbral puede ser una de las causas de una inundación pluvial, pero también es coadyuvante de la ocurrencia de un deslizamiento de ladera.

En ese sentido, es muy importante hacer notar que, a partir de las definiciones aquí expresadas, la exposición es un componente que se mide en función de la amenaza, no del peligro. Sin embargo, ambos componentes son muy útiles en un Atlas de Riesgos. Conocer el peligro nos ayuda a saber las probabilidades de que ocurran fenómenos de gran magnitud, mientras que conocer la amenaza nos ayuda a tomar acciones específicas en el territorio antes de que el fenómeno impacte para reducir su intensidad (*mitigación*) o los efectos dañinos que esta intensidad pueda provocar en las personas y sus bienes. El conocimiento de peligro, la amenaza y la vulnerabilidad permiten estimar la condición de riesgo y definir acciones de gestión para evitar que éste llegue a niveles críticos o intolerables, que con alta probabilidad resultarán en desastres.

Un aspecto adicional que debe considerarse en un Atlas Metropolitano de Riesgos es la diferencia entre las *representaciones probabilísticas*, de las *representaciones determinísticas*. Mientras que el riesgo y el peligro pueden representarse de ambas maneras, el análisis de la vulnerabilidad y la cartografía orientada a la toma de decisiones, tales como la zonificación son representaciones netamente determinísticas. ¿Cuál es la diferencia entre ambos? Una definición básica se puede encontrar en la Tabla 3.

Tabla 3. Diferencia entre la representación probabilística y determinística

Probabilística	Muestra la probabilidad de ocurrencia o excedencia de un determinado fenómeno (peligro) o daño (riesgo) en un periodo de tiempo. Siempre tiene un componente de incertidumbre y es un cálculo dinámico de varios escenarios.
Determinística	Muestra el cálculo de las características de un fenómeno a partir de parámetros conocidos, bajo supuestos previos. No incluye el componente de incertidumbre; representa los fenómenos de manera estática y se construye a partir de un solo escenario.

Fuente: adaptado de UNISDR (2015)

En los Atlas de Riesgos suele haber ambos tipos de representación. Cada uno de ellos expresa de manera distinta los componentes del riesgo, y tiene funciones diferentes en términos de comunicación y de vinculación con otros instrumentos de ordenamiento territorial. Es importante señalar que, para que un Atlas de Riesgos pueda aplicarse como parte de una zonificación primaria o secundaria, los diferentes temas que integran el Atlas deben 'traducirse' o representarse en cartografía determinística. El aspecto dinámico y de incertidumbre propio de la cartografía probabilística es incompatible con la naturaleza de los instrumentos de zonificación, los cuales son poco flexibles por su naturaleza jurídica. Esto quiere decir que los mapas probabilísticos son una gran fuente de conocimiento del riesgo, pero no son aplicables de manera automática a la definición de las acciones y criterios para el ordenamiento territorial, de manera directa; por lo que hay que 'traducirlos' a otros productos determinísticos, que puedan ser utilizados para la toma de decisiones en los diferentes procesos de gestión del riesgo. En este Atlas, presentamos ambos tipos de mapa, para los propósitos diferenciados que cada uno de ellos tiene, y que se pueden consultar en la PARTE II de este documento.

Identificación de usuarios y procesos (focalización)

Una de las diferencias más relevantes de la propuesta que se presenta en este Atlas respecto a lo que se propone en la metodología que se utilizó por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano sobre Atlas de Riesgos (SEDATU, 2017) es que consideramos que el punto de partida de los Atlas de Riesgos no está en el análisis de los fenómenos, sino en la comprensión de los procesos de gestión de riesgos que sus usuarios potenciales deben atender o resolver a través de este instrumento, así como sus recursos, conocimientos y necesidades. Reflexiones similares se han planteado desde hace años en el Centro Nacional de Prevención de Desastres en las metodologías propuestas por sus especialistas (Guevara et al., 2006).

Esto, por supuesto, no quiere decir que el conocimiento científico sobre el fenómeno, el peligro y la amenaza tenga una importancia secundaria; todo lo contrario. Sin embargo, consideramos que el paso previo a modelar el riesgo a partir del conocimiento científico de sus componentes (y las relaciones entre ellos), es primordial para entender a los usuarios -servidores públicos en diversas áreas de gobierno, organizaciones de la sociedad civil, profesionistas de la ingeniería civil o geotécnica, especialistas en derecho, arquitectos, planeadores urbanos, entre muchos otros-, y adaptar el conocimiento existente a las tareas específicas que estos diferentes actores e instituciones realizan para reducir la vulnerabilidad y mitigar las amenazas. El principio que seguimos es que un Atlas de Riesgos debe ser un vehículo para lograr tres cosas:

- Hacer accesibles los saberes sobre el riesgo y sus componentes para que diferentes actores, de manera coordinada, puedan realizar las acciones conducentes a su reducción.

- Modelar el riesgo de la manera más dinámica y actualizada posible a partir del mejor conocimiento científico disponible.
- Ser el vehículo para sistematizar el conocimiento que diversas instancias técnicas y ciudadanas tienen sobre estos temas a partir de su práctica profesional y conocimiento del territorio.

Esta sección se dedica a presentar una serie de elementos metodológicos orientados a identificar a los usuarios de los Atlas de Riesgos. Aunque el contenido se refiere directamente al Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara, se explican los principios con el objeto de que se puedan replicar en el contexto de otras áreas metropolitanas, e incluso de municipios, con los debidos ajustes a la escala de trabajo.

Los Atlas de Riesgos son instrumentos multipropósito que, además, son muy sensibles a la escala de trabajo, por eso no es factible esperar que el *Atlas Nacional de Riesgos* tenga una utilidad específica en el ámbito municipal y esperar que un Atlas Metropolitano de Riesgos responda a las mismas necesidades que un Atlas municipal. Las aplicaciones específicas de cada uno de ellos dependen de dos cosas:

- Las *facultades y atribuciones* de cada nivel de gobierno, sea municipal, estatal o federal (aspecto al cual va vinculado lo que la ciudadanía, organizada o no, puede esperar en cuanto a sus alcances); o bien, del ámbito metropolitano, que no es un nivel de gobierno pero sí de coordinación.
- Las tareas que constituyen los diferentes *procesos misionales* de la gestión integral de riesgos.

Para los propósitos de este instrumento hemos utilizado la perspectiva de Narváez, Lavell y Pérez (2009), quienes desglosan los componentes de la gestión de riesgos en seis procesos clave (Tabla 4), que responden a 'hitos', es decir, a las distintas fases del proceso riesgo-desastre. En ese libro, los autores proponen que las acciones de intervención relacionadas a la gestión de riesgos se dividan en gestión correctiva (el conjunto de acciones tendientes a reducir el riesgo ya existente) y gestión prospectiva (acciones que se abocan a atender a la creación del riesgo futuro) (2009, p. 41).

Tabla 4. Procesos clave de la gestión integral de riesgo

Proceso clave	Objetivo
1. Generar conocimiento sobre el riesgo de desastres en sus diferentes ámbitos	Disponer y difundir datos, información y conocimiento que permita y facilite la efectiva gestión del riesgo a través de todos sus procesos constitutivos de forma tal que sean asequibles a quienes tienen que tomar decisiones.
2. Prevenir el riesgo futuro	Limitar el desarrollo de los factores de Riesgo de Desastre en la sociedad a través de una gestión territorial - ambiental adecuada.
3. Reducir el riesgo existente	Minimizar los factores del riesgo existente para evitar o limitar el impacto adverso de los eventos peligrosos en la sociedad.
4. Preparar la respuesta	Desarrollar capacidades, instrumentos y mecanismos para responder adecuadamente ante la inminencia y/o la ocurrencia de fenómenos peligrosos.
5. Responder y rehabilitar	Atender oportunamente las necesidades básicas e inmediatas de las poblaciones amenazadas o afectadas por un evento físico peligroso y prever la aparición de nuevas condiciones de riesgo.
6. Recuperar y reconstruir	Restablecer condiciones aceptables y sostenibles de desarrollo económico y social de la comunidad afectada, reduciendo el riesgo a un nivel menor del que existía antes del desastre.

Fuente: Narváez et al. (2009, Sección 4)

A diferencia de otras perspectivas de gestión del riesgo, la de estos autores es útil para plantear procesos de manera transversal, no solamente sectorial o a través de funciones específicas. Para los objetivos de un *Atlas Metropolitano de Riesgos*, estas funciones recaen no solamente en la instancia metropolitana de planeación, sino también en otras que colaboran y se coordinan tanto de manera vertical como horizontal.

Esto quiere decir que, en un enfoque basado en procesos, el sistema (en este caso, el Atlas de Riesgos) identifica una misión a la cual se llega a través de vínculos interdependientes entre sus componentes (procesos) en las cuales el producto final (Atlas de Riesgo) se orienta a un resultado o solución de un problema y en el cual el usuario es parte del sistema, lo alimenta y retroalimenta, y es el referente para definir el producto que necesita.

En el caso del *Atlas Metropolitano de Riesgos*, por la escala de éste y por las atribuciones diferenciadas entre las instancias de coordinación metropolitana, el estado y los municipios, podríamos definir que el Atlas de Riesgos se orienta esencialmente a algunas tareas de los tres primeros procesos clave: 1) generar conocimiento sobre el riesgo de desastres en sus diferentes ámbitos, 2) prevenir el riesgo futuro y 3) reducir el riesgo existente. Las funciones asociadas a preparar la respuesta, responder y rehabilitar, recuperar y

reconstruir corresponden legalmente al ejecutivo estatal y a los ayuntamientos a través de instancias como los Comités Municipales de Protección Civil que deberían estar incluidos en los atlas de riesgos municipales y en el estatal. Por ello, nos centraremos en analizar el proceso del Atlas Metropolitano de Riesgos, en sus objetivos de gestión correctiva y prospectiva, a partir de los tres procesos clave mencionados.

Producción de cartografía segmentada

Un último aspecto relevante de este Atlas es el uso de cartografía digital segmentada, la cual está disponible para su consulta en el SIG metro. La segmentación es el diseño del Atlas orientado hacia los diferentes usuarios, de manera que las diversas herramientas que ofrece la cartografía puedan ser utilizadas para diseñar productos apropiados a las necesidades de las personas y del servicio público, de tal manera que la información que el instrumento contiene sea adecuada a sus conocimientos, necesidades y atribuciones.

En general, los Atlas de Riesgos han sido pensados para representar de una forma fundamentalmente técnica un proceso territorial. Sin embargo, la mayor parte de los estándares con los cuales dichos mapas se construyen, son progresivamente especializados, de tal manera que una parte importante de la producción de la cartografía de riesgos -especialmente los de base probabilística-, están orientados a audiencias científicas y técnicas, con usabilidad limitada para otras áreas de conocimiento o para usuarios no especializados, especialmente ciudadanos que desean acceder a su derecho a la información a través de estas herramientas.

En general, los mapas diseñados para visualizar elementos especializados a públicos de profesionistas y científicos, pueden y deben priorizar la precisión, exactitud y regularidad de un conjunto relativamente amplio de elementos cartográficos, mientras que los mapas temáticos propios de procesos de divulgación a públicos no expertos (o bien, a profesionistas en áreas no familiarizadas con el uso de cartografía, como abogados o administradores públicos) deben priorizar ante todo, la claridad de la información a partir de un manejo de criterios de simplificación, resaltando el objeto o tema central del mapa, y utilizar el color, el contraste y el tamaño de los objetos para destacar los valores o narrativas relevantes que se desea comunicar al usuario.

En este documento y en la cartografía digital publicada en SIG metro, hemos hecho uso de distintas herramientas cartográficas con el propósito de comunicar de la mejor manera posible los diferentes aspectos del riesgo. En el SIGMetro está tanto la cartografía especializada de peligro, vulnerabilidad física y social, como la cartografía temática que hemos diseñado, la cual retoma las propuestas de cartógrafos, diseñadores y comunicadores (Brewer, 1994, 2008; Griffin, 2020; Krygier & Wood, 2011; Schloss et al., 2019; Tyner, 2005) para incidir mejor en procesos de planeación, para protección civil y para divulgación.

En esa cartografía hacemos uso de diferentes recursos, tales como el formato, la escala, el color, el contraste, los gráficos, la temática, el texto y la interactividad para poder mostrar de manera más comprensible y directa, los diferentes aspectos y componentes del riesgo climático. Hemos buscado generar un sistema de información cuya prioridad sea la de formular y visualizar los diferentes productos cartográficos necesarios para tomar decisiones en el marco de distintos modelos y escenarios de riesgo, validados técnica y científicamente; de manera que lo que se presenta a los usuarios sea útil a un servidor público (y al ciudadano con interés en el tema) para tomar una decisión informada a partir de ese conocimiento, en la medida que la información y el conocimiento científico lo permitan.



PARTE II

Diagnóstico síntesis de riesgos climáticos del AMG, sus componentes y aspectos de gestión

Introducción

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, el AMG tiene 5,243,392 habitantes, lo que la convierte en la tercera área metropolitana más poblada del país. Entre 1990 y 2020, la población del AMG pasó de poco más de tres millones de habitantes a más de cinco millones, lo que constituye un gran reto en materia de provisión de servicios, espacios y conservación de recursos ambientales.

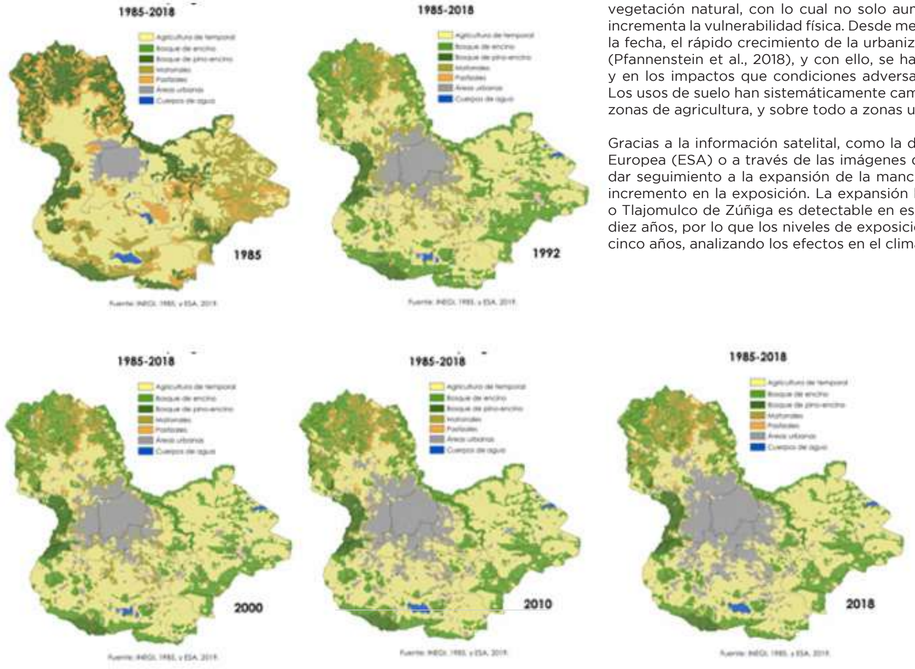


Figura 1. Evolución de la cobertura vegetal en el AMG
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI y la Agencia Espacial Europea

Como en la mayor parte de las grandes ciudades de México, el modelo de desarrollo del AMG no ha considerado el incremento del riesgo (al aumentar peligro y vulnerabilidad) resultado del proceso de urbanización, con menos servicios ecosistémicos. A pesar de que el número de eventos de inundación siguen una tendencia positiva.

La vegetación en zonas urbanas es de particular importancia para regular el clima. Los procesos de reforestación urbana son pensados como mecanismos que reducen la intensidad de la Isla de Calor Urbana (ICU), sin embargo, uno de los aspectos inherentes al crecimiento urbano expansivo es la pérdida de vegetación natural, con lo cual no solo aumenta la exposición, sino que se incrementa la vulnerabilidad física. Desde mediados de los años ochenta hasta la fecha, el rápido crecimiento de la urbanización ha transformado el paisaje (Pfannenstein et al., 2018), y con ello, se han generado cambios en el clima y en los impactos que condiciones adversas de éste tiene sobre la ciudad. Los usos de suelo han sistemáticamente cambiado de bosques a pastizales, a zonas de agricultura, y sobre todo a zonas urbanizadas (Figura 1).

Gracias a la información satelital, como la disponible en la Agencia Espacial Europea (ESA) o a través de las imágenes del satélite LANDSAT, es posible dar seguimiento a la expansión de la mancha urbana del AMG y analizar el incremento en la exposición. La expansión hacia municipios como Zapopan o Tlajomulco de Zúñiga es detectable en escalas de tiempo de alrededor de diez años, por lo que los niveles de exposición pueden ser actualizados cada cinco años, analizando los efectos en el clima y en la vulnerabilidad física.

Las décadas recientes, entre el 2000 y el 2018 corresponden a cambios en la vegetación original para pasar a áreas urbanas con menos verdor, tal como lo muestran las imágenes del satélite MODIS entre los años 2000-2004 y 2015-2019 para el mes de septiembre, cuando se alcanza el máximo verdor luego de la temporada de lluvias de verano. Las urbanizaciones en donde la vegetación en zona urbana disminuye, pierden servicios ecosistémicos urbanos y resulta por lo general en calentamiento.

El verde urbano se considera como un servicio público, tal y como son los acueductos, las escuelas o el alcantarillado, imprescindibles para la vida de las personas, tanto para su salud mental como bienestar físico. La vegetación urbana proporciona muchos servicios ecosistémicos, que son definidos como beneficios que las personas reciben de un ecosistema. Por ejemplo, los árboles en áreas urbanas pueden regular la temperatura al proporcionar sombra y aire fresco por transpiración, lo que ayuda a reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con el calor para los habitantes de la ciudad. Además, los árboles actúan como sumideros de CO2 de la atmósfera, por el proceso fotosintético y por la construcción de su biomasa.

La pérdida de esta vegetación urbana en el Área Metropolitana de Guadalajara es significativa. Ello se representa en la Figura 2.

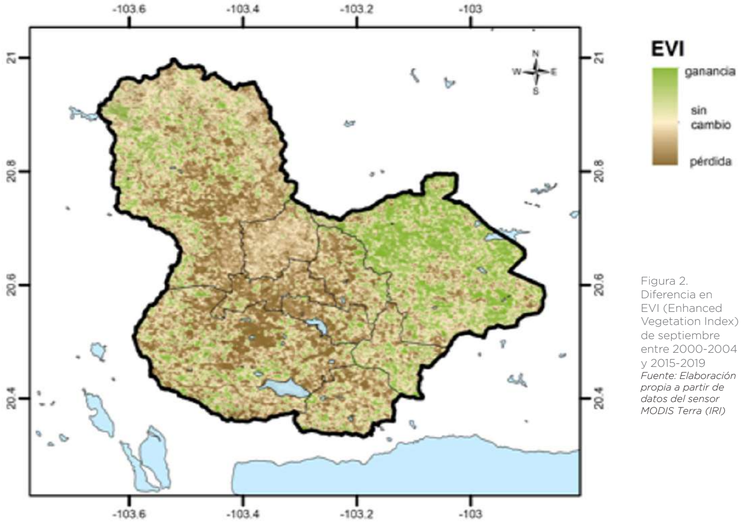


Figura 2. Diferencia en EVI (Enhanced Vegetation Index) de septiembre entre 2000-2004 y 2015-2019
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del sensor MODIS Terra (IRI)

Es en este sentido, los elementos que componen el presente desarrollo incluyen algunos de los principales riesgos meteorológicos y climáticos que causan mayores afectaciones al AMG. Los fenómenos estudiados corresponden a condiciones peligrosas por temperaturas extremas, precipitaciones intensas y sequía. Es claro que en este desarrollo se requiere considerar más elementos atmosféricos que se pueden constituir en peligro (por ejemplo, granizadas, vientos intensos, condiciones de alta estabilidad atmosférica, entre otros); sin embargo, considerando los impactos del tiempo y el clima que más preocupan a la sociedad del AMG, se trabajó en el caso de inundaciones urbanas, afectaciones a la salud por calor o frío, incendios forestales y sequía socioeconómica.

El periodo considerado en el análisis se extiende por lo general entre 1980 y 2018. Los desarrollos que se presentan se han sintetizado en mapas que describen el peligro, la vulnerabilidad y el riesgo, mismos que se pueden consultar en la plataforma SIGMetro a cargo del IMEPLAN.

Los diagnósticos en general se dividen en dos periodos de tiempo de alrededor de veinte años cada uno: 1981-2000 y 2000-2018. La filosofía detrás de este planteamiento es la de presentar la evolución, en escalas de décadas, del clima y del contexto de vulnerabilidad física, que resultan en riesgo cambiante. Existen otros casos similares al presente, donde se muestra cómo en la mayor parte de los riesgos, los cambios en el peligro están asociados a la construcción de una Isla de Calor Urbana (ICU) que continúa creciendo conforme aumenta la población (Manoli et al., 2019) Dicho crecimiento conlleva un aumento en la exposición a fenómenos peligrosos que debe reflejarse en el Atlas de Riesgos.

Así, a partir de este documento, presentaremos el diagnóstico de la situación de riesgo que guarda el AMG en materia de inundaciones y encharcamientos, ondas de calor y frío, sequía e incendios forestales.

Cartografía de inundaciones y encharcamientos

FICHA TÉCNICA (PL-LL)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Peligro por lluvias** (referencia percentil 95) muestra las zonas con diferentes niveles de probabilidad que se presenten precipitaciones mayores a 40 mm por día. Esta medida significa calcular qué tan posible es que un área específica llueva más de lo requerido para juntar 40 milímetros de agua, en cada metro cuadrado de superficie, cada 24 horas.

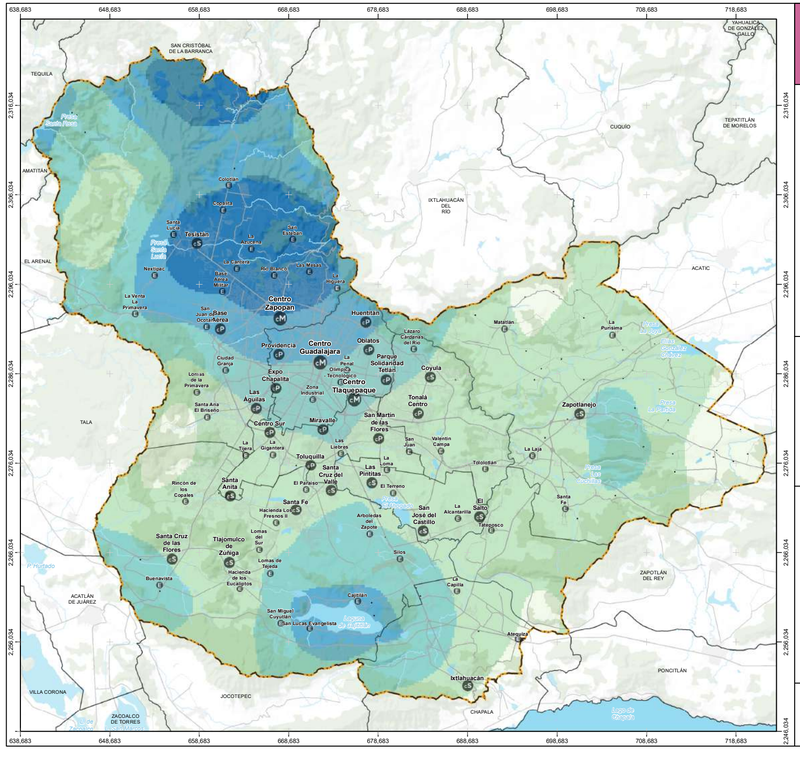
Con esta referencia, calculamos la probabilidad de que la lluvia sea extremadamente abundante, al punto de ser peligrosa por el potencial de generar escurrimientos (inundación dinámica) y acumulaciones considerables (inundaciones estáticas). A partir de eso, se identifican las zonas del AMG en donde el peligro es mayor; es decir, las zonas en las cuales es más probable que esta precipitación rebase el umbral de los 40 mm/día.

Los rangos 1 a 5 muestran en el mapa, muestran estos diferentes niveles de probabilidad de lluvia extrema en cada parte del AMG. Entre más alto el nivel, más probable es que llueva con esa intensidad o más (probabilísticamente, 5 de cada 100 eventos de lluvia), los cuales son la referencia para determinar el umbral de peligro.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El peligro por lluvia muestra las zonas con probabilidades más altas de presentar lluvias que rebasen los 40 mm/día. Ello no quiere decir que sólo ahí pueda llover con esa intensidad; significa que es más probable.
- Las lluvias muy intensas caen en tiempos cortos, se concentran y acumulan rápidamente, y escurren hacia zonas bajas del AMG. El cálculo de peligro ayuda a identificar las áreas de mayor probabilidad de lluvias muy intensas, a partir de un modelo probabilístico construido con datos de estaciones meteorológicas de varias décadas.
- Esto nos ayuda a tomar previsiones en materia de infiltración, infraestructura de mitigación y alertamiento temprano.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Peligro por Lluvias, clave PL-LL.

I-995.040



PELIGRO POR LLUVIAS (REFERENCIA PERCENTIL 95)

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.040

NÚMERO HISTÓRICO: 01

INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Probabilidad de precipitación > 40 mm/día para el periodo 2000 - 2018

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

Probabilidad de que por lo menos 5 de cada 100 eventos de lluvias rebasen los 40 mm/día para el periodo 2000 - 2018.

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

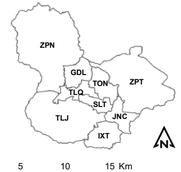
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de calor (UNAM) 1950-2018
SMN-CONAGUA; Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-LL

FICHA TÉCNICA (PL-V-IN)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Vulnerabilidad física ante inundaciones** muestra el efecto combinado de las pendientes y las características de permeabilidad e infiltración de los suelos, que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias.

El mapa reúne información del Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI a 5 m en X, Y y 1 m en Z, así como una clasificación de suelos naturales y artificiales que estima su capacidad de escurrimiento/infiltración, considerando el método del número de curva, desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos.

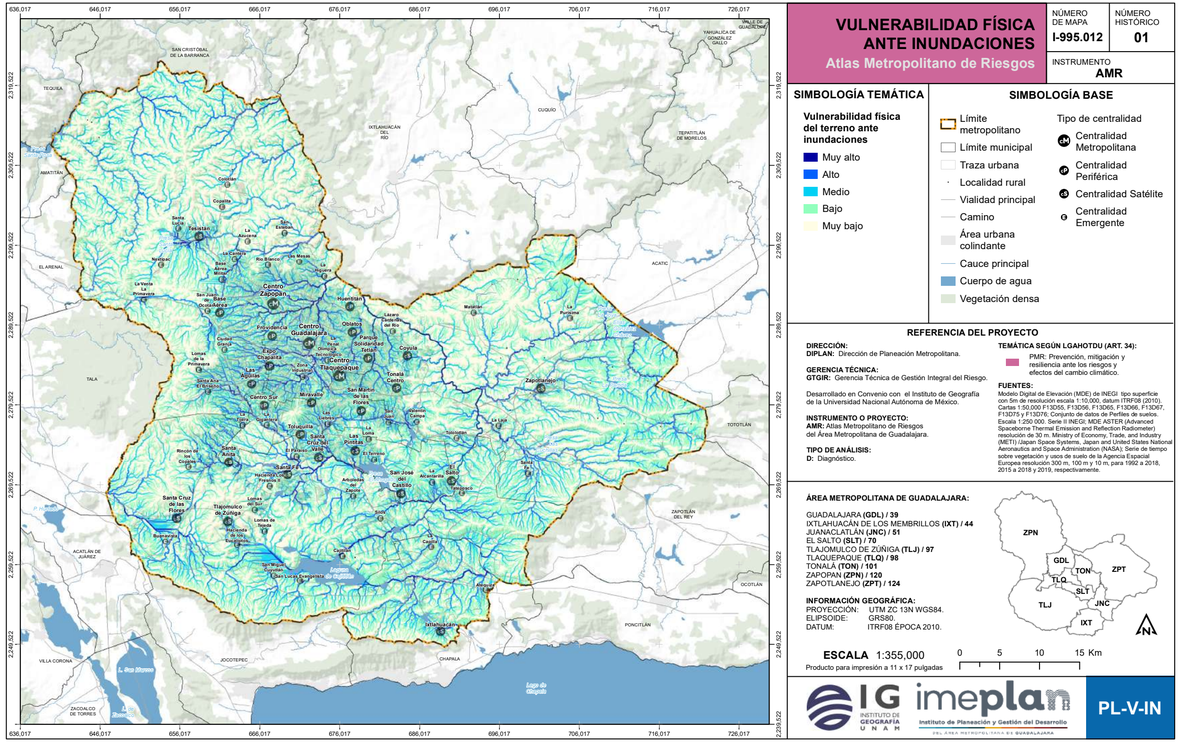
Con ello, se modela el escurrimiento acumulado, de tal manera que podemos calcular qué tan probable es que en esas zonas presenten problemas de inundación, tanto estáticos como dinámicos.

En este mapa aún no se considera el papel de la lluvia. Para ver cómo se distribuye la probabilidad de lluvia intensa en el AMG (percentil 90 y 95) ver el mapa 'Peligro por lluvia'. Para ver el efecto combinado de la lluvia y la vulnerabilidad física, ver la serie de mapas 'Niveles de riesgo de inundaciones'.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para identificar las zonas que tienen las características de un área inundable (estática o dinámica), en diferentes rangos de probabilidad.
- El mapa sirve para observar, de manera general, las condiciones del terreno en toda el AMG y su relación con la hidrología superficial regional.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad física ante inundaciones, clave PL-V-IN.

I-995.012



VULNERABILIDAD FÍSICA ANTE INUNDACIONES

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.012
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Vulnerabilidad física del terreno ante inundaciones

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):

PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:

Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI: tipo superficie con 5m de resolución escala 1:10,000, datum ITRF08 (2010). Cartas 1:50,000 F13D55, F13D56, F13D65, F13D66, F13D67, F13D75 y F13D76; Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000, Serie II INEGI. MDE ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) resolución de 30 m. Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) /Japan Space Systems, Japan and United States National Aeronautics and Space Administration (NASA); Serie de tiempo sobre vegetación y usos de suelo de la Agencia Espacial Europea resolución 300 m, 100 m y 10 m, para 1992 a 2018, 2015 a 2018 y 2019, respectivamente.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACLATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-V-IN

FICHA TÉCNICA (PL-E-IN)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Concentración absoluta de unidades económicas** más expuestas a inundaciones (vulnerabilidad ante inundaciones) muestra las zonas del AMG en las cuales hay una mayor cantidad de negocios pequeños y su relación con las zonas de riesgo de inundación.

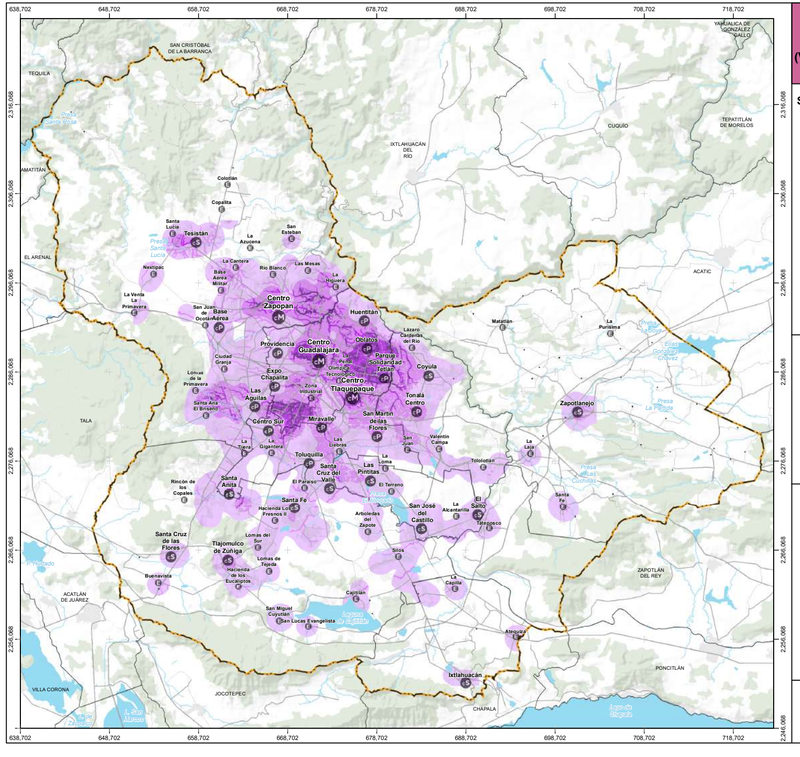
Se analiza la situación del conjunto de las unidades económicas más pequeñas, debido a que éstas tienen activos limitados y suelen tener mayores dificultades para recuperarse de daños y pérdidas ocasionados por eventos de inundación. Esto es importante, ya que NO se requiere un evento de inundación grande (o asociado a un peligro muy alto, por ejemplo, un evento de lluvia en el rango de percentil 95), para generar importantes afectaciones en este sector.

Esta visualización es útil para conocer cómo están distribuidas las unidades económicas más susceptibles en el caso de una inundación, y poder dimensionar y planear la recuperación de este sector tras una emergencia o un desastre asociado a este tipo de eventos.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para poder identificar las zonas con la mayor cantidad de unidades económicas pequeñas que pueden llegar a ser afectadas en un evento de inundación.
- Esto es de ayuda para considerar las acciones requeridas para evitar daños y pérdidas, o para planear acciones para la recuperación económica de sectores con activos limitados.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad ante inundaciones de unidades económicas, clave PL-E-IN.

I-995.025


638,702
648,702
658,702
668,702
678,702
688,702
698,702
708,702
718,702
2,310,068
2,300,068
2,290,068
2,280,068
2,270,068
2,260,068
2,250,068
2,240,068
SAN CRISTOBAL DE LA BARRANCA
TEQUILA
AMATITÁN
EL ARENAL
TALA
ACATLÁN DE JUÁREZ
VILLA CORONA
JOCOTEPEC
IXTLAHUACÁN DEL RÍO
CUQUÍO
TEPATITLÁN DE MORELOS
ACATIC
ZAPOTLÁN DEL REY
PONCITLÁN
CHAPALA
IXTLAHUACÁN
ATOTONILCO
Colotlán
Copalita
Santa Lucía
Tesistán
La Ascensa
San Esteban
La Cantera
Rio Blanco
Las Mesas
Navinoc
Basó Aerea Minor
La Venta La Primavera
San José de Gpe. Basó Aerea
Centro Zapopan
Huentitán
Matatlán
La Purísima
Providencia
Centro Guadalajara
Oblatos
Parque Solidaridad Tatahi
Ciudad Granja
Expo Chapalita
Centro Tlaquepaque
Coyula
Tonalá Centro
Zapotlanejo
Las Águilas
Santa Ana El Briseño
Centro Sur
Miravalle
San Martín de las Flores
Valentín Gómez Farías
La Gigantera
Las Lomas
Toluquilla
Santa Cruz del Valle
Las Pintitas
El Tapatío
Tololotlán
Rincón de los Copales
Santa Anita
El Paraíso Valle
Santa Fe
Hacienda Los Fresnos II
Arboledas del Zapote
San José del Castillo
La Alcantarilla
El Salto Tapalpeco
Lomas del Sur
Santa Cruz de las Flores
Tlajomulco de Zúñiga
Lomas de Tejeda
Hacienda de los Eucaliptos
Buenavista
Sitios
La Capilla
Cajititlán
San Miguel Cuyutlán
San Lucas Evangelista
Lago de Chapala
Presa La Vega
Presa La Red
Presa Las Pintas
Presa Las Piedras
Presa Las Pilas
Presa Las Juntas
Presa Las Palmas
Presa Las Pintitas
Presa Las Pintitas
Presa Las Pintit

FICHA TÉCNICA (PL-IN-0)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Nivel de riesgo ante inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del efecto combinado de dos aspectos:

1) la vulnerabilidad física del terreno: derivada de las pendientes y los tipos de suelos (clasificados por su capacidad de infiltración/ escurrimiento), que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias moderadas e intensas; y

2) peligro por lluvias: la distribución en el AMG de la probabilidad de precipitación cuya intensidad se encuentre en el PCP 90 o 95.

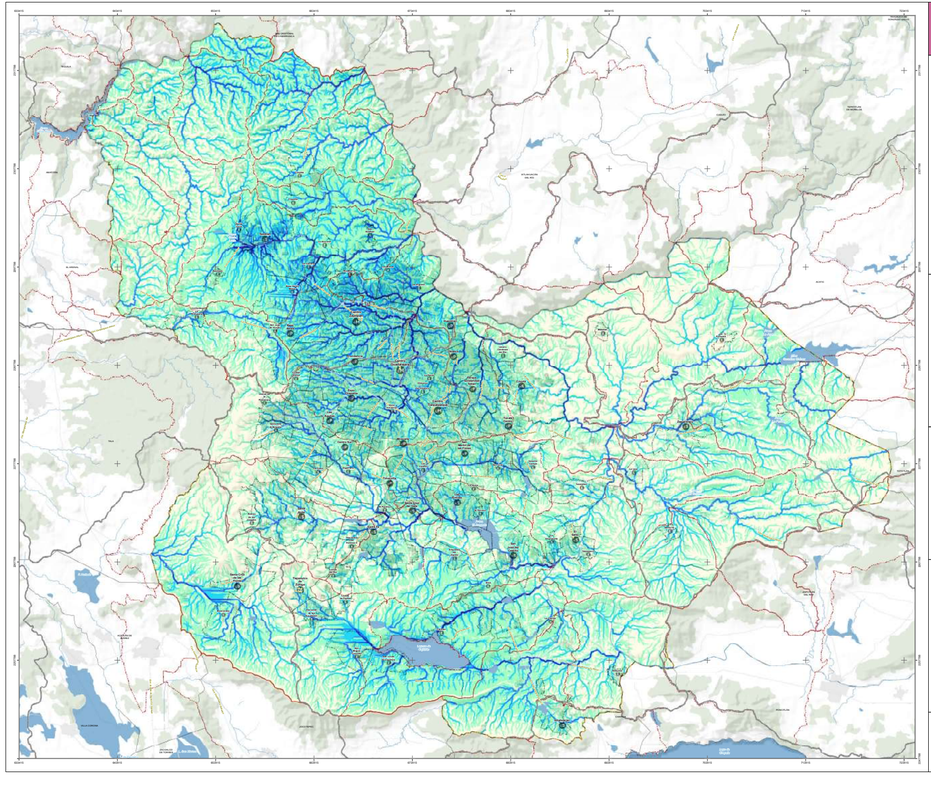
El mapa reúne información de diversas fuentes que representan las condiciones del terreno, lo que permite modelar por donde escurre el agua, cómo se acumula en ciertos lugares, y la capacidad del suelo de infiltrar el agua cuando llueve. El mapa representa las zonas donde hay más probabilidad de que ocurra, sin embargo no muestra el área total del evento.

Esas zonas pueden resultar de los cauces naturales (ríos o arroyos) o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, el trazo y la infraestructura.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa ayuda a identificar qué tan posible es que se susciten eventos en ciertas áreas, marcadas en color oscuro, que reúnen las características y circunstancias que se asocian a la ocurrencia de inundaciones pluviales.
- El producto está conformado por seis mapas en los que se hacen acercamientos específicos a diferentes zonas del AMG con el objetivo de observar a mayor detalle el territorio. En el mapa es posible identificar las microcuencas que drenan hacia cauces principales como el Río Santiago sin pasar por grandes áreas urbanas, así como las microcuencas cuyos flujos tienen mayores escurrimientos hacia la zona conurbada.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Riesgo de inundaciones. Para ver los detalles, el mapa general del AMG se dividió en 6 cuadrantes con las claves PL-IN-1, PL-IN-2, PL-IN-3, PL-IN-4, PL-IN-5 y PL-IN-6. que pueden ser consultados en el Documento Técnico del Atlas Metropolitano de Riesgos.

I-995.039



NIVEL DE RIESGO ANTE INUNDACIONES
Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.039
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

El mapa de **Nivel de riesgo de inundación** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del **efecto combinado** de dos aspectos:

1) la **vulnerabilidad física** del terreno (como las pendientes y los tipos de suelos) que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias; y

2) lo que se conoce como **peligro por lluvias**: la distribución en el AMG de la probabilidad de que se den lluvias muy intensas y potencialmente dañinas, tan fuertes que sólo ocurren en una proporción muy pequeña de los días lluviosos.

Es posible notar en color oscuro las zonas en las que circula o se acumula el agua.

No siempre se inundará toda el área marcada. El mapa representa las **zonas donde es más probable que ocurra**, no el área total del evento. Esto es útil para planear.

Esas zonas pueden resultar de los **cauces naturales** (ríos o arroyos), o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, el trazo y la infraestructura.

Para su fácil consulta, este mapa se puede imprimir en gran formato, en un tamaño de 90x60 cm.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Nivel de riesgo de inundaciones
- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo
- Subcuencas
- Microcuencas

SIMBOLOGÍA BASE
- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Límite de centralidades
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad
- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TECNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMIR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI. "Modelo digital de elevación de la República Mexicana, sin vegetación y con semblanza relativa a semi-sombreado", con escala 1:10,000, datum ITRF08 (epoca 2010.0). Modelos Digitales de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) con resolución espacial de 30 m., 100 m y 10 m, para 1992 a 2018, 2010 a 2018 y 2018, respectivamente.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:
GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 51**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:135,000 — 0 — 5 — 10 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA UNAM
imeplan Instituto Metropolitano de Planeación

PL-IN-0

FICHA TÉCNICA (PL-IN-1)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Niveles de riesgo de inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del efecto combinado de dos aspectos:

1) la vulnerabilidad física del terreno: derivada de las pendientes y los tipos de suelos (clasificados por su capacidad de infiltración/escurrimiento), que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias moderadas e intensas;

2) peligro por lluvias: la distribución en el AMG de la probabilidad de precipitación cuya intensidad se encuentre en el PCP 90 o 95.

El mapa reúne información de diversas fuentes que representan las condiciones del terreno, lo que permite modelar por donde escurre el agua, cómo se acumula en ciertos lugares, y la capacidad del suelo de infiltrar el agua cuando llueve. El mapa representa las zonas donde hay más probabilidad de que ocurra, sin embargo no muestra el área total del evento.

Esas zonas pueden resultar de los cauces naturales (ríos o arroyos) o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, trazo e infraestructura.

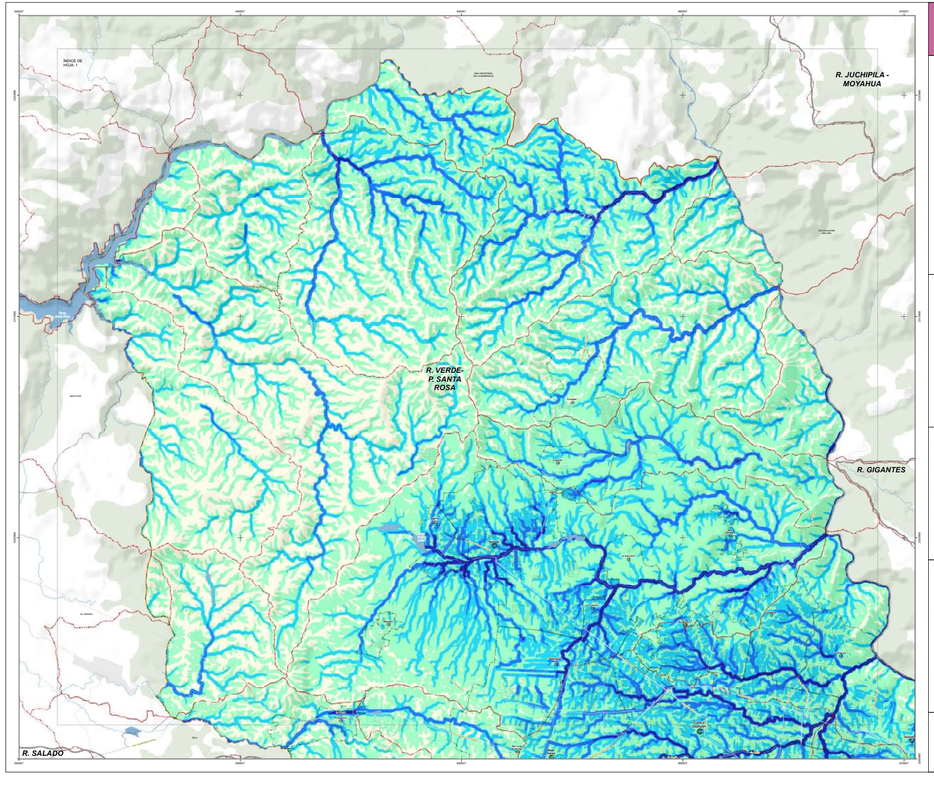
Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• El mapa auxilia a identificar qué tan posible es que se susciten eventos en ciertas áreas (marcadas en color oscuro), que reúnen las características y circunstancias que se asocian a la ocurrencia de inundaciones pluviales.

Las microcuencas de interés en este mapa son:

• Las que escurren principalmente al Río Santiago: El Arenal, La Villa de Cuerámbaro, Santa Rosa, El Olvido, Palo Gordo, Juchipila, Techaluta, San Lorenzo, La Mesita, Los Verdines, La Soledad, San Francisco de Ixcatán, Mascuala y Ejido Copalita.
• Las que tienen mayor escurrimiento hacia la zona conurbada del AMG: La Mesita, La Venta del Astillero, Rancho Contento, Santa Cruz del Astillero, Río Blanco, Ejido Copalita, Mascuala y Zapopan.
• En SIGMetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia en el mapa general de Riesgo de inundación con la clave PL-IN.

I-995.033



NIVEL DE RIESGO ANTE INUNDACIONES (CUADRANTE 1/6)
Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.033
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

El mapa de **Niveles de riesgo de inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del **efecto combinado** de dos aspectos:

1) la **vulnerabilidad física** del terreno (como las pendientes y los tipos de suelos) que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias; y

2) lo que se conoce como **peligro por lluvias**: la distribución en el AMG de la probabilidad de que se den lluvias muy intensas y potencialmente dañinas, tan fuertes que sólo ocurren en una proporción muy pequeña de los días lluviosos.

Se notan en color oscuro las zonas en las que circula o se acumula el agua. No siempre se inundará toda el área marcada. El mapa representa las **zonas donde es más probable que ocurra**, no el área total del evento. Esto es útil para planear.

Esas zonas pueden resultar de los **cauces naturales** (ríos o arroyos), o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, el trazo y la infraestructura.

Para ver los detalles, el mapa general del AMG se dividió en **cuadrantes**. En este mapa se presenta el cuadrante 1, el norte del AMG, con áreas de los municipios de Zapopan y Guadalajara.

Para su fácil consulta, este mapa se puede imprimir en gran formato, en un tamaño de 90x60 cm.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Nivel de riesgo de inundaciones
- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

- Subcuencas (INEGI)
- Microcuencas (FIRCO)
- Índice de hojas

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Límite de centralidades
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad
- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI. "Modelo digital de elevación a partir de información de sensores remotos satelitales y aerotransportados", con escala 1:10,000, datum ITRF08 (época 2010.0). Modelos Hidrológicos de Inundación (MHI): F13D56, F13D66, F13D46, F13D47, F13D57 y F13D76). Conjunto de datos de Perfiles de suelos, Escala 1:250 000, Serie II INEGI. Modelo Digital de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) con resolución espacial de 30 m. Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) Japan Space Systems, Japan and United States National Aeronautics and Space Administration (NASA). Serie de imágenes satelitales Spot 6 y Spot 7 de Airbus Defence and Space Europa de con resolución espacial de 300 m., 100 m y 10 m, para 1992 a 2018, 2013 a 2018 y 2018, respectivamente.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:
GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 42**
JUANACATLÁN **(JAN) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:60,000
0 4.5 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA UNAM
imeplan Instituto Metropolitano de Planeación
PL-IN-1

FICHA TÉCNICA (PL-IN-2)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Niveles de riesgo de inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del efecto combinado de dos aspectos:

1) la vulnerabilidad física del terreno: derivada de las pendientes y los tipos de suelos (clasificados por su capacidad de infiltración/escurrimiento), que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias moderadas e intensas; y
2) peligro por lluvias: la distribución en el AMG de la probabilidad de precipitación cuya intensidad se encuentre en el PCP 90 o 95.

El mapa reúne información de diversas fuentes que representan las condiciones del terreno, lo que permite modelar por donde escurre el agua, cómo se acumula en ciertos lugares, y la capacidad del suelo de infiltrar el agua cuando llueve. El mapa representa las zonas donde hay más probabilidad de que ocurra, sin embargo no muestra el área total del evento.

Esas zonas pueden resultar de los cauces naturales (ríos o arroyos) o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, trazo e infraestructura.

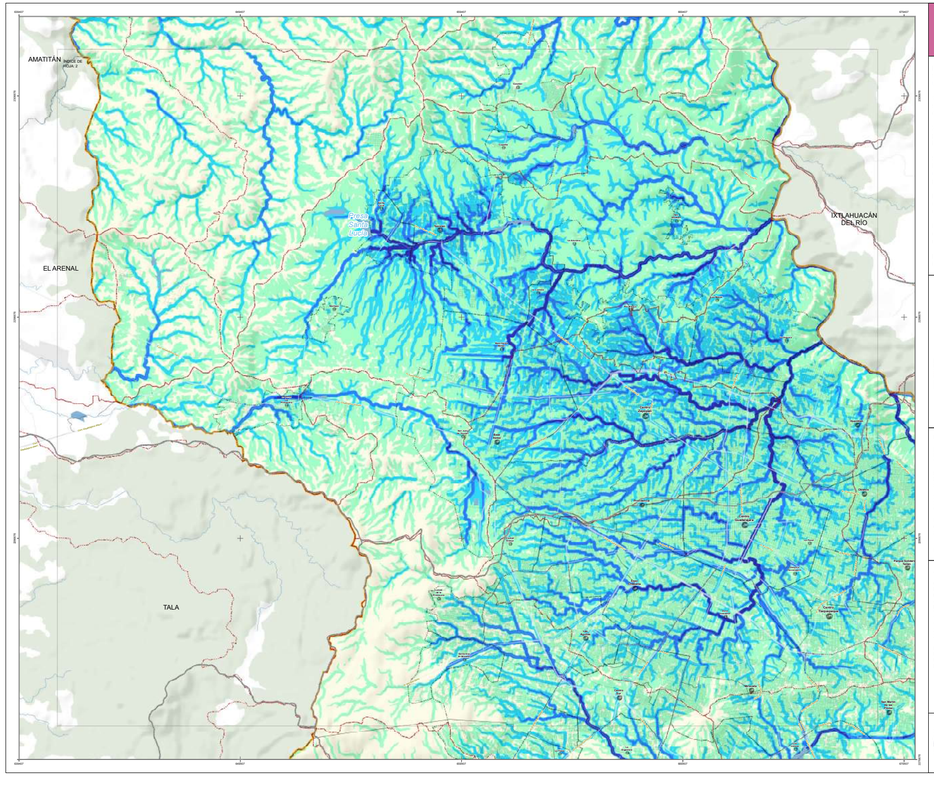
Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• El mapa auxilia a identificar qué tan posible es que se susciten eventos en ciertas áreas, (marcadas en color oscuro) que reúnen las características y circunstancias que se asocian a la ocurrencia de inundaciones pluviales.

Las microcuencas de interés en este mapa son:

• Las que escurren principalmente al Río Santiago y desarrollos urbanos aislados: La Villa de Cuerámaro, La Mesita, Ejido Copalita y Santa Cruz del Astillero.
• Las que tienen mayor escurrimiento hacia la zona conurbada del AMG: La Venta del Astillero, Rancho Contento, Río Blanco, Zapopan, Mascuala, Santa Anita, Guadalajara y El Rosario
• En SIGMetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia en el mapa general de Riesgo de inundación con la clave PL-IN.

I-995.034



NIVEL DE RIESGO ANTE INUNDACIONES (CUADRANTE 2/6)
Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.034
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

El mapa de **Niveles de riesgo de inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del **efecto combinado** de dos aspectos:

1) la **vulnerabilidad física** del terreno (como las pendientes y los tipos de suelos) que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias; y

2) lo que se conoce como **peligro por lluvias**: la distribución en el AMG de la probabilidad de que se den lluvias muy intensas y potencialmente dañinas, tan fuertes que sólo ocurren en una proporción muy pequeña de los días lluviosos.

Se notan en color oscuro las zonas en las que circula o se acumula el agua. No siempre se inundará toda el área marcada. El mapa representa las **zonas donde es más probable que ocurra**, no el área total del evento. Esto es útil para planear.

Esas zonas pueden resultar de los **cauces naturales** (ríos o arroyos), o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, el trazo y la infraestructura.

Para ver los detalles, el mapa general del AMG se dividió en **cuadrantes**. En este mapa se presenta el cuadrante 2, el norte del AMG, con áreas de los municipios de Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque.

Para su fácil consulta, este mapa se puede imprimir en gran formato, en un tamaño de 90x60 cm.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Nivel de riesgo de inundaciones
- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo
- Subcuencas (INEGI)
- Microcuencas (FIRCO)
- Índice de hojas

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Límite de centralidades
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad
- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
DI: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMIR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI. "Modelo digital de elevación a partir de información topográfica vectorial escala 1:50 000 escenario mínimo subterráneo y semihemisférico", con escala 1:10,000, datum ITRF08 (epoca 2010.0), Modelos Digitales de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) con resolución espacial de 30 m., GDEM V2 (F1GDE2, F1GDE3, F1GDE4, F1GDE5, F1GDE6, F1GDE7, F1GDE8, F1GDE9, F1GDF1, F1GDF2, F1GDF3). Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II INEGI. Modelo Digital de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) con resolución espacial de 30 m., 100 m. Japan Space Systems, Japan and United States National Aeronautics and Space Administration (NASA). Serie II INEGI. Modelo Digital de Elevación TanDEM-X 90m (TDM1) de Espacial Europea de con resolución espacial de 300 m., 100 m y 10 m, para 1992 a 2018, 2013 a 2018 y 2018, respectivamente.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 51**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
EL/PSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:60,000
0 4.5 Km

IG imeplan — Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
PL-IN-2

FICHA TÉCNICA (PL-IN-3)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Niveles de riesgo de inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del efecto combinado de dos aspectos:

1) la vulnerabilidad física del terreno: derivada de las pendientes y los tipos de suelos (clasificados por su capacidad de infiltración/escurrimiento), que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias moderadas e intensas;
2) peligro por lluvias: la distribución en el AMG de la probabilidad de precipitación cuya intensidad se encuentre en el PCP 90 o 95.

El mapa reúne información de diversas fuentes que representan las condiciones del terreno, lo que permite modelar por donde escurre el agua, cómo se acumula en ciertos lugares, y la capacidad del suelo de infiltrar el agua cuando llueve. El mapa representa las zonas donde es más hay más probabilidad de que ocurra, sin embargo no muestra el área total del evento.

Esas zonas pueden resultar de los cauces naturales (ríos o arroyos) o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, trazo e infraestructura.

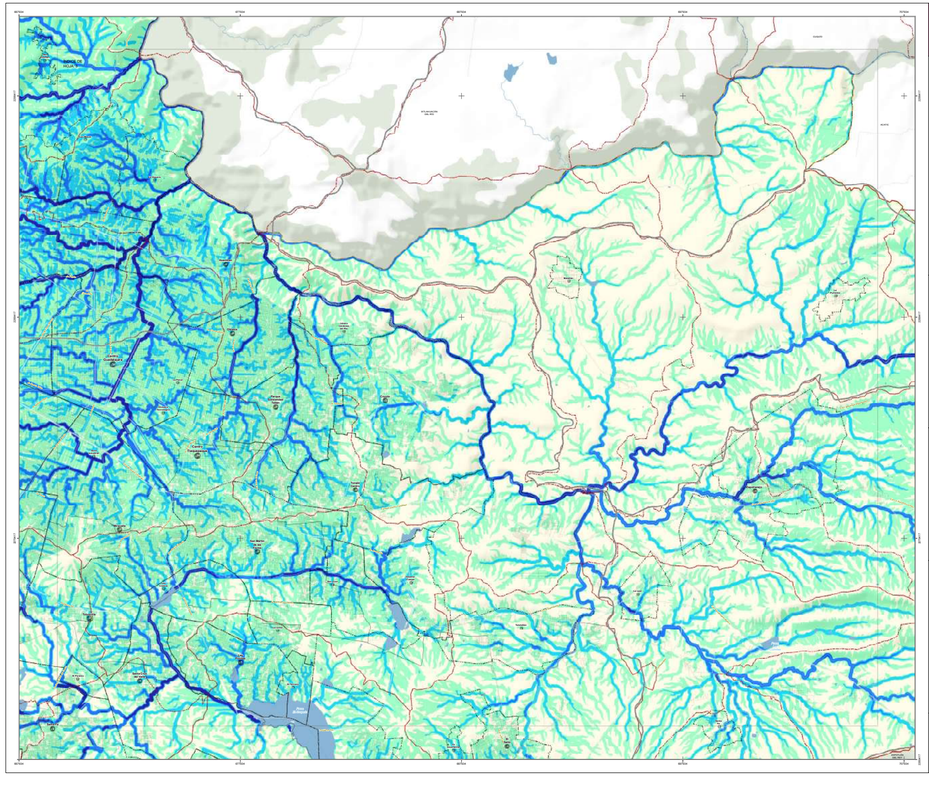
Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• El mapa auxilia a identificar qué tan posible es que se susciten eventos en ciertas áreas (marcadas en color oscuro), que reúnen las características y circunstancias que se asocian a la ocurrencia de inundaciones pluviales.

Las microcuencas de interés en este mapa son:

• Las que escurren principalmente al Río Santiago: Santa Rita, Lagunillas y Atengo
• Las que tienen mayor escurrimiento hacia la zona conurbada del AMG: Coyula, El Rosario, El Salto, Guadalajara, La Laja, La Paz, La Purísima, Las Pintas, Las Pintitas, Mascuala, Matatlán, Río Blanco, San Joaquín Los Zorrillos, Santa Anita, Santa Cruz del Valle, Santa Fe, Zapopan y Zapotlanejo.
• En SIGMetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia en el mapa general de Riesgo de inundación con la clave PL-IN.

I-995.035



NIVEL DE RIESGO ANTE INUNDACIONES (CUADRANTE 3/6)
Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.035
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

El mapa de **Niveles de riesgo de inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del **efecto combinado** de dos aspectos:

1) la **vulnerabilidad física** del terreno (como las pendientes y los tipos de suelos) que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias; y

2) lo que se conoce como **peligro por lluvias**: la distribución en el AMG de la probabilidad de que se den lluvias muy intensas y potencialmente dañinas, tan fuertes que sólo ocurren en una proporción muy pequeña de los días lluviosos.

Se notan en color oscuro las zonas en las que circula o se acumula el agua. No siempre se inundará toda el área marcada. El mapa representa las **zonas donde es más probable que ocurra**, no el área total del evento. Esto es útil para planear.

Esas zonas pueden resultar de los **cauces naturales** (ríos o arroyos), o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, el trazo y la infraestructura.

Para ver los detalles, el mapa general del AMG se dividió en **cuadrantes**. En este mapa se presenta el cuadrante 3, el centro-oriente del AMG, con áreas de los municipios de El Salto, Juanacatlán, Guadalajara, San Pedro Tlaquepaque, Tlajomulco de Zúñiga, Tonalá y Zapotlanejo.

Para su fácil consulta, este mapa se puede imprimir en gran formato, en un tamaño de 90x60 cm.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Nivel de riesgo de inundaciones
- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo
- Subcuencas (INEGI)
- Microcuencas (FIRCO)
- Índice de hojas

SIMBOLOGÍA BASE
- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Límite de centralidades
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa
- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN. Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
DI: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
- PRRR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI. "Modelo digital de elevación a partir de información topográfica vectorial y aerosensores remotos tripulados y semitripulados", con escala 1:10,000, datum ITRF08 (epoca 2010.0). Modelos Digitales de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne, F12DEL F12DEM, F13DET, F13DTO y F13DTA). Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II INEGI. Modelo Digital de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) con resolución espacial de 30 m., 100 m y 1 km, para 1992 a 2019, 2010 a 2019 y 2018, respectivamente. Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), Japan Space Systems, Japan and United States National Aeronautics and Space Administration (NASA). Serie II INEGI. Modelo Digital de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) con resolución espacial de 30 m., 100 m y 1 km, para 1992 a 2019, 2010 a 2019 y 2018, respectivamente.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS **(IXM) / 51**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.



ESCALA 1:60,000
0 4.5 Km

IG imeplan — Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
PL-IN-3

FICHA TÉCNICA (PL-IN-4)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Niveles de riesgo de inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del efecto combinado de dos aspectos:

1) la vulnerabilidad física del terreno: derivada de las pendientes y los tipos de suelos (clasificados por su capacidad de infiltración/escurrimiento), que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias moderadas e intensas;
2) peligro por lluvias: la distribución en el AMG de la probabilidad de precipitación cuya intensidad se encuentre en el PCP 90 o 95.

El mapa reúne información de diversas fuentes que representan las condiciones del terreno, lo que permite modelar por donde escurre el agua, cómo se acumula en ciertos lugares, y la capacidad del suelo de infiltrar el agua cuando llueve. El mapa representa las zonas donde hay más probabilidad de que ocurra, sin embargo no muestra el área total del evento.

Esas zonas pueden resultar de los cauces naturales (ríos o arroyos) o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, trazo e infraestructura.

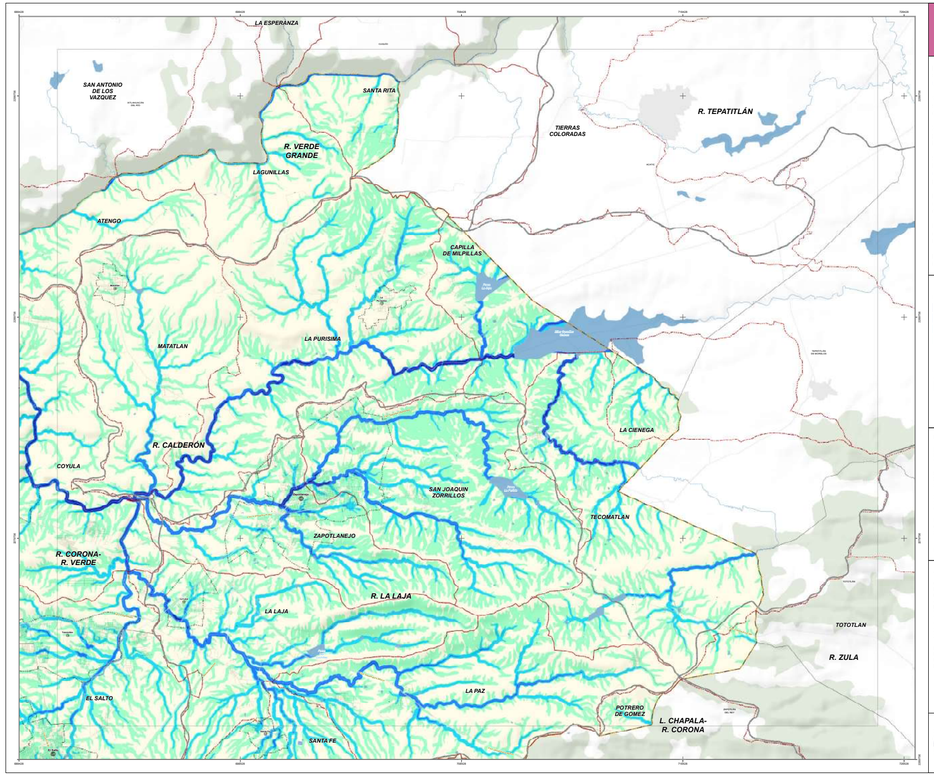
Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• El mapa auxilia a identificar qué tan posible es que se susciten eventos en ciertas áreas (marcadas en color oscuro), que reúnen las características y circunstancias que se asocian a la ocurrencia de inundaciones pluviales.

Las microcuencas de interés en este mapa son:

• Las que escurren principalmente al Río Verde: Santa Rita, Lagunillas y Atengo
• Las que tienen mayor escurrimiento hacia la zona urbana del municipio de Zapotlanejo y vierten sus aguas en el Río Santiago: Capilla de Milpillas, Coyula, La Ciénega, La Laja, La Paz, La Purísima, Matatlán, Potrero de Gómez, San Joaquín Zorrillos, Santa Fe, Tecomatlán, Tototlán y Zapotlanejo.
• Las que cruzan localidades aisladas y vierten sus aguas en el Río Santiago: El Salto.
• En SIGMetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia en el mapa general de Riesgo de inundación con la clave PL-IN.

I-995.036



NIVEL DE RIESGO ANTE INUNDACIONES (CUADRANTE 4/6)
Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.036
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

El mapa de **Niveles de riesgo de inundaciones** muestra las probabilidades de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del **efecto combinado** de dos aspectos:

1) la **vulnerabilidad física** del terreno (como las pendientes y los tipos de suelos) que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias; y

2) lo que se conoce como **peligro por lluvias**: la distribución en el AMG de la probabilidad de que se den lluvias muy intensas y potencialmente dañinas, tan fuertes que sólo ocurren en una proporción muy pequeña de los días lluviosos.

Se notan en color oscuro las zonas en las que circula o se acumula el agua. No siempre se inundará toda el área marcada. El mapa representa las **zonas donde es más probable que ocurra**, no el área total del evento. Esto es útil para planear.

Esas zonas pueden resultar de los **cauces naturales** (ríos o arroyos), o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, el trazo y la infraestructura.

Para ver los detalles, el mapa general del AMG se dividió en **cuadrantes**. En este mapa se presenta el cuadrante 4, el oriente del AMG, que abarca, sobre todo, los municipios de Zapotlanejo y El Salto.

Para su fácil consulta, este mapa se puede imprimir en gran formato, en un tamaño de 90x60 cm.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA
Nivel de riesgo de inundaciones
- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo
- Subcuencas (INEGI)
- Microcuencas (FIRCO)
- Índice de hojas

SIMBOLOGÍA BASE
- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Límite de centralidades
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa
- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN. Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
Di: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PGIR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI. "Modelo digital de elevación de la República Mexicana, generado mediante el sensores remotos satelitales y aerotransportados", con escala 1:10,000, datum ITRF08 (epoca 2010.0). Modelos Digitales de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) con resolución espacial de 30 m. Tomado de NASA Jet Propulsion Laboratory (NETI) Japan Space Systems, Japan and United States National Aeronautics and Space Administration (NASA). Serie de Modelos Digitales de Elevación ASTER (ASTER GDEM) Especial Europea de con resolución espacial de 30 m., 100 m y 10 m, para 1992 a 2018, 2010 a 2018 y 2018, respectivamente.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:
GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 51**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 EPOCA 2010.

ESCALA 1:60,000
0 4.5 Km

IG imeplan — Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
PL-IN-4

FICHA TÉCNICA (PL-IN-5)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Niveles de riesgo de inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del efecto combinado de dos aspectos:

1) la vulnerabilidad física del terreno: derivada de las pendientes y los tipos de suelos (clasificados por su capacidad de infiltración/escurrimiento), que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias moderadas e intensas;
2) peligro por lluvias: la distribución en el AMG de la probabilidad de precipitación cuya intensidad se encuentre en el PCP 90 o 95.

El mapa reúne información de diversas fuentes que representan las condiciones del terreno, lo que permite modelar por donde escurre el agua, cómo se acumula en ciertos lugares, y la capacidad del suelo de infiltrar el agua cuando llueve. El mapa representa las zonas donde hay más probabilidad de que ocurra, sin embargo no muestra el área total del evento.

Esas zonas pueden resultar de los cauces naturales (ríos o arroyos) o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, trazo e infraestructura.

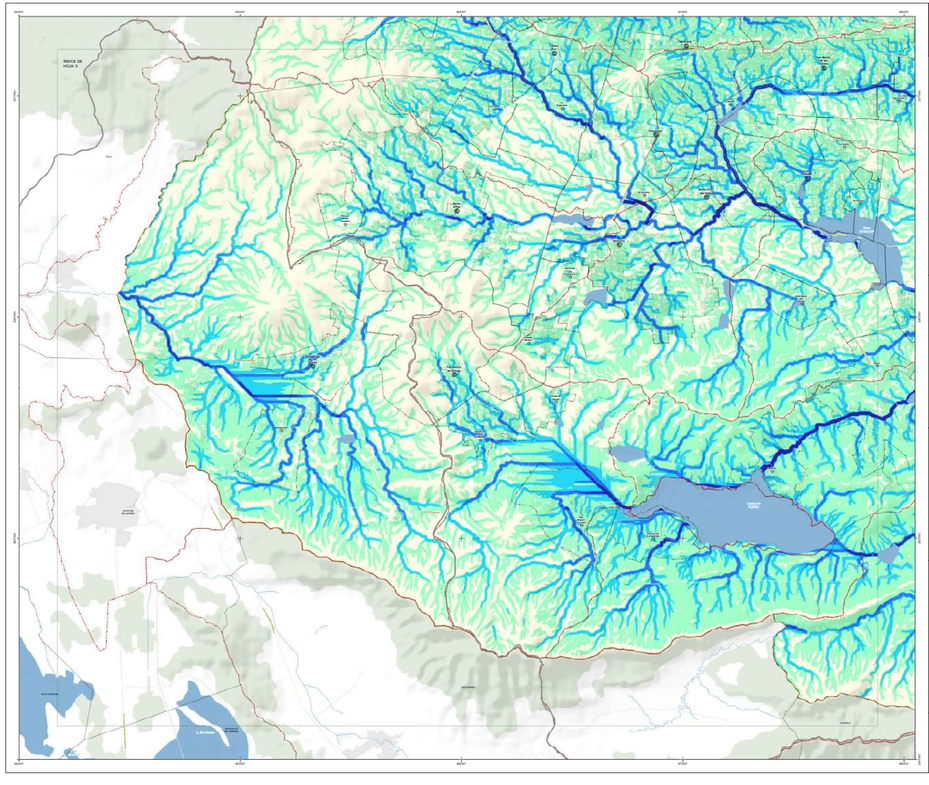
Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• El mapa auxilia a identificar qué tan posible es que se susciten eventos en ciertas áreas (marcadas en color oscuro), que reúnen las características y circunstancias que se asocian a la ocurrencia de inundaciones pluviales.

Las microcuencas de interés en este mapa son:

• Las que escurren por desarrollos urbanos aislados hacia la Laguna Valencia: Santa Cruz de las Flores.
• Las que escurren por desarrollos urbanos aislados hacia la Laguna de Cajititlán: Cajititlán y Tlajomulco de Zúñiga.
• Las que tienen mayor escurrimiento hacia la zona conurbada del AMG: San Sebastián El Grande, Santa Anita, Las Pintitas y Santa Cruz del Valle.
• En SIGMetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia en el mapa general de Riesgo de inundación con la clave PL-IN.

I-995.037


INDICE DE HOJA 5
Laguna Valencia
Laguna de Cajititlán
Laguna Cajititlán
Presa Las Pintitas
Presa Santa Anita
Presa Santa Cruz del Valle
Presa Las Flores
Presa Las Pintitas
Presa Santa Anita
Presa Santa Cruz del Valle
Presa Las Flores
Presa Cajititlán
Presa Cajititlán

FICHA TÉCNICA (PL-IN-6)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Niveles de riesgo de inundaciones** muestra la probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del efecto combinado de dos aspectos:

1) la vulnerabilidad física del terreno: derivada de las pendientes y los tipos de suelos (clasificados por su capacidad de infiltración/escurrimiento), que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias moderadas e intensas; y
2) peligro por lluvias: la distribución en el AMG de la probabilidad de precipitación cuya intensidad se encuentre en el PCP 90 o 95.

El mapa reúne información de diversas fuentes que representan las condiciones del terreno, lo que permite modelar por donde escurre el agua, cómo se acumula en ciertos lugares, y la capacidad del suelo de infiltrar el agua cuando llueve. El mapa representa las zonas donde hay más probabilidad de que ocurra, sin embargo no muestra el área total del evento.

Esas zonas pueden resultar de los cauces naturales (ríos o arroyos) o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, trazo e infraestructura.

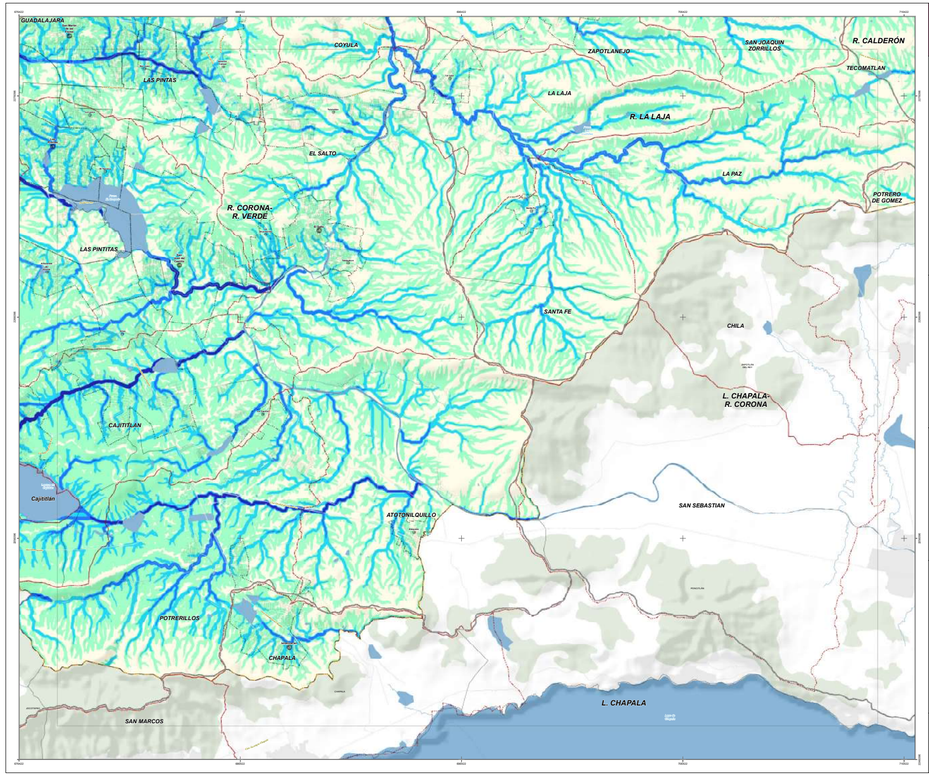
Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• El mapa auxilia a identificar qué tan posible es que se susciten eventos en ciertas áreas (marcadas en color oscuro), que reúnen las características y circunstancias que se asocian a la ocurrencia de inundaciones pluviales.

Las microcuencas de interés en este mapa son:

• Las que escurren principalmente al Río Santiago pasando por localidades urbanas del AMG: Cajititlán, Las Pintitas, Atotonilquillo, Potrerillos y El Salto.
• Las que tienen mayor escurrimiento hacia la zona urbana del municipio de Zapotlanejo y vierten sus aguas en el Río Santiago: Santa Fe, La Paz y La Laja.
• En SIGMetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia en el mapa general de Riesgo de inundación con la clave PL-IN.

I-995.038



NIVEL DE RIESGO ANTE INUNDACIONES (CUADRANTE 6/6)
Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.038
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

El mapa de **Niveles de riesgo de inundaciones** muestra las probabilidades de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del **efecto combinado** de dos aspectos:

1): la **vulnerabilidad física** del terreno (como las pendientes y los tipos de suelos) que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias; y

2): lo que llamamos **peligro por lluvias**: la distribución en el AMG de la probabilidad de que se den lluvias muy intensas y potencialmente dañinas, tan fuertes que sólo ocurren en una proporción muy pequeña de los días lluviosos.

Se notan en color oscuro las zonas en las que circula o se acumula el agua. No siempre se inundará toda el área marcada. El mapa representa las **zonas donde es más probable que ocurra**, no el área total del evento. Esto es útil para planear.
Esas zonas pueden resultar de los **cauces naturales** (ríos o arroyos), o de un cauce artificial dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, el trazo y la infraestructura.

Para ver los detalles, el mapa general del AMG se dividió en **cuadrantes**. En este mapa se presenta el cuadrante 6, el sur-oriente del AMG, que abarca, partes de los municipios de Ixtlahuacán, El Salto, Juanacatlán, Tonalá y Zapotlanejo.

Para su fácil consulta, este mapa se puede imprimir en gran formato, en un tamaño de 90x60 cm.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Nivel de riesgo de inundaciones
- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo
- Subcuencas (INEGI)
- Microcuencas (IITECO)
- Índice de hojas

SIMBOLOGÍA BASE
- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Límite de centralidades
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad
- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PRIR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI. "Modelo digital de elevación de la República Mexicana, generado mediante el aerosensoramiento remoto submarino y aeroinvestigación", con escala 1:10,000, datum ITRF08 (epoca 2010.0). Modelos Geoestadísticos de Peligros de suelos. Escala 1:250 000. F13D56, F13D57, F13D58, F13D64, F13D65, F13D66, F13D67, F13D72, F13D73). Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II INEGI. Modelo Digital de Elevación ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) con resolución espacial de 30 m. Publicado por Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) Japan Space Systems, Japan and United States National Aeronautics and Space Administration (NASA). Serie Modelo Digital de Elevación TanDEM-X con resolución espacial Especial Europea de con resolución espacial de 30 m., 100 m y 10 m, para 1992 a 2018, 2015 a 2018 y 2018, respectivamente.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:
GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS **(IXM) / 51**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:60,000
0 4.5 Km

IG imeplan — Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
PL-IN-6

FICHA TÉCNICA (PC-IN-1)
MAPA PARA PROTECCIÓN CIVIL

El **mapa de capacidad operativa emergente para atender inundaciones** muestra la relación entre el tiempo de respuesta (medido a partir de la ubicación de la infraestructura estratégica para la atención de emergencias), y las zonas identificadas como de alto riesgo de inundaciones.

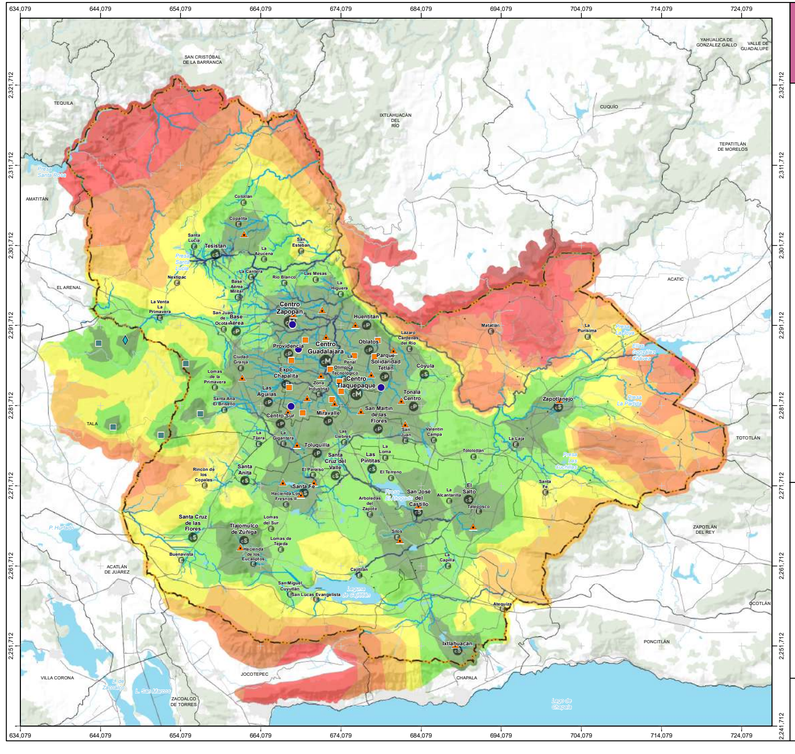
En este mapa isócrono se ayuda a evaluar la cobertura local de infraestructura de emergencias para la respuesta a eventos que pudieran suscitarse en las áreas de mayor probabilidad de inundación. El cruce de ambas capas presenta una aproximación a la capacidad operativa emergente para atender este tipo de eventos, por lo cual sirve para evaluar estrategias de respuesta a situaciones que requieren una respuesta rápida.

La identificación de estas áreas es relevante para generar procesos de planeación de respuesta, especialmente cuando las zonas que requieren atención se distribuyen en el territorio de dos o más municipios, o cuando la vía óptima para mejorar la cobertura requiere de una colaboración intermunicipal.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para poder identificar las zonas que requieren un fortalecimiento de infraestructura operativa de respuesta y reacción. Sirve también para la identificación de las áreas específicas que requieren reforzar la atención en la planeación estratégica de los programas especiales para temporada de lluvias.
- Este mapa puede ser útil en la planeación de acciones intermunicipales de apoyo mutuo en materia de respuesta a eventos de inundación.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Índice de capacidad operativa emergente para atender inundaciones, clave PC-IN-1.

I-995.021



CAPACIDAD OPERATIVA EMERGENTE PARA ATENDER INUNDACIONES

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA	NÚMERO HISTÓRICO
I-995.021	01

INSTRUMENTO: **AMR**

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Tipo de infraestructura estratégica para la atención de emergencias

- Base de Protección Civil
- Centro de Capacitación
- Centro Operativo SIAPA
- Módulo de Protección Civil
- Torre de Detección de incendios

Riesgo de inundación

- Muy alto
- Alto

Tiempo de respuesta en minutos

- 60 - 120
- 40 - 60
- 30 - 40
- 25 - 30
- 20 - 25
- 15 - 20
- 10 - 15
- 5 - 10
- 0 - 5

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- CE Centralidad Emergente

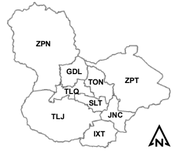
REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.
GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.
Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.
INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.
TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART 34):
PRM: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos de cambio climático.

FUENTES:
IMEPLAN (a partir del mapa General del Estado de Jalisco, 2012; Red vial del AMG: Infraestructura estratégica para la atención de las emergencias 2020: Áreas Naturales Protegidas); UNAM cálculo de riesgo de inundación 2021.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:355,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M

imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PC-IN-1

FICHA TÉCNICA (PL-M-IN)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Aptitud de zonas de infiltración para mitigación de inundaciones** se orienta a las áreas que, en términos de vulnerabilidad física, se caracterizan como zonas en las cuales la lluvia no se acumula. Esta característica puede ser destacable en términos de planeación, ya que, en ciertos casos, pueden ser espacios propicios para la implementación de acciones de mitigación que reduzcan el escurrimiento del agua de lluvia hacia áreas más bajas, en donde ésta se acumula.

El mapa se compone de dos áreas principales. La primera está ubicada dentro de los perímetros de crecimiento (10 km) del Plan de Ordenamiento Territorial Metropolitano; la segunda, fuera de este límite.

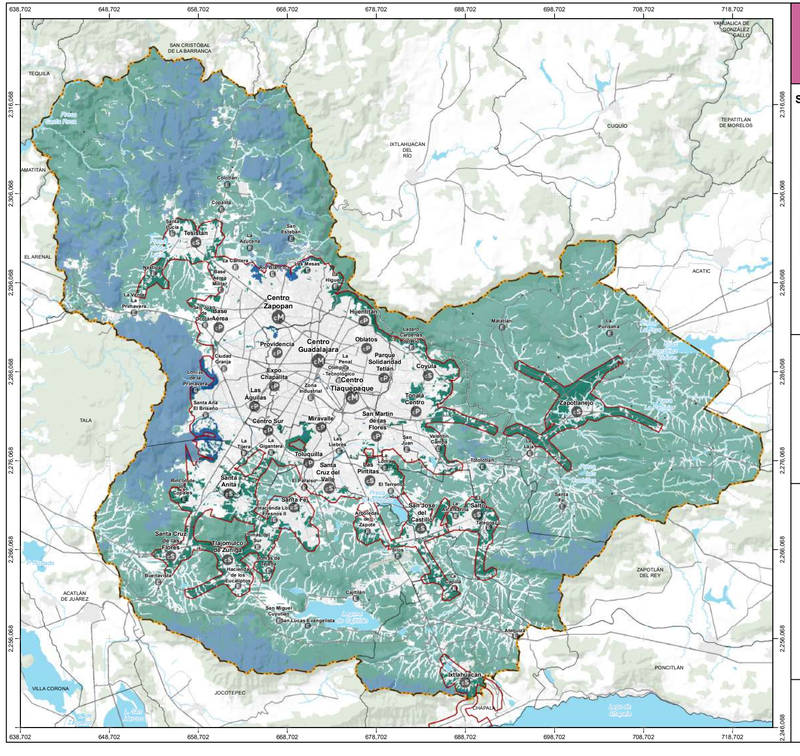
En ambas áreas se muestra una combinación de vulnerabilidad física del terreno, con la información sobre la permeabilidad del suelo (la edafología clasificada según la condición de permeabilidad). Esta última se clasificó en dos rangos de aptitud de infiltración (alta y media) de acuerdo con los parámetros utilizados en este Atlas.

En el área dentro de los perímetros de crecimiento, dado que son los suelos que pueden ser ocupados por el crecimiento urbano (se marcan colores más oscuros). En las áreas fuera de este contorno (se utilizan colores más claros).

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para poder identificar las zonas más aptas para la infiltración de agua pluvial, en las que deben priorizarse acciones para proteger los servicios ecosistémicos del suelo.
- Este mapa es una herramienta para incidir en acciones de prevención, a través de la reducción del escurrimiento de agua que se acumula y tiene impactos sociales y económicos en las áreas de riesgo más alto.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Áreas prioritarias de protección por servicios ambientales (infiltración), clave PL-M-IN.

I-995.022



APTITUD DE ZONAS DE INFILTRACIÓN PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.022

NÚMERO HISTÓRICO: 01

INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Aptitud de zonas de infiltración dentro de polígonos de crecimiento

- Alta
- Media

Aptitud de zonas de infiltración fuera del polígono de crecimiento

- Alta
- Media

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente
- Perímetros de crecimiento 10 km.

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

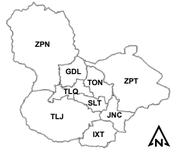
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de inundaciones (UNAM) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995). 'Edafología'. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP); Cobertura del suelo (CONAFOR Y SEMADET, 2020); POTmet Bosques Urbanos, POTmet Perímetros de crecimiento.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M

imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-M-IN

FICHA TÉCNICA (PL-P-IN)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Presión en el funcionamiento del drenaje** muestra la distribución en el AMG de un componente específico que genera presiones adicionales a la red de drenaje urbano: los desechos de algunos giros económicos.

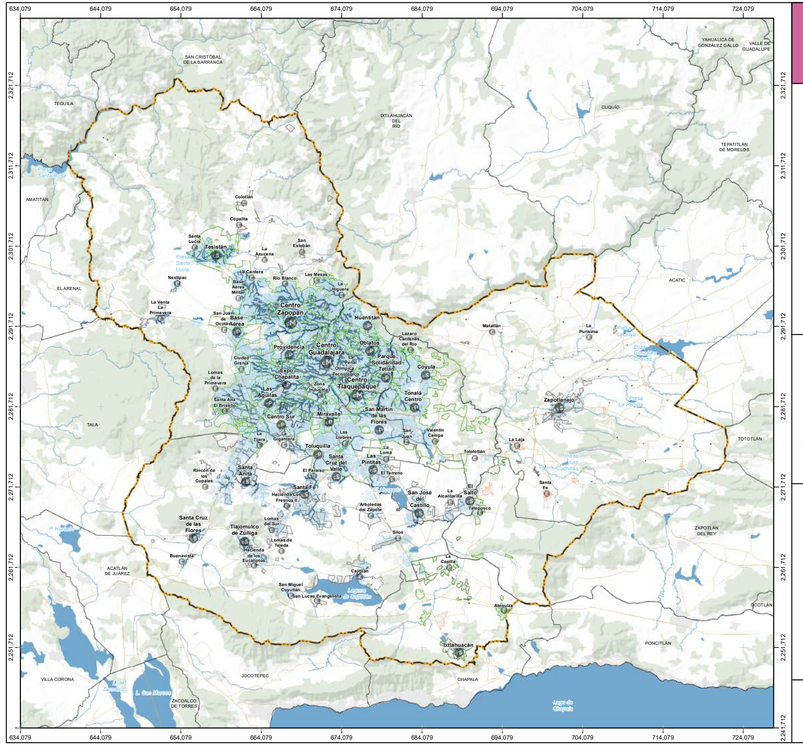
El mapa se construye a partir de la combinación de dos factores: la vulnerabilidad física del terreno: ante las inundaciones, junto con un cálculo de densidad de los giros económicos que pueden generar una presión adicional por su posible incidencia en la reducción de la capacidad del drenaje. Lo anterior, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Consideramos en particular los componentes de sólidos sedimentables, grasas y aceites, por lo cual se identifica la localización de restaurantes, panaderías y giros asociados a la industria alimentaria del Directorio Estadístico de Unidades Económicas (DENUE) de 2020, con respecto a su ubicación en zonas de vulnerabilidad física.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para identificar las zonas en las cuales es necesario reforzar la vigilancia en materia del funcionamiento del drenaje, así como acciones de desazolve preventivos, Ello, en adición a la atención que ya se realiza en el organismo operador a partir de reportes de incidentes.
- Este mapa nos ayuda a incidir en acciones de prevención, especialmente en el cuidado de las capacidades de desalojo de aguas pluviales.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Índice de presión sobre el funcionamiento del drenaje, clave PL-P-IN.

I-995.023



PRESIÓN EN EL FUNCIONAMIENTO DEL DRENAJE EN EL AMG

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.023

NÚMERO HISTÓRICO: 01

INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Cobertura de drenaje

- 100%
- Del 86 a 99%
- Del 71 a 85%
- De 70% a 50%
- Sin informacion

Presión en el funcionamiento del drenaje

- Alta
- Media

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):

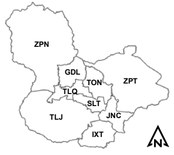
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:

Análisis de inundaciones (UNAM) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995). 'Edafología'. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP); Cobertura del suelo (CONAFOR Y SEMADET, 2020); POTmet Bosques Urbanos, Perímetros de crecimiento (POTmet, 2016).

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACLATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:355,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M

imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-P-IN

Cartografía de ondas de calor

FICHA TÉCNICA (PL-OC.A)
MAPA PARA PLANEACIÓN

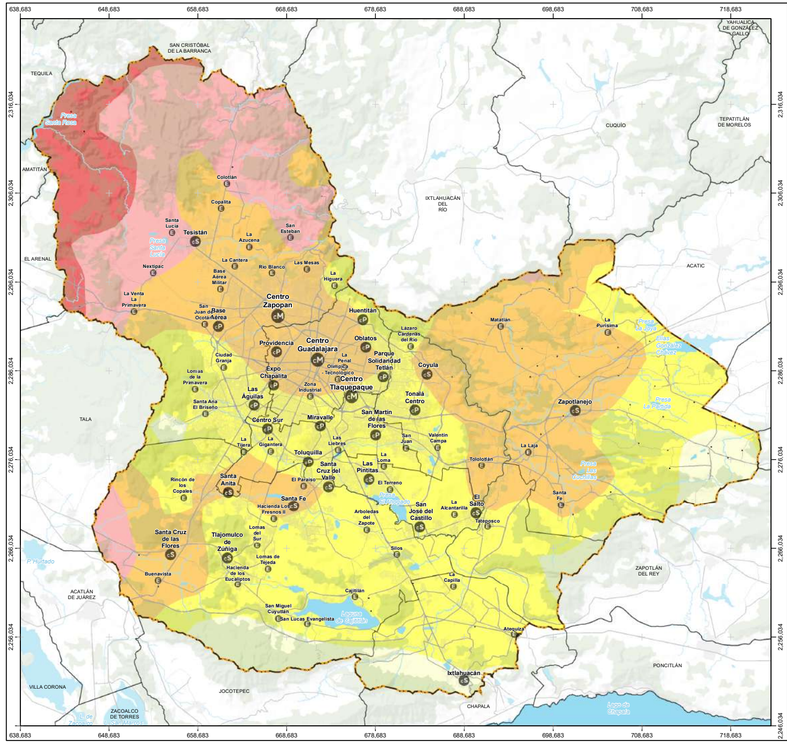
El **mapa de Peligro ante ondas de calor (temperatura de referencia 30°C)**, se construye a partir de la distribución espacial del Índice de Confort Humano en el AMG; es decir, las áreas que tienen más probabilidad de eventos de esta combinación de circunstancias de temperatura/humedad, en los cuales se rebasa el umbral de confort en una temperatura de referencia de 30°C.

El Índice de Confort Humano se refiere a la combinación de la temperatura y la humedad en la atmósfera. Algunas combinaciones de temperatura/humedad rebasan umbrales que pueden llegar a inhibir o interferir con funciones orgánicas humanas importantes, lo cual puede llevar a impactos en la salud de las personas vulnerables o expuestas; particularmente, a personas con enfermedades crónicas previas, o personas que trabajan al aire libre.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa de Peligro ante ondas de calor representa la distribución espacial y la probabilidad de rebasar umbrales de humedad y temperatura establecidos para definir afectaciones orgánicas a poblaciones vulnerables.
- Esta distribución debe ser considerada para planear los sistemas de alertamiento y atención temprana a poblaciones altamente expuestas (por ejemplo, trabajadores de la construcción o que se desempeñan en la vía pública). O bien, personas que tengan menor tolerancia a este umbral; por ejemplo, quienes tengan estados de salud precarios, piel más clara o más cantidad de grasa corporal.
- Este mapa puede ser auxiliar en el diseño de normas técnicas complementarias metropolitanas para proyectos de construcción e instalaciones, que consideren el confort térmico y las instalaciones refrigerantes eficientes como una medida de reducción de vulnerabilidad.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre Peligro ante ondas de calor, clave PL-OC.A.

I-995.027


638,683
648,683
658,683
668,683
678,683
688,683
698,683
708,683
718,683
2,316,034
2,306,034
2,296,034
2,286,034
2,276,034
2,266,034
2,256,034
2,246,034
SAN CRISTÓBAL DE LA BARRANCA
TEQUILA
AMATITÁN
EL ARENAL
TALA
ACATLÁN DE JUÁREZ
VILLA CORONA
ZACOALCO DE TORRES
JOCOTEPEC
CHAPALA
IXTLAHUACÁN DEL RÍO
CUQUÍO
TEPATITLÁN DE MORELOS
ACATIC
ZAPOTLÁN DEL REY
PONCITLÁN
Presa Santa Rosa
Presa Las Pintas
Presa La Vega
Presa La Purísima
Presa Calderón
Presa Las Pintas
Presa Las Agujas
Presa Las Pintas
Presa Las Pintas
Presa Las Pint

FICHA TÉCNICA (PL-OC.B)
MAPA PARA PLANEACIÓN

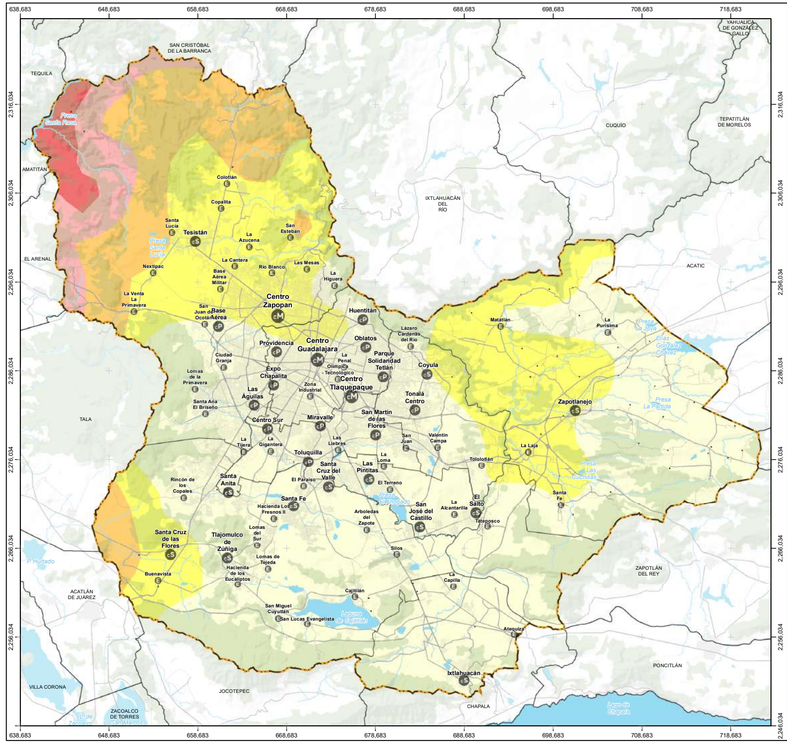
El **mapa de Peligro ante ondas de calor (temperatura de referencia 35°C)**, se construye a partir de la distribución espacial del Índice de Confort Humano en el AMG; es decir, las áreas que tienen más probabilidad de eventos de esta combinación de circunstancias de temperatura/humedad, en los cuales se rebasan umbrales que pueden llegar a inhibir o interferir con funciones orgánicas humanas importantes, lo cual puede llevar a impactos en la salud de las personas vulnerables o expuestas.

La diferencia entre el mapa anterior (30°C) y el actual (35°C) es el umbral. Los efectos en un umbral de Índice de Confort a 35°C son mucho más intensos y peligrosos. Las ondas de calor que rebasan este umbral son poco frecuentes, pero muy peligrosas para la salud, por lo cual se debe planear cómo prevenir sus efectos y reducir sus daños

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa de Peligro ante ondas de calor (35°C) representa la distribución espacial y la probabilidad de rebasar umbrales de humedad y temperatura establecidos para definir afectaciones orgánicas a poblaciones vulnerables.
- Esta distribución debe ser considerada para planear los sistemas de alertamiento y atención temprana a un rango amplio de población expuesta. Sin embargo, se debe dar prioridad a poblaciones que tengan menor tolerancia a este umbral; por ejemplo, quienes tengan estados de salud precarios (por ejemplo, personas de edad avanzada); sean más vulnerables (infantes) o que vivan en espacios sin condiciones adecuadas de habitabilidad.
- Este mapa puede ser auxiliar en el diseño de normas técnicas complementarias metropolitanas para proyectos de construcción e instalaciones, que consideren el confort térmico y las instalaciones refrigerantes eficientes como una medida de reducción de vulnerabilidad y exposición.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre Peligro ante ondas de calor, clave PL-OC.B.

I-995.029



ÁREAS DEL AMG CON MAYOR PROBABILIDAD DE REBASAR CONDICIONES DE CONFORT (TEMPERATURA DE REFERENCIA 35°C)

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.029
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Probabilidad de rebasar el Índice de Confort (35°C)

symbol

- Más probable (entre 26 y 45% de los días podría rebasarse)
- 16% - 25%
- 6% - 15%
- 2% - 5%
- Menos probable (en menos de un 1% de los días podría rebasarse)

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- aM Centralidad Metropolitana
- dP Centralidad Periférica
- cS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

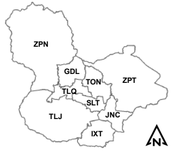
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de calor (UNAM) 1950-2018
SMN-CONAGUA; Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-OC.B

FICHA TÉCNICA (PC-OC1)
MAPA PARA PROTECCIÓN CIVIL

El **mapa de Concentración absoluta de población prioritaria en situaciones de temperatura extrema** (vulnerabilidad ante ondas de calor) muestra las zonas del AMG en las cuales hay mayor cantidad de personas que viven con las condiciones de vulnerabilidad intrínseca (edad y derechohabiencia).

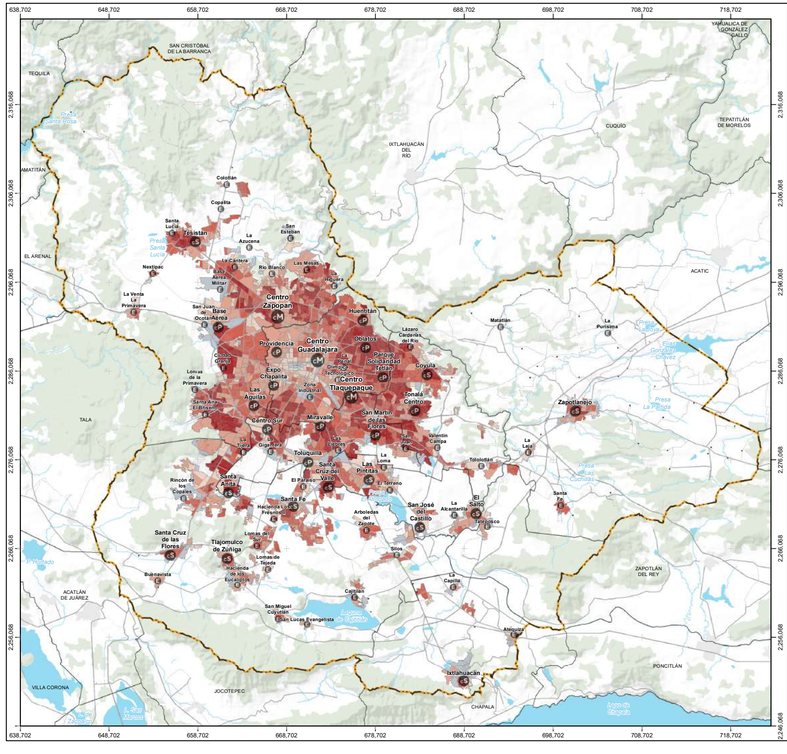
Es importante hacer notar que este mapa es distinto al de Vulnerabilidad social ante ondas de calor (síntesis), el cual se presenta en términos tanto absolutos como relativos (en proporción con el total de habitantes del Área Geoestadística Básica, tal como se describe en la metodología).

En este mapa, se presenta la concentración/distribución directa del total de personas vulnerables en el AMG. De esta manera, podemos ver.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para poder identificar las zonas en las que deben priorizarse acciones de intervención en medicina preventiva, de cara a una probable situación crítica en cuanto a temperaturas.
- El mapa muestra valores absolutos; es decir, la concentración de personas con estas características en áreas específicas del AMG.
- Esta información es relevante porque ayuda a movilizar recursos clave donde más personas lo necesitan, especialmente en el área de medicina social: dónde hay más personas desprotegidas en edades extremas (infancia y adultos mayores)
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Población vulnerable ante ondas de calor, clave PC-OC1.

I-995.020



CONCENTRACIÓN ABSOLUTA DE POBLACIÓN PRIORITARIA EN SITUACIONES DE TEMPERATURA EXTREMA (VULNERABILIDAD ANTE ONDAS DE CALOR)
Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: **I-995.020**
NÚMERO HISTÓRICO: **01**
INSTRUMENTO: **AMR**

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Concentración de población vulnerable a ondas de calor

- Muy alta
- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- CE Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

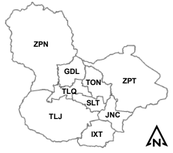
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Censo de Población y Vivienda, INEGI 2020; Mapa general del Estado de Jalisco; SIGMETRO / VIMOZmetro, Componente estratégico POTmet 2021.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IGimeplan
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PC-OC1

FICHA TÉCNICA (PL-E-OC)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Concentración absoluta de vivienda con carencias ante ondas de calor** (vulnerabilidad ante ondas de calor) muestra las zonas del AMG en las cuales hay mayor cantidad de personas en viviendas con condiciones de vulnerabilidad específicas (falta de cobertura de agua potable y alcantarillado en las viviendas, y su sin disponibilidad de bienes refrigerantes).

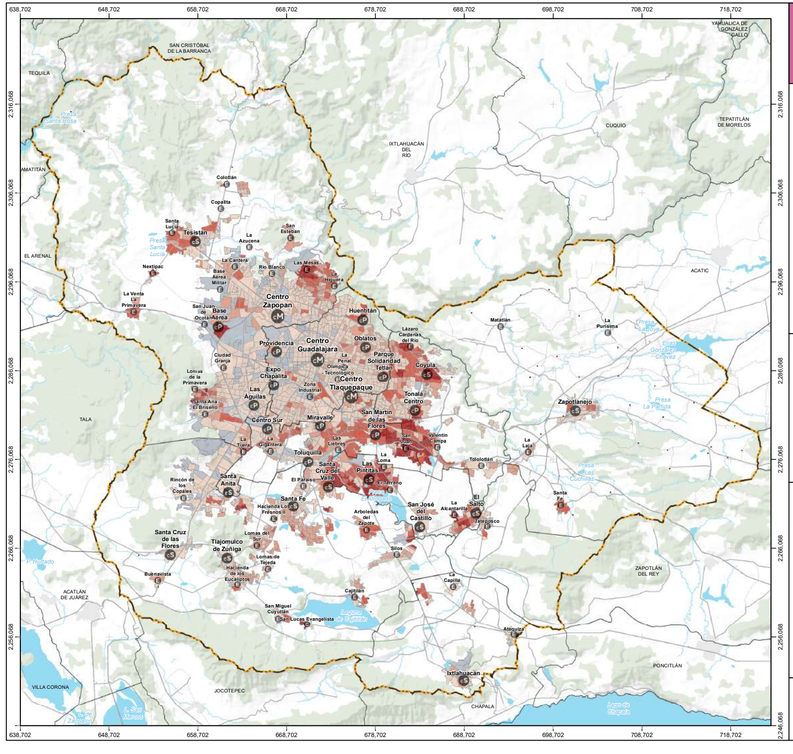
Es importante hacer notar que este mapa es distinto al de Vulnerabilidad social ante ondas de calor (síntesis), el cual se presenta en términos tanto absolutos como relativos (en proporción con el total de habitantes del Área Geoestadística Básica, tal como se describe en la metodología).

En este mapa, se presenta la concentración/distribución en el AMG de características relevantes de las viviendas que generan condiciones de susceptibilidad al daño en las personas que las habitan, ante una situación de una onda de calor.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para poder identificar las zonas en las que deben priorizarse acciones de revisión de acceso a bienes clave para protección de las personas ante ondas de calor, de cara a una probable situación crítica en cuanto a temperaturas.
- El mapa sirve para conocer la dimensión específica de la vulnerabilidad, y ayuda a planear intervenciones para reducir la vulnerabilidad específica en el escenario de eventos de ondas de calor.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad ante ondas de calor por condición de vivienda, clave PL-E-OC.

I-995.024



CONCENTRACIÓN ABSOLUTA DE VIVIENDA CON CARENCIAS ANTE ONDAS DE CALOR (VULNERABILIDAD ANTE ONDAS DE CALOR)

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.024
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Concentración de viviendas vulnerables a ondas de calor

- Muy alta
- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Censo de Población y Vivienda, INEGI 2020;
Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACLATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-E-OC

FICHA TÉCNICA (PL-R-OC.1)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Riesgo ante ondas de calor** nos expresa cuáles son las zonas del AMG en las que es más probable que se presenten condiciones de calor que sobrepasen los 30°C y que ello tenga impactos importantes para las personas.

El mapa reúne información de varias décadas de la temperatura, y la combina con un indicador de síntesis de vulnerabilidad social, diseñado a partir de indicadores de susceptibilidad ante ondas de calor, tanto de individuos como de viviendas.

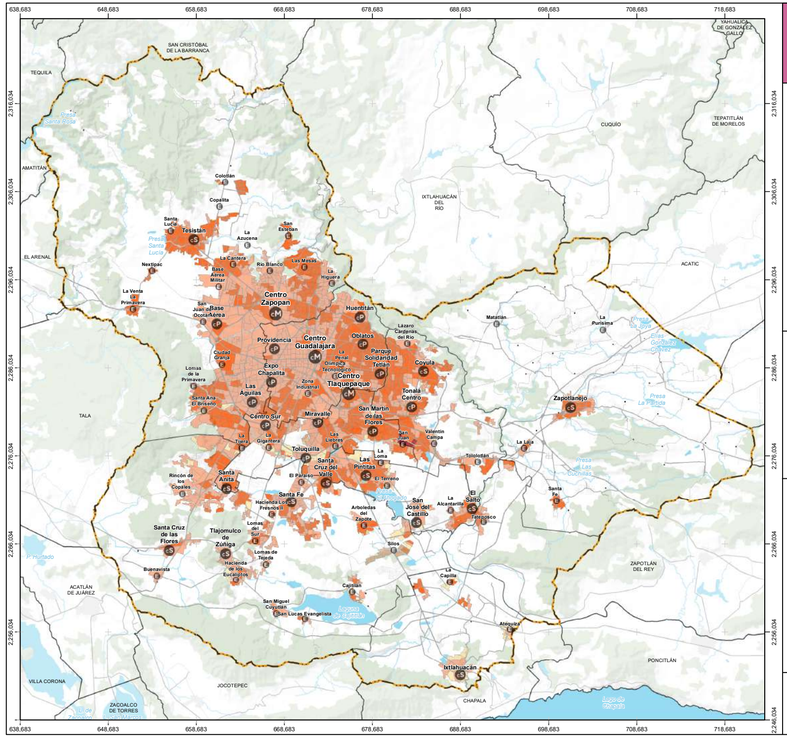
Un ejemplo de posibles impactos (riesgo) para el umbral de 30°C son las enfermedades diarreicas agudas; a ello se pueden sumar efectos de estrés térmico en personas especialmente expuestas, como los trabajadores de la construcción, o habitantes con condiciones de vivienda precaria.

El mapa sintetiza todos estos factores, para mostrar en dónde es más probable que se presenten problemas por la combinación de los aspectos climáticos extremos y algunas condiciones sociales o individuales desventajosas.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Un riesgo mayor significa que, por las condiciones existentes, es más probable que se combinen eventos intensos de calor, en lugares con una población más susceptible y con menos recursos para reducir los efectos difíciles del calor extremo.
- El mapa nos ayuda a evaluar las zonas del AMG que tienen más probabilidades de sufrir un daño cuando se rebase un umbral de temperatura que, sabemos, puede ser peligroso, especialmente para personas con condiciones médicas preexistentes y/o especialmente expuestas.
- Es útil para planear a mediano y largo plazo intervenciones de mejoramiento en vivienda y su confort térmico.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Riesgo de ondas de calor (referencia 30°C), clave PL-R-OC.1.

I-995.016



RIESGO ANTE ONDAS DE CALOR (UMBRAL 30°C)

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.016

NÚMERO HISTÓRICO: 01

INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Riesgo ante ondas de calor (30°C)

- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

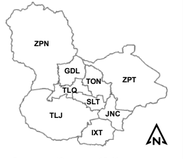
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de calor (UNAM): 1950-2018
SMN-CONAGUA. Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016; Censo de Población y Vivienda, 2020, INEGI.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-R-OC.1

FICHA TÉCNICA (PL-R-OC.2)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Riesgo ante ondas de calor** expresa cuáles son las zonas del AMG en las que es más probable que se presenten condiciones de calor que sobrepasen los 35°C y que ello tenga impactos importantes para las personas.

El mapa reúne información de varias décadas de la temperatura, y la combina con un indicador de síntesis de vulnerabilidad social, diseñado a partir de indicadores de susceptibilidad ante ondas de calor, tanto de individuos como de viviendas.

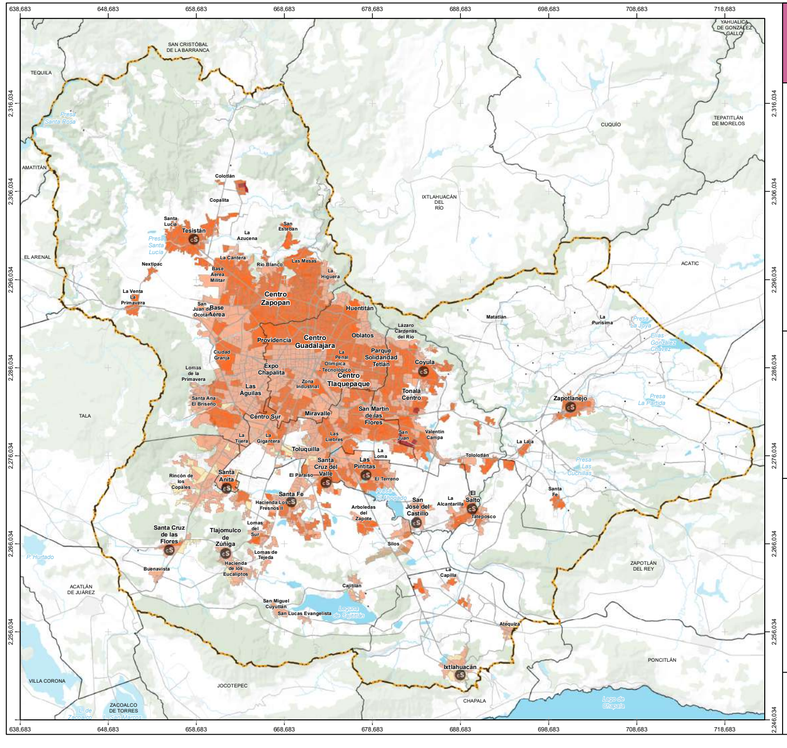
Un ejemplo de posibles impactos (riesgo) para el umbral de 35°C son los diferentes efectos de estrés térmico en el cuerpo humano (por ejemplo, deshidratación, taquicardia o síncope).

La mayor parte del AMG muestra valores de riesgo medios, consistente con el comportamiento en las áreas urbanas de los principales factores de vulnerabilidad (la edad de la población, la condición de la vivienda y el acceso a bienes).

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Un riesgo mayor significa que, por las condiciones existentes, es más probable que se combinen eventos intensos de calor, en lugares con una población más susceptible y con menos recursos para reducir los efectos difíciles del calor extremo.
- El mapa ayuda a evaluar las zonas del AMG que tienen más probabilidades de sufrir un daño cuando se rebase un umbral de temperatura que puede ser peligroso, especialmente para personas vulnerables y/o especialmente expuestas.
- Esto puede ser útil para acciones de atención a la salud comunitaria, especialmente hacia los enfermos crónicos, niños y personas adultas mayores.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Riesgo de ondas de calor (referencia 35°C), clave PL-R-OC.2.

I-995.014



RIESGO ANTE ONDAS DE CALOR (UMBRAL 35°C)

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA	NÚMERO HISTÓRICO
I-995.014	01

INSTRUMENTO: **AMR**

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Riesgo ante ondas de calor (35°C)

- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

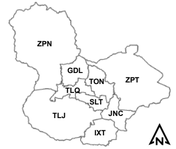
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de calor (UNAM) 1950-2018
SMN-CONAGUA; Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016; Censo de Población y Vivienda, 2020, INEGI.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
ZMG. ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-R-OC.2

FICHA TÉCNICA (PL-OC)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Áreas de crecimiento para conservación, prioritarias ante la probabilidad de temperaturas altas** identifica el cruce de las zonas con mayor probabilidad de presentar temperaturas altas y muy altas, con 1) las zonas de crecimiento urbanas proyectadas a corto, mediano y largo plazo, contempladas en el *Plan de Ordenamiento Territorial Metropolitano* del AMG (2016); y 2), con los tipos de uso de suelo y vegetación que existen en estas áreas.

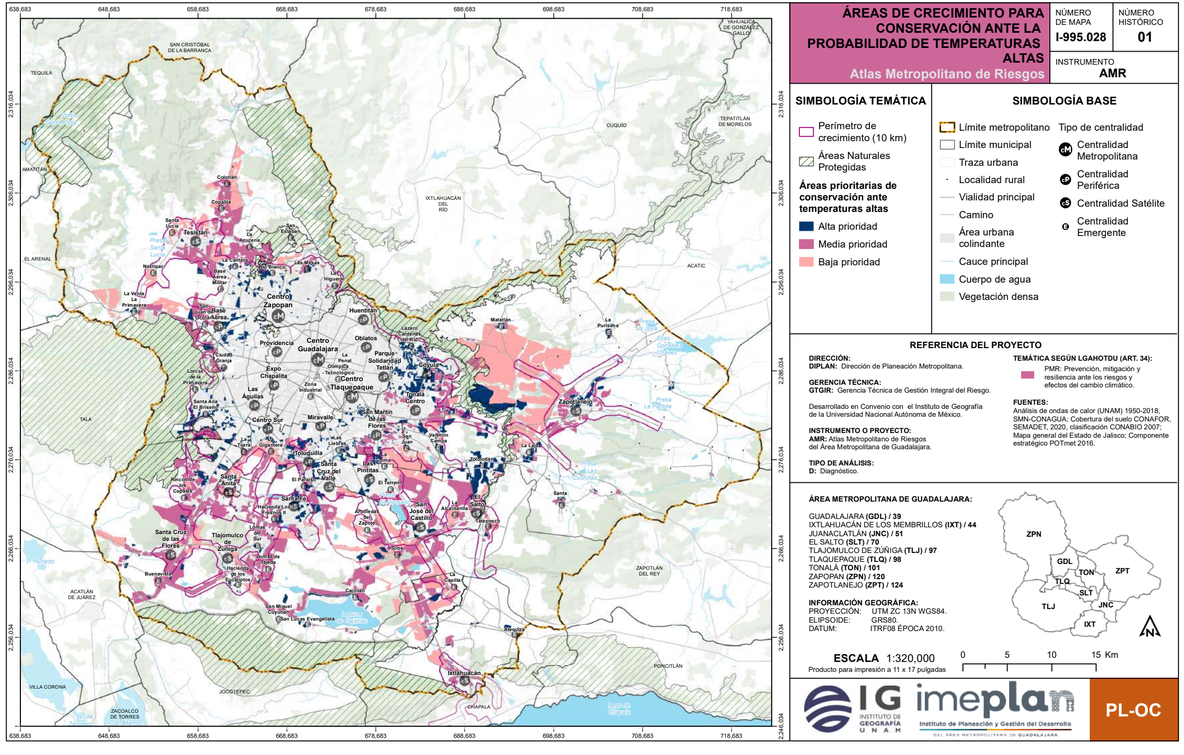
El mapa nos muestra las áreas en las cuales la cobertura y uso de suelo conservan diferentes funciones reguladoras del clima, de tal manera que puede observarse y valorarse su función para reducir la isla de calor urbana. Lo anterior ayuda a ponderar la expansión urbana en suelo nuevo.

Las coberturas y usos de suelo más conservados (usualmente áreas forestales) tienen una mejor valoración; aquellas que le siguen las selvas caducifolias, los pastizales y similares; y, finalmente, las tierras agrícolas.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- La vegetación en torno a las áreas urbanas juega un papel crucial para la regulación del clima, especialmente en los escenarios de temperaturas extremas altas. También tienen efectos relevantes para reducir el efecto de la isla de calor urbana y sus diferentes manifestaciones.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad física ante inundaciones, clave PL-OC.

I-995.028



ÁREAS DE CRECIMIENTO PARA CONSERVACIÓN ANTE LA PROBABILIDAD DE TEMPERATURAS ALTAS

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.028
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Perímetro de crecimiento (10 km)
- Áreas Naturales Protegidas

Áreas prioritarias de conservación ante temperaturas altas

- Alta prioridad
- Media prioridad
- Baja prioridad

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- CE Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTOIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de calor (UNAM) 1950-2018, SMN-CONAGUA; Cobertura del suelo CONAFOR, SEMADET, 2020, clasificación CONABIO 2007; Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-OC

Cartografía de ondas de frio

FICHA TÉCNICA (PL-OF)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Peligro de onda de frío (referencia 10°C)** representa el nivel del peligro (probabilidad de que se presenten eventos de temperatura baja o muy baja) en el AMG.

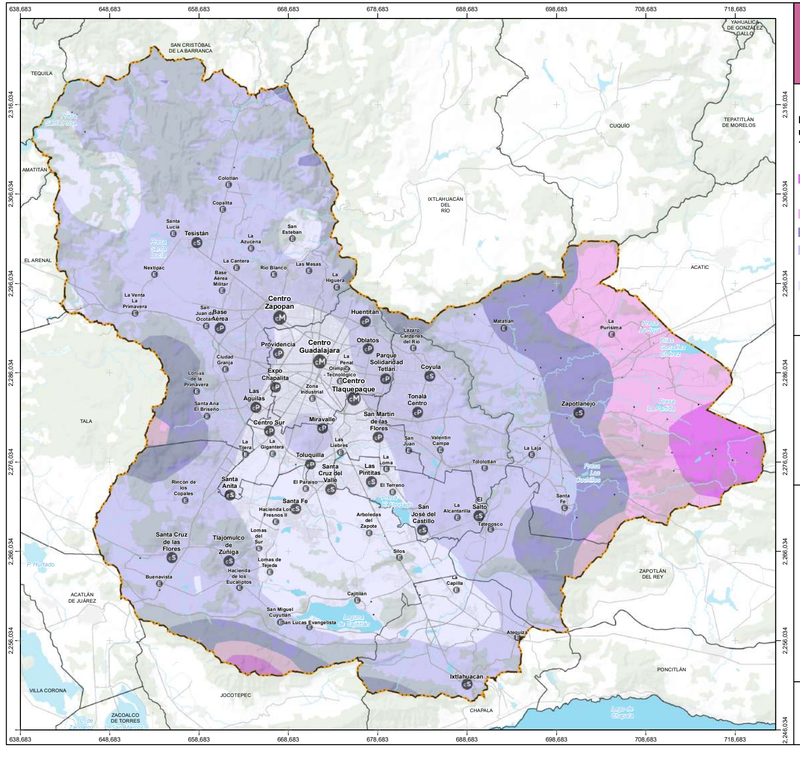
Para las temperaturas de referencia en esta zona del país, cuando se presentan episodios menores de 10°C, se consideran temperaturas en el rango inferior. El mapa muestra la zonificación de la probabilidad de que en las zonas del AMG que puedan presentar eventos de temperatura de este tipo, a partir de la sistematización de los datos de las Estaciones Meteorológicas Automatizadas de la región de referencia.

Los eventos de bajas temperaturas se relacionan con la aparición de algunas enfermedades respiratorias agudas, particularmente las de origen viral, con una mayor incidencia en las poblaciones en los extremos de edad.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Esta distribución y frecuencia probable debe ser considerada desde el punto de vista de la planeación del sector salud, para establecer mecanismos de atención temprana de las infecciones respiratorias agudas.
- Este mapa es útil también en la prevención como aspectos sociales asociados al frío, tales como la intoxicación por uso de combustibles que generan concentraciones de CO2 (y otros gases tóxicos) dentro de los hogares; especialmente, su utilización auxiliar en el diseño e implementación de normas técnicas complementarias metropolitanas para proyectos de construcción e instalaciones, que consideren el aislamiento térmico en las áreas de mayor incidencia de estas temperaturas.
- También puede utilizarse en la evaluación del nivel de adecuación de la vivienda de acuerdo con sus condiciones de exposición.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Peligro de onda de frío, clave PL-OF.

I-995.030


638,683
648,683
658,683
668,683
678,683
688,683
698,683
708,683
718,683
2,316,034
2,306,034
2,296,034
2,286,034
2,276,034
2,266,034
2,256,034
2,246,034
SAN CRISTÓBAL DE LA BARRANCA
YAHUALICA DE GONZÁLEZ GALLO
TEQUILA
CUQUÍO
TEPATITLÁN DE MORELOS
AMATITÁN
IXTLAHUACÁN DEL RÍO
EL ARENAL
ACATIC
TALA
ZAPOTLÁN DEL REY
ACATLÁN DE JUÁREZ
VILLA CORONA
ZACOALCO DE TORRES
JOCOTEPEC
CHAPALA
PONCITLÁN
Colotlán
Coyotta
Santa Lucía
Teistán
La Ascensa
San Esteban
La Cantera
Río Blanco
Las Mesas
La Higuera
Nextipac
Base Aérea Militar
La Venta
La Primavera
San Juan de Ocotán
Base Aérea
Centro Zapopan
Huentitán
Mariscal
La Purísima
Providencia
Centro Guadalajara
Obiatos
Parque Solidaridad Tetlán
Expo Chapalita
Penal Oblatos
Centro Telmex
Centro Tlaquepaque
Coyula
Tonalá Centro
Zapotlanejo
Las Águilas
Zona Industrial
Ciudad Granja
Lomas de la Primavera
Santa Ana El Briseño
Centro Sur
Miravalle
San Martín de las Flores
La Tijera
La Gigantera
Toluquilla
Las Liebres
San Juan
Valentín Campa
Tolosotán
La Laja
Rincón de Cobos
Santa Anita
Santa Cruz del Valle
El Tahuico
Las Pintitas
La Loma
Hacienda Los Fresnos
Santa Fe
Arboledas del Zapote
San José del Castillo
La Alcantarilla
El Salto
Ferrosco
Santa Fe
Santa Cruz de las Flores
Tlajomulco de Zúñiga
Lomas del Sur
Lomas de Tejeda
Hacienda de los Eucaliptos
Buenavista
Sitio
La Capilla
Capilla
San Miguel Cuyutlán
San Lucas Evangelista
Atequiza
Ixtlahuacán
Presa El Salto
Presa Las Pintitas
Presa Las Juntas
Presa Los Sauces
Presa Los Colomos
Presa Los Laureles
Presa Los Guayabos
Presa Los Guayabos
Presa Los Guayabos

FICHA TÉCNICA (PL-OF.V)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Vulnerabilidad social ante ondas de frío (2010)** muestra cómo se distribuyen en el AMG el indicador de mayor susceptibilidad al daño cuando se presentan condiciones de temperaturas bajas. Esto integra todas las siguientes características, reunidas en un solo índice: 1) extremos de edad (menores de 14 años y mayores de 65 años); 2) población sin derechohabiencia, 3) índice de marginación. Estas características permiten ver de manera integrada las vulnerabilidades intrínsecas (especialmente la edad), y las específicas (indicadores proxy de viviendas con niveles de deficiencia, y la falta de acceso a servicios de salud).

En SIGMetro se encuentran las capas de los diferentes indicadores que componen este índice de vulnerabilidad.

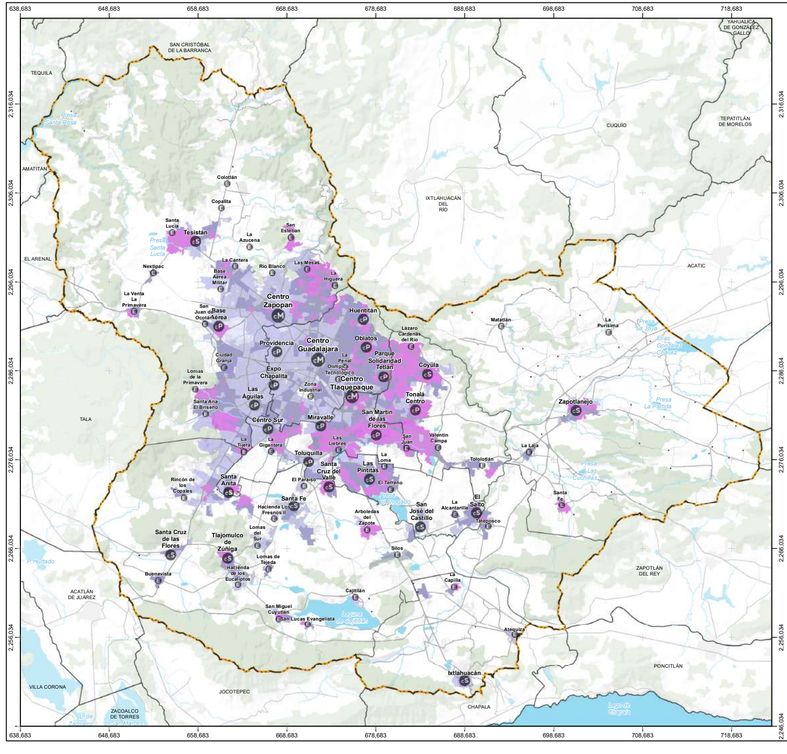
Las diferentes divisiones corresponden a AGEBs urbanas (Áreas Geoestadísticas Básicas, utilizada por el INEGI), del año 2010, ya que así se obtienen los datos estadísticos utilizados y algunos no han sido actualizados al año 2020.

En el SIGMetro se puede encontrar también la información de las localidades menores a 2,500 habitantes del AMG, así como mapas de cada una de las características por separado.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- La distribución de población vulnerable permite identificar zonas del AMG en las cuales es prioritario establecer estrategias de protección ante el frío, el acceso a combustibles domésticos eficientes.
- Esta distribución debe ser considerada para establecer de manera conjunta entre diferentes actores de planeación, protección civil e instituciones de salud locales, los mecanismos de atención comunitarios y protocolos de atención a infecciones respiratorias agudas; y a urgencias respiratorias relacionadas con combustibles para calefacción y cocina altamente tóxicos.
- También es útil para el diseño de estrategias de mejoramiento de vivienda.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad social ante ondas de frío, clave PL-OF.V.

I-995.031



VULNERABILIDAD SOCIAL ANTE ONDAS DE FRÍO

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.031

NÚMERO HISTÓRICO: 01

INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Vulnerabilidad ante ondas de frío

- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTOIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

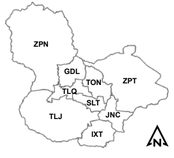
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Censo de Población y Vivienda, 2010, INEGI; Índice de marginación CONAPO, 2010.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M

imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-OF.V

FICHA TÉCNICA (PL-R-OF)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Riesgo ante ondas de frío** muestra cuáles son las zonas del AMG en las que es más probable que se presenten condiciones de frío menores a 10°C que puedan tener consecuencias importantes para las personas.

El mapa reúne información de varias décadas de la temperatura y la combina con un indicador de síntesis de vulnerabilidad social, diseñado a partir de indicadores de susceptibilidad ante ondas de frío, tanto de individuos como de viviendas.

Un ejemplo de posibles impactos (riesgo) para el umbral de 10°C o menos corresponde a las infecciones respiratorias agudas; a ello se pueden sumar las intoxicaciones derivadas del uso de combustibles domésticos inadecuados o de condiciones de vivienda precarias, y con escasa ventilación y/o aislamiento.

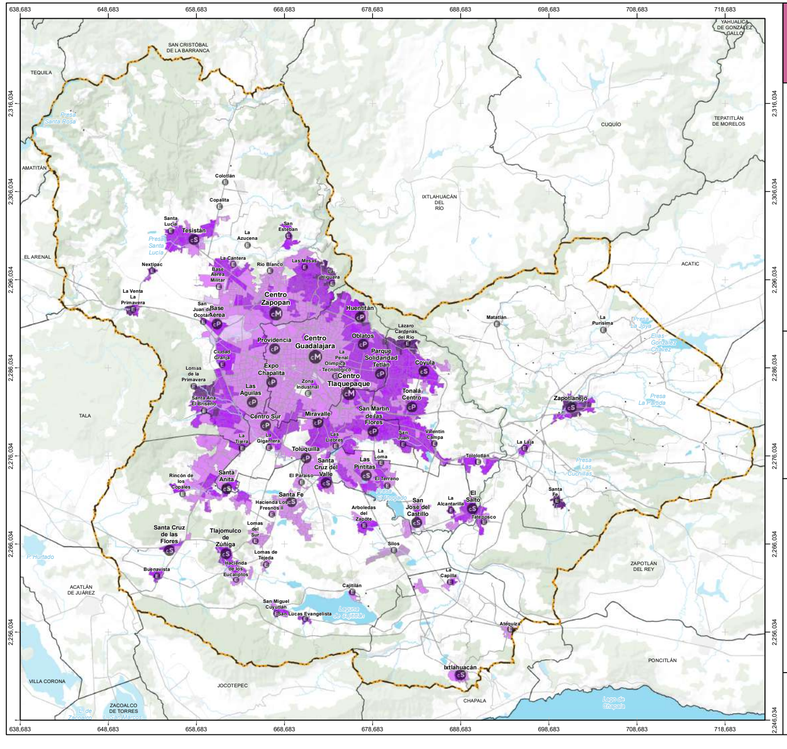
El mapa sintetiza todos esos factores para mostrar en dónde es más probable que se presenten problemas por la combinación de la baja temperatura y algunas condiciones sociales o individuales desventajosas.

El mapa es del año 2010, por lo que es posible actualizarlo fácilmente cuando se publiquen los indicadores de marginación a nivel AGEB para el año 2020.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Un riesgo mayor significa que, por las condiciones existentes, es más probable que se combinen eventos de frío, en lugares con una población más susceptible y con menos recursos para reducir los efectos difíciles del frío, especialmente las infecciones y las intoxicaciones por uso de combustibles.
- El mapa facilita la evaluación de los puntos del AMG que tienen más probabilidades de sufrir un daño cuando se presentan temperaturas mínimas que pueden ser peligrosas, especialmente para personas mayores o niños, o bien, que viven en condiciones de precariedad o diseño deficiente en sus viviendas.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Riesgo de ondas de frío, clave PL-R-OF.

I-995.015



RIESGO ANTE ONDAS DE FRÍO

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.015

NÚMERO HISTÓRICO: 01

INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Riesgo ante ondas de frío (10°C)

- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa
- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de frío (UNAM) 1950-2018
SIMN-CONAGUA. Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016; Censo de Población y Vivienda, 2010, INEGI; Índice de marginación CONAPO, 2010.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-R-OF

Cartografía de incendios forestales

FICHA TÉCNICA (PL-V-IF)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Vulnerabilidad física ante incendios forestales** muestra la distribución en el AMG de la cobertura de uso de suelo y vegetación de CONAFOR y SEMADET (2020), la cual se clasifica a partir de los criterios de susceptibilidad y recuperabilidad de CONABIO.

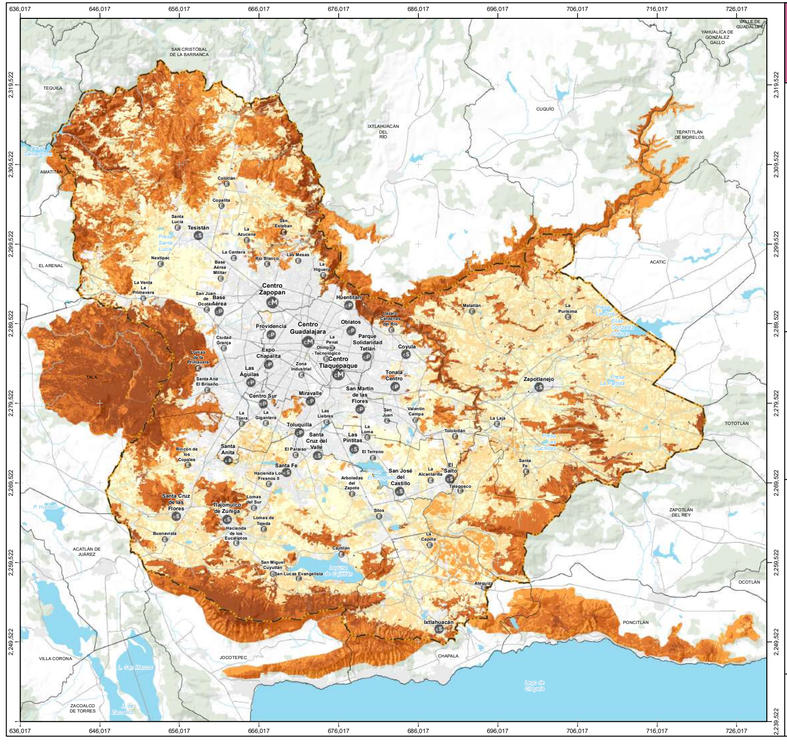
Esta clasificación de la vegetación se combina con un indicador de estrés hídrico, el NDVI de 30 m de LANDSAT de marzo de 2021, para dar como resultado un indicador de vulnerabilidad física a incendios forestales (en este caso, vigente para este año y susceptible de actualizarse fácilmente en los siguientes años de acuerdo con la condición general de la vegetación).

En este mapa aún no se considera la exposición dada por la influencia humana, la cual, de acuerdo a la evidencia, es el factor clave de más peso de la frecuencia de ignición (exposición). Para ver el efecto combinado de la vulnerabilidad física de la vegetación, la exposición y el factor sequía, consulte el mapa 'Nivel de riesgo ante incendios forestales en el AMG'.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Este mapa es una herramienta para poder identificar dónde están las comunidades vegetales más susceptibles de quemarse y que, además, serán difíciles de recuperar si se queman.
- Con esa información se pueden diseñar mejores estrategias para cuidar las áreas forestales y otros tipos de vegetación secundaria, dependiendo de su estado de conservación y de su cercanía a las zonas de frontera agrícola y urbana.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad física ante incendios forestales, clave PL-V-IF.

I-995.011



VULNERABILIDAD FÍSICA ANTE INCENDIOS

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.011

NÚMERO HISTÓRICO: 01

INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Vulnerabilidad física ante incendios forestales

- Muy alta
- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Cobertura del suelo CONAFOR, SEMADET, 2020, clasificación de vegetación CONABIO 2007; LANDSAT 8 al 28 de marzo 2021; NDVI de imágenes LANDSAT 8, bandas 4 y 5, al 28 de marzo de 2021.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:355,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-V-IF

FICHA TÉCNICA (PL-IF)
MAPA PARA PLANEACIÓN

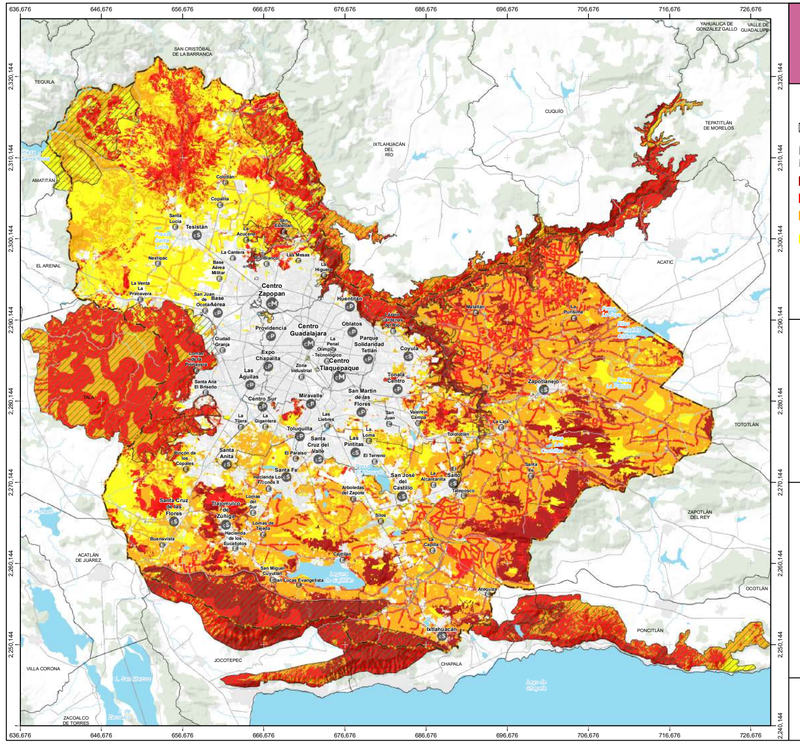
El **mapa de Nivel de riesgo ante incendios forestales en el AMG** es un cálculo del derivado de cuatro dimensiones: la susceptibilidad de la vegetación ante incendios, la determinación del estado fenológico de la vegetación a través de NDVI (2021); la distancia euclidiana a vialidades para determinar la influencia humana (incluyendo vialidades rurales y en áreas forestales); la clasificación de susceptibilidad y recuperabilidad de la vegetación, con base en criterios de CONABIO; y el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) (marzo 2021) para la evaluación del estrés hídrico, como factor detonante.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Este mapa analiza y pondera diferentes factores de peligro, exposición y vulnerabilidad física, así como una estimación posible de un detonante (estrés hídrico). Incluye las Áreas Naturales Protegidas.
- Puede ser utilizado para la planeación de estrategias de atención prioritaria a áreas con altos niveles de biomasa combustible en condición de estrés hídrico, de tal manera que pueda reforzarse la vigilancia de las actividades humanas en áreas específicas de alta susceptibilidad.
- También puede aplicarse para la planeación de estrategias de mediano y largo plazo de gestión forestal (por ejemplo, retiro de madera muerta, brechas cortafuegos, etc.)
- EnSIGmetropodrásconsultarestemapadentrodelSubsistemadeGestióndeRiesgosyResilienciaconelnombrederiesgodeincendiosforestales,clavePL-IF.

Insumo	Ponderador
Vegetación clasificada de acuerdo con las categorías de susceptibilidad a los incendios de las comunidades vegetales de CONABIO	35
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI 2021 (LANDSAT) (promedio)	35
Distancia euclidiana a las vialidades (5 rangos)	30
Índice Estandarizado de la Precipitación (SPI) (CONAGUA)	ponderador general

I-995.032



NIVEL DE RIESGO ANTE INCENDIOS FORESTALES

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.032

NÚMERO HISTÓRICO: 01

INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Áreas Naturales Protegidas

Índice de riesgo ante incendios forestales

- Muy alto (más probable)
- Alto
- Medio
- Medio-bajo (menos probable)

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- CE Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):

PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

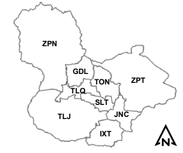
FUENTES:

Simbología temática: Cobertura del suelo CONAFOR, SEMADET, 2020, clasificación CONABIO 2007; LANDSAT 8 al 28 de marzo 2021; Red de vial IMEPLAN 2021, desarrollada con base en el sistema vial de INEGI 2019, vialidades del OPD bosque la Primavera, 2019, Google Earth 2021; Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) de CONAGUA, 1980-2017.

Simbología base: Elaboración propia a partir de INEGI. Límtes Municipales: Mapa General del Estado de Jalisco ITEJ, 2012. Componente estratégico POTmet.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACLATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:350,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-IF

FICHA TÉCNICA (PL-M-IF)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de áreas prioritarias para mitigación de amenaza de incendios forestales** muestra las zonas en las cuales se debe poner atención por ser los lugares con mayor vulnerabilidad de la vegetación, que además no han registrado incidentes de incendio en los últimos años, por lo cual existe material combustible.

El primer componente, la vulnerabilidad física de la vegetación, muestra la distribución en el AMG de la cobertura de uso de suelo y vegetación (CONAFOR & SEMADET, 2020), la cual se clasifica a partir de los criterios de susceptibilidad y recuperabilidad de CONABIO. Esta clasificación de la vegetación se combina con un indicador de estrés hídrico y el NDVI de 30 m de LANDSAT de marzo de 2021.

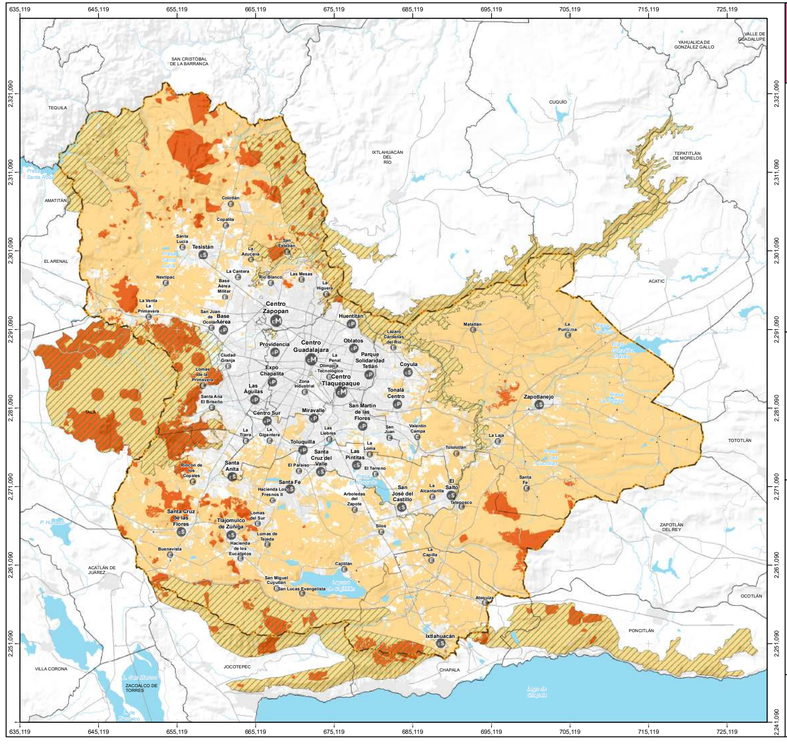
Esta información se combina con los reportes de sitios afectados por incidentes de incendios en los últimos años, para saber qué áreas requieren de especial atención, con medidas tales como el retiro de la madera muerta u otra biomasa combustible.

El mapa es susceptible de actualización anual, en cuanto al insumo de percepción remota (NDVI) y los incidentes registrados.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para poder identificar las zonas en las que pueden tomarse medidas prioritarias para evitar los eventos de ignición y reducir la vulnerabilidad física.
- El mapa ayuda a planear, año con año, las zonas de intervención prioritaria a través de una estrategia de coordinación metropolitana.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Áreas prioritarias para mitigación de amenaza de incendios forestales, clave PL-M-IF.

I-995.018



ÁREAS PRIORITARIAS PARA MITIGACIÓN DE AMENAZA DE INCENDIOS FORESTALES

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.018
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Áreas Naturales Protegidas

Áreas prioritarias para mitigación

- Alta
- Media

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

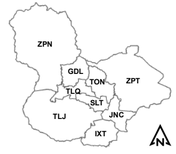
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Cobertura del suelo CONAFOR, SEMADET, 2020, clasificación de vegetación CONABIO 2007; LANDSAT 8 al 28 de marzo 2021; NDVI de imágenes LANDSAT 8, bandas 4 y 5, al 28 de marzo de 2021; Inventario de Peligros Metropolitano (IPM) IMEPLAN, 2021; Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno de Jalisco (SEMADET), 2008-2020.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:360,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-M-IF

FICHA TÉCNICA (PL-C-IF)
MAPA PARA PLANEACIÓN

El **mapa de Índice de capacidad operativa emergente para atender incendios forestales** muestra las diferentes coberturas de los equipos e infraestructura de emergencia en las áreas delimitadas como de mayor riesgo de incendios.

El insumo básico es el nivel de riesgo ante incendios forestales, del cual se toman los dos niveles más altos. Este insumo se combina con la infraestructura y equipamiento reportado para atender estos incendios, de diferentes dependencias metropolitanas y municipales. Se combinan para conocer las zonas que tienen alto riesgo y que además están alejadas de los puntos de capacidad instalada.

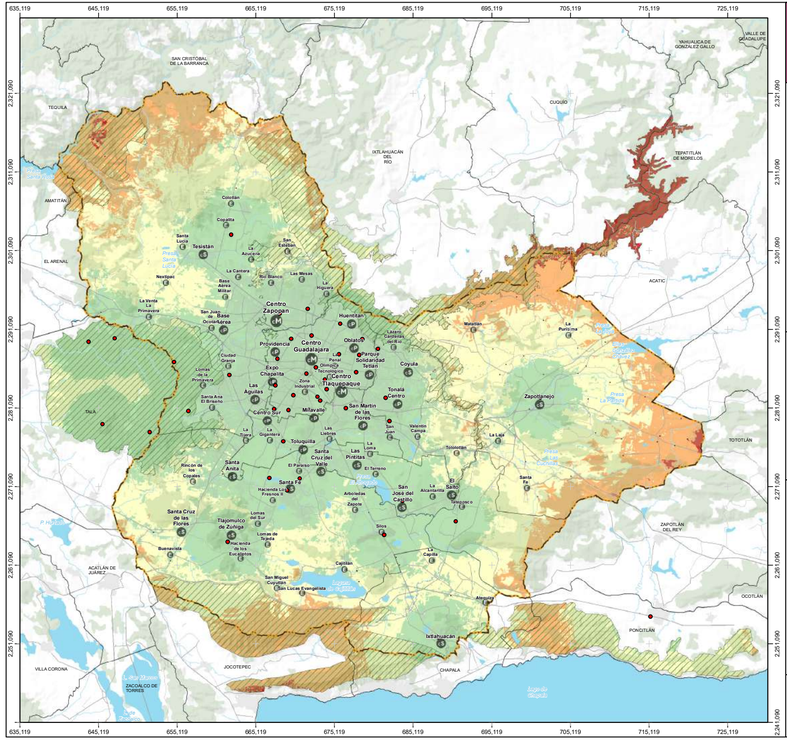
Es importante hacer notar que existen otras zonas de alto riesgo, pero que no se representan en este mapa porque se encuentran cerca de la infraestructura instalada para atender los eventos de incendio. Para ver las zonas de alto riesgo, consultar el mapa 'Nivel de riesgo ante incendios forestales'.

El mapa es susceptible de actualización anual, en cuanto al nivel de riesgo y también respecto a la ampliación o reducción de la capacidad instalada.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para identificar las zonas en las que pueden tomarse medidas para aumentar la cobertura de emergencia, y para desarrollar estrategias que permitan atender los eventos de ignición y reducir la vulnerabilidad física.
- El mapa ayuda a planear, año con año, las zonas de intervención prioritaria a través de una estrategia de coordinación metropolitana y ampliación de infraestructura.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Índice de capacidad operativa emergente para atender incendios forestales, clave PL-C-IF.

I-995.019



ÍNDICE DE CAPACIDAD OPERATIVA EMERGENTE PARA ATENDER INCENDIOS FORESTALES

Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA	NÚMERO HISTÓRICO
I-995.019	01

INSTRUMENTO: AMR

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

- Infraestructura y equipamiento

Atención al fenómeno

- Mayor cobertura de servicios de emergencia en puntos críticos
- Media
- Baja
- Deficiente cobertura de servicios de emergencia en puntos críticos
- Áreas Naturales Protegidas

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

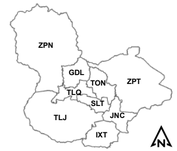
TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Cobertura del suelo IMEPLAN - CONAFOR, SEMADET, 2020, clasificación de vegetación CONABIO 2007; LANDSAT 8 al 28 de marzo 2021. NDVI de imágenes LANDSAT 8, bandas 4 y 5, al 28 de marzo de 2021; IMEPLAN, 2021, infraestructura de mobiliario e inmobiliario enfocado a la respuesta a emergencias.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:

GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 44**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**



INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:360,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

PL-C-IF



PARTE III

Recomendaciones para la Gestión de Riesgos Climáticos en el AMG

En esta sección presentamos un catálogo de recomendaciones segmentadas y focalizadas para su evaluación y adopción por parte de los actores involucrados en procesos de gestión de riesgo. Para ello, se retoman los principios de focalización (diferenciación de las fases de gestión de riesgo en las que es posible incidir) y segmentación (información diferenciada a partir de las necesidades y alcances de cada uno de los actores (usuarios).

La sección consta de dos partes. En la primera parte, abordaremos una serie de recomendaciones generales en materia de planeación, que se derivan tanto del diagnóstico de riesgos climáticos y sus componentes, como del trabajo de campo que se realizó para este trabajo con diversos actores sociales del AMG. En la segunda parte, se presentan las principales recomendaciones que se derivan del análisis de riesgos que se desarrolló en la Parte II, que puedan ser evaluadas y, en su caso, implementadas por cada uno de esos actores en atención a sus alcances y atribuciones.

Recomendaciones generales en materia de planeación

Como se desarrolla previamente, en la **Tabla 4. Procesos clave de la gestión integral de riesgo** de la Sección **Identificación de usuarios y procesos (focalización),** en este Atlas tenemos como punto de partida seis procesos misionales de gestión de riesgo: 1. Generar conocimiento sobre el riesgo de desastres en sus diferentes ámbitos; 2. Prevenir el riesgo futuro; 3. Reducir el riesgo existente; 4. Preparar la respuesta; 5. Responder y rehabilitar; 6. Recuperar y reconstruir.

Las medidas de gestión de riesgo se pueden pensar en dos vertientes principales (Magaña, 2013), determinadas por la forma cómo se utilizan dos de sus componentes causales:

i) Gestión de riesgo en función al peligro (usualmente se identifica con el proceso misional 2, prevenir el riesgo futuro)

ii) Gestión del riesgo en función de la amenaza (usualmente se identifica con los procesos misionales 3 y 4, reducir el riesgo existente y preparar la respuesta).

Las recomendaciones relativas a la planeación metropolitana que se presentan en esta sección tienen efectos en diversos aspectos de la gestión de riesgos a escala metropolitana. Presentaremos las recomendaciones en lo general, con una explicación del sustento y alcance de cada una.

Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica

El cálculo de peligro en cuanto a la precipitación y sus tendencias ayuda a diseñar medidas de reducción de riesgo futuro, que se enfocan en medidas de las causas de fondo de estos eventos. En particular, los extremos de precipitación se atienden al diseñar medidas que puedan ayudar a reducir las condiciones de vulnerabilidad, especialmente la física, las cuales son necesariamente producto de la gestión del territorio a mediano y largo plazo, de la mano de diversos instrumentos de planeación.

En materia de escenarios de riesgo, se observa un aumento en el número e intensidad de los eventos extremos de precipitación, y una disminución en la capacidad de infiltración y captación, a la cual se suma un cierto nivel de incertidumbre derivado de la falta de actualización de información en esta materia. En este sentido, la atención a largo plazo de los aspectos que nos impone el cálculo del peligro, nos debe llevar a reconocer que las obras de infraestructura tienen un impacto positivo, pero limitado. El peligro de precipitación no sólo debe atenderse incrementando la captación de agua pluvial; también debe aumentar la infiltración, ya sea por medio de obras de ingeniería en puntos estratégicos o bien, por medio de **la recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica.** Esto último significa aprovechar las capacidades de los suelos naturales (no impermeabilizados por la urbanización), parques y jardines, para absorber el agua pluvial, llevándola al subsuelo. Estos espacios cumplen más de un propósito: a) brindan un espacio de esparcimiento a la población, b) pueden servir para canalizar volúmenes de agua que de otra forma causarían un encharcamiento en zonas cercanas c) brindan servicios de regulación climático y de calidad del aire.

Este tipo de medidas han sido propuestas y consideradas desde hace varios años en el AMG[1]. Sin embargo, entre las medidas incluidas en el PROMIAP (SIAPA, 2016) y en el Plan Integral para Manejo de Inundaciones (SIAPA, 2017), aunque se considera la construcción de vasos reguladores y el rescate de cauces, no encontramos medidas específicas para recuperar o potenciar la capacidad de infiltración. Ello requiere que intervenciones en materia de uso de suelo en zonas estratégicas para la infiltración natural e inducida, de tal manera que se tengan medidas a largo plazo no sólo para aumentar la capacidad de captación y descarga, sino, sobre todo, para reducir al máximo posible los picos de caudal pluvial que se acumulan en los puntos estratégicos (Ver la **Sección Cartografía sobre riesgos y posibles daños o impactos**).

Es decir, la obra de ingeniería para captación es importante y relevante, la prioridad en materia de reducción de riesgos está, en primer término, en **aumentar la capacidad de infiltración en la zona urbana consolidada** a través de diversas infraestructuras azules y verdes; ello, tomando siempre en consideración las características geológicas locales específicas para

1.- Además de la evidencia empírica desarrollada para este Atlas de Riesgos, existen muchas investigaciones académicas sobre diversos aspectos de la gestión del agua en el AMG, que han sido relevantes para documentar estas recomendaciones; entre ellas están Bürkner y Ochoa (2012); Gleason (2016a a); Gleason (2016b b); y González y Asprilla (2016).

mantener los servicios ecosistémicos propios de cada tipo de subsuelo. Esto es fundamental para evitar el desgaste asociado a la erosión hídrica por escorrentía superficial concentrada, con los efectos negativos que ello conlleva (tales como la formación de socavones); o bien, para evitar problemas por la alteración en las tasas de infiltración que puedan asociarse a hundimientos diferenciados.

En segundo lugar, en las áreas no construidas con mayor potencial de infiltración, debe ser prioritario el preservar dicha función. En ese sentido, las obras tendientes a captar los picos de agua pluvial, tales como los vasos reguladores y la ampliación de los colectores, deben verse como obras necesarias de mitigación, especialmente donde los suelos naturales no favorezcan la infiltración, **pero con alcances limitados,** especialmente donde la vulnerabilidad física favorece la concentración de escurrimientos. En otras palabras, la infraestructura de regulación y de desalojo del agua pluvial es muy importante, pero **no es la solución primaria a las causas de fondo de las inundaciones recurrentes del AMG.**

La priorización de los usos de suelo para generar mejores respuestas hidrológicas y potenciar la infiltración, además de otros beneficios como la revitalización económica o la protección de la biodiversidad, entra dentro de la tendencia global de utilización de la llamada "infraestructura verde" (Estrada, 2018; Vásquez et al., 2019). Aunque el principal recurso de infraestructura verde está en las áreas de infiltración natural[2] (las cuales se deben preservar), dichas medidas pueden incluir otros aspectos como los techos verdes, creación de humedales artificiales, instalación de reservorios de retención (superficiales y subterráneos), pavimento poroso semi permeable y cosecha de agua, entre muchos otras, que ya se implementan exitosamente en muchas otras ciudades del mundo (Magrin, 2015; Rouse & Bunster-Ossa, 2013).

Todas ellas se asocian a la evidencia científica desarrollada para este trabajo[3], a partir de la cual concluimos que la vía para la reducción de inundaciones en el AMG es, primariamente, l**a reducción sustantiva de los caudales de escorrentía superficial** en las áreas consolidadas bajo los escenarios de peligro por lluvias en la región. La infiltración es, así, la manera de que se reduzca sustantivamente la presión sobre la infraestructura del drenaje sanitario, en la circulación del agua pluvial hacia zonas bajas del área urbana. La definición de áreas prioritarias de infiltración y otras herramientas de infraestructura verde deben ser el mecanismo primario de atención a las inundaciones en el AMG; y en segundo término, la infraestructura gris.

Para garantizar su implementación, es importante incorporar estas medidas en todos los instrumentos de planeación y de ordenamiento territorial a nivel metropolitano y municipal. Esto incluye tres fases: la identificación de áreas naturales y verdes prioritarias a conservación por su valor ecosistémico en la regulación climática e hídrica; la zonificación y protección de áreas prioritarias de infiltración; y la definición de medidas específicas asociadas a esta zonificación (que van desde restricciones en el cambio de uso de suelo, hasta permisos condicionados a la implementación de medidas filoclimáticas específicas).

Cabe recordar también que la infiltración adecuada, a través de diversas estrategias acordes con las condiciones locales del subsuelo del AMG, se relaciona no sólo con la mitigación de escurrimientos, sino con la capacidad de mantener las fuentes locales de abastecimiento de agua potable[4]. Si a tales medidas se le añaden políticas públicas orientadas a la reducción de los consumos en tasas de 10 a 25% mediante tecnología caseras de ahorro de agua, se puede reducir la demanda y con ello, la sobreexplotación para mantener una oferta creciente ante una demanda en aumento de alrededor del 2% anual, lo cual daría un amplio margen de gestión hídrica al AMG.

Identificar poblaciones vulnerables ante ondas de calor y frío, y diseñar medidas preventivas específicas de salud pública y protección social

Los efectos negativos de las ondas de calor son diversos y con excepción de las diversas Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) (cuya dinámica fue cuidadosamente revisada para este trabajo), y de las cuales hay un seguimiento epidemiológico puntual, no necesariamente existe un reconocimiento en estadísticas de salud de diversas manifestaciones y efectos en la salud. Ello se debe a que los síntomas que genera el calor excesivo en el cuerpo humano pueden confundirse con los de otras enfermedades, por lo cual incluso se han desarrollado guías para identificar algunos de sus efectos (ver la Tabla 2 de McGregor y Bessemoulin, 2015). Estudios como el de Harlan et al. (2006), Bell et al. (2008) o Klinenberg (2015), entre muchos otros, muestran la relevancia de identificar las poblaciones vulnerables a los extremos de calor para evitar un exceso de mortalidad cuando se susciten estos eventos.

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (2019) se ha señalado que los segmentos más vulnerables a las altas temperaturas son los niños menores de 5 años, las personas mayores de 65 y las personas que padecen algunas enfermedades crónicas. Sin embargo, aunque son menos vulnerables, existen sectores de personas que pueden tener una alta exposición, sobre todo aquellos que realizan actividades físicas al aire libre o quienes viven en viviendas en condiciones precarias, con poco aislamiento al calor o escas ventilación (McGregor & Bessemoulin, 2015).

Además de estas vulnerabilidades relativas a la condición física de las personas y su exposición, es importante generar recomendaciones sobre los aspectos

2.- Ver, en la sección de Cartografía para la planeación, el mapa **Aptitud de zonas de infiltración para mitigación de inundaciones.**

3.- Ver el contenido de la PARTE IV, especialmente la sección Cálculo de riesgo de inundación en el AMG. Para una síntesis de costos y beneficios, ver también la tabla presentada por Estrada (2018, pp. 10-11)

4.- Para una amplia reflexión sobre la historia y necesidades de adecuación de la infraestructura infiltrante del AMG, consultar el texto de Torres (2013).

propiamente urbanos que aumentan la susceptibilidad de estas personas vulnerables a sufrir efectos adversos graves ante la presencia de una onda de calor, y que tienen que ver con la falta de acceso a medicina preventiva, así como con la distribución de la población adulta mayor con una deficiente red de apoyo para evitar condiciones de exposición. En ese sentido, es claro que esta vulnerabilidad climática se relaciona con la estructura de desigualdades existente, creando nuevas manifestaciones de estas desigualdades (Colegio de México, 2018).

La planeación de la atención a la salud en contextos de ondas de calor debe priorizar las medidas preventivas. Los niños, especialmente los muy pequeños, son una de las poblaciones muy vulnerables al calor. Esto se debe a que los organismos más jóvenes pierden los fluidos con mayor rapidez y, por lo tanto, alcanzan el punto de deshidratación con mayor velocidad. Otro de los grupos más vulnerables al calor son las personas mayores. Esto se debe a que el centro termorregulador del organismo está en el hipotálamo, una región del cerebro que regula la temperatura interior del cuerpo. En las personas mayores, esta función trabaja más lento. Las personas mayores también tienen menor percepción de la sed. Esto hace que corran mayor riesgo de deshidratarse, sin darse cuenta. El calor excesivo hace que se dilaten las arterias y favorece la deshidratación. Ambos factores inciden de manera negativa en el caso de las personas que sufren de hipertensión.

Todo ello debe considerarse para diseñar una alerta temprana ante ondas de calor (McGregor & Bessemoulin, 2015). Si bien existen diversas metodologías, sobre todo para determinar los umbrales en los cuales dichas alertas deben enviar mensajes preventivos, se recomienda adoptar los umbrales del Índice de Confort Humano desarrollado en este Atlas (a 30 y 35°C) (ver Sección **Cartografía de peligro y amenazas** de la **PARTE II**) y utilizarlos para el diseño determinación de acciones específicas para cada actor involucrado en su implementación, así como el diseño de protocolos, rangos de tiempo de actuación y materiales de difusión focalizados precisamente a los grupos vulnerables y áreas espaciales especialmente expuestas. Además de la difusión de las condiciones del tiempo meteorológico y los pronósticos, la evidencia en otros países señala la relevancia de considerar tres aspectos:

- Elaborar cuidadosamente los diferentes mensajes de divulgación, utilizando lenguaje simple, emociones positivas, recursos gráficos y referentes concretos que permitan a las personas identificar claramente los niveles de alertamiento y sus consecuencias.
- Llevar a cabo pruebas piloto focalizadas de comunicación hacia los diferentes grupos vulnerables y/o expuestos (Grundstein & Williams, 2018).
- Definir una instancia pública metropolitana única emisora del alertamiento temprano, y cultivar la confianza y legitimidad ante la población de dicha instancia, para que sus mensajes tengan los efectos de acción requeridos en momentos de crisis (Lefevre et al., 2015).
- Diseñar claramente las acciones concretas que deban ser conocidas y practicadas por los profesionales de la salud, de la protección civil o de lo servidores públicos responsables (Lowe et al., 2011). Hacer simulacros de actuación y coordinación entre entidades metropolitanas orientados a ondas de calor, que abarquen medidas de comunicación, medicina social, identificación de redes de apoyo de personas vulnerables (adultos mayores, enfermos, personas con discapacidad, etc.), así como escenarios críticos de provisión de agua potable.

Además de una alerta temprana ante ondas de calor, hay otras medidas necesarias para atender a las personas que pueden tener mayores daños cuando ocurre este tipo de eventos. Se recomienda específicamente el trabajo con los diferentes entes participantes en los procesos de gobernanza metropolitana, para la revisión o, en su caso, para la creación de normas técnicas complementarias en materia arquitectónica y de instalaciones que permitan incidir en las características de las viviendas nuevas, así como en la vivienda existente.

El objetivo de la intervención es incidir en la reducción de la exposición, a través de una estrategia a mediano y largo plazo para la adaptación de la vivienda en condiciones de incremento probabilístico del peligro por ondas de calor. A ello se debe de sumar la incorporación de criterios de conservación de áreas con vegetación (tanto primaria como secundaria) que permitan recuperar y aumentar los servicios de regulación climática que ofrece el verdor en una ciudad, que es la forma de regular el confort térmico en ésta; principalmente, en aquellas donde la presencia de zonas asfaltadas hace que la temperatura de superficie del suelo sea elevada. Esto puede ayudar a trabajar de manera conjunta con los diferentes servicios de salud con presencia en el AMG (especialmente de primer nivel) y de atención al bienestar, para generar estrategias metropolitanas colaborativas de atención comunitaria a las poblaciones potencialmente más afectadas por los efectos de temperaturas extremas. Cabe destacar que la evidencia internacional señala que una de las variables clave para reducir los efectos negativos en contextos de ondas de calor que se materializan en un desastre, radica en la capacidad preventiva basada en generar redes de protección social y cuidado hacia las personas más vulnerables y/o expuestas (Aldrich, 2019; Klinenberg, 2015).

Para el caso de ondas de frío, la recomendación específica es complementaria a la de ondas de calor en materia de reducción de exposición, tanto a las bajas temperaturas, como a las sustancias asociadas al uso inadecuado de combustibles domésticos. Las instancias de planeación deben considerar en el trabajo de las mesas técnicas, la incorporación de criterios de calidad en las viviendas en cuanto a aislamiento en las normas técnicas complementarias en materia arquitectónica y de instalaciones que permitan incidir en las características de las viviendas nuevas, así como en la vivienda existente.

Diseño de un sistema de información metropolitano unificado en gestión de riesgos

Mejorar la capacidad de gestión integral de riesgos del AMG pasa por sentar las bases necesarias para sistemas de información metropolitanos homologados e interoperables. Aunque mucho se ha avanzado al respecto en el AMG, con el diseño e implementación del sistema VIMOZmetro, encontramos una importante área de oportunidad en diversos temas que pueden ser objeto de coordinación metropolitana en materia de gestión de riesgos.

En particular, uno de los temas en los cuales el AMG se vería beneficiada en el corto y mediano plazo, es el relativo a un posible sistema de información metropolitano unificado de la infraestructura de gestión de agua y drenaje sanitario y pluvial, que integre tanto la información de SIAPA como la generada a través de la Secretaría de Infraestructura y Obra Pública estatal, la Comisión Estatal del Agua, así como de las Direcciones de Obras Públicas, Servicios Públicos y Agua Potable municipales, éstas últimas financiadas con las aportaciones del Ramo 33, u otros fondos. Este tema es crucial, dado que actualmente no se cuenta con información detallada de algunos temas que son cruciales para estimación de algunos escenarios de riesgo, cálculo de daños y pérdidas, y para la implementación de las medidas recomendadas en los puntos previos de este apartado. A continuación, señalaremos de manera específica algunos ejemplos en este sentido.

Sistema de información metropolitano sobre infraestructura hidráulica.- Los procesos de aprobación de los dictámenes de factibilidad de agua potable y alcantarillado de carácter privado, dependen de una serie de insumos reglamentarios, en los cuales se utiliza información de gran relevancia para la gestión de riesgos y que, además, se validan a través de investigación de campo del organismo operador. Ejemplo de estos insumos son la topografía, cálculo de escorrentía, mecánica de suelos (misma que se usa para calcular infiltración o retención), así como el proyecto de urbanización a realizar (con el cual puede calcularse también la superficie impermeable resultante y escenarios de escorrentía). A ello se suma información específica sobre las características de la instalación de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial de cada uno de los proyectos.

Sin embargo, esta valiosa información aún no se sistematiza en ningún sistema estandarizado de datos geográficos. Su procesamiento es en formato documental, o en formato digital no georreferenciado (.dwg), y se conserva en archivos donde su sistematización no genera conocimiento sobre el territorio. A ello se suma una valiosa información archivística impresa, dispersa en varias áreas del organismo operador metropolitano, en los municipios y en el gobierno estatal, sobre la ubicación y características de tanques de agua potable y almacenamiento, infraestructura de regulación, pozos, acueductos, plantas potabilizadoras y de tratamiento, así como de la tubería y de las redes existentes, que se maneja bajo estos mismos parámetros. Con tal información, bajo un formato de sistema de información geográfica elaborado bajo estándares internacionales, se podrían tener datos georreferenciados muy precisos de las condiciones de dotación y descargas, así como estudios puntuales que permitirían determinar ubicación y tamaño de nuevas superficies impermeables y sus consecuencias en escenarios de escorrentía asociados a los percentiles de lluvia 90 y 95 en 24 hrs.[5], así como la determinación del flujo de ese escurrimiento en la microcuenca.

De esta manera, la recomendación específica consiste en **generar un sistema de información metropolitano unificado,** del trabajo se está realizando a través del inventario de infraestructura estratégica que realiza IMEPLAN. El sistema unificado propuesto debería enfocarse en reunir la información necesaria para cumplir con los objetivos de alertamiento temprano y gestión de suelo ya señalados, con la participación de diversas instancias. El sentido de un sistema así es que promueva una transformación gradual de la información existente en el organismo operador, municipios y dependencias estatales, para la gestión y publicación de la información relativa a la infraestructura y a condiciones ambientales a la escala detallada que tal información provee.

Un sistema de esa naturaleza implica un esfuerzo de colaboración y transparencia sumamente relevante. Sin embargo, a pesar de las dificultades, tal sistema de información unificado de la obra pública conllevaría enormes beneficios para el AMG, incluyendo su utilización directa en sistemas de alerta temprana orientados específicamente a la amenaza de inundación.

Se sugiere abordar las implicaciones de un sistema de información de esta naturaleza para la coordinación metropolitana, así como buscar los recursos para trasladar gradualmente la información de los archivos dispersos a este sistema de información. Al final, se busca la actualización gradual de datos sobre:

- Edad, vida útil, diámetros y materiales de la infraestructura de conexión y descarga.
- Capacidad de caudal; o bien, en capacidad de regulación o de infiltración.
- Vía de flujo del agua pluvial tanto en conectores como en superficie.
- Condición y tipo de suelo, parámetros para calcular en el sistema los posibles cambios en el escurrimiento/infiltración, a partir de las características de edafología, pendiente y vegetación original del área intervenida.

Con estas recomendaciones, buscamos aportar soluciones relativas al Pronunciamiento 4/2020 de la *Comisión Estatal de Derechos Humanos de Jalisco* de abril de 2020, en la cual se exhorta tomar medidas sobre los siguientes aspectos:

5.- Para una explicación detallada de la relevancia de estos valores, ver la sección **Análisis de campos medios mensuales y valores extremos diarios***, de la* **PARTE IV. Modelo científico.**

"Primera. Actualicen los instrumentos de valoración de riesgo de inundaciones trascendiendo la consideración de indicadores, más allá de la sola valoración topográfica de las zonas y la cantidad histórica de precipitación pluvial, sino que además, se dimensionen factores contextuales de modificación urbana que inciden en el balance hidrológico. Una vez reformados los instrumentos:

a) Adapten las modificaciones al Plan Integral para el Manejo de Inundaciones (PIMI).

b) Dentro de los cambios del PIMI, se ajuste una perspectiva de derechos humanos en la que se pondere la identificación y actuación para la protección de grupos vulnerables en las nuevas zonas de riesgo.

c) Construyan la infraestructura, vasos reguladores, cárcamos de bombeo, drenaje y alcantarillado, bocas de tormenta, coladeras, rejillas; que se requieran en cada colonia, barrio o sector que se encuentre actualmente susceptible de inundación.

Segunda. Realice una armonización de todos los instrumentos de planeación para que se considere la urbanización con respeto a los ejes naturales que deben protegerse y la gestión de las zonas de escurrimientos.

Sistema de información homologado multiescalar (metropolitano-municipal) para gestión de riesgos.- Generar información para cada uno de los procesos misionales de gestión de riesgo es muy diferente que hacerlo por sectores de la administración pública, ya que cada uno de los cuales procesa la información relevante para sus tareas de manera separada. La información georreferenciada que se utiliza en los gobiernos municipales del AMG está dispersa en áreas distintas: gestión integral de la ciudad, innovación gubernamental y administración, o servicios municipales.

Esto es entendible, a partir de la revisión de cómo ha evolucionado la administración pública local en los municipios del AMG. Sin embargo, esta dispersión genera problemas importantes de generación, homologación y distribución de información en materias sobre gestión de riesgo que son inevitablemente transversales, como ya lo hemos mencionado previamente. A ello se suma el importante diferencial en los recursos y procesos disponibles en cada municipio para generar esa información, y para utilizarla cotidianamente en las rutinas de la administración pública. Mientras en algunos municipios no existe sistema de información digital alguno, en otros está plenamente integrado e incluso tienen protocolos y credenciales para usuarios diferenciados.

Las diferencias en recursos entre municipios y la dispersión de información al interior de los municipios producen importantes limitaciones para generar una visión metropolitana de los procesos de gestión de riesgos. Pensemos en aspectos como los reportes homologados de emergencias (procesos 1 y 5); preparación de protocolos de ayuda mutua municipal para la atención de emergencias mayores (proceso 4); los parámetros de zonificación de riesgo utilizados para PDDU de municipios vecinos (proceso 1); o la información sobre las características de la infraestructura hidráulica entre áreas atendidas por el organismo operador metropolitano, respecto a las zonas atendidas directamente por los municipios (proceso 3). Paradójicamente, algunos procesos nuevos, tales como una alerta temprana meteorológica construida a partir de los avances ya existentes en materia de pronósticos climáticos, implican acuerdos intermunicipales con un menor grado de complejidad que aquellos que ya existen como parte de las actividades de gobierno, como los enumerados anteriormente en este párrafo.

En suma, un sistema metropolitano de información para la gestión de riesgos en este momento no es posible. En caso de que ello se considere como una meta relevante para la gobernanza metropolitana, se requiere un acuerdo marco entre los municipios, para la homologación de estándares, criterios y, en algunos casos, rediseño institucional. Tal meta es ambiciosa, pero puede dar lugar a procesos metropolitanos innovadores, de los cuales no hay precedente en nuestro país.

Listado de recomendaciones específicas

En esta sección se diferencian las acciones a nivel metropolitano del nivel municipal; el conjunto de acciones posibles en materia de planeación metropolitana, las de protección civil y, en su caso, las del sector medioambiental. Algunas de ellas abordan aspectos a tratar en las mesas de trabajo metropolitanas y el Consejo Ciudadano Metropolitano.

Coordinación con instancias de salud pública.- Una de las debilidades para evaluar los modelos en el caso de salud y clima, ha sido la resolución espacial de los impactos (los cuales sólo se muestran a nivel municipal). Sería deseable involucrar a la Secretaría de Salud de Jalisco en futuros procesos de planeación, para poder establecer 1) mecanismos conjuntos de monitoreo a mayor resolución espacial (por ejemplo, a nivel de centro de salud), que permitan dar un seguimiento puntual a aspectos epidemiológicos relativos al clima y 2) diseñar procesos de atención comunitaria a la salud, sobre todo para atender enfermedades subyacentes que se agravan ante extremos de temperatura y las enfermedades derivadas de vectores infecciosos sensibles al clima.

Priorizar infraestructura verde y ecotecnologías.- El principal recurso de infraestructura verde está en la identificación y en su caso preservación de áreas de infiltración natural. Sin la reducción de la escorrentía por estos medios, no habrá infraestructura gris capaz de contener el caudal pluvial que aumentará en los próximos años. Las medidas de infraestructura verde incluyen techos verdes, creación de humedales artificiales, pavimiento poroso y cosecha de agua, entre muchos otros (Magrin, 2015; Rouse & Bunster-Ossa, 2013), así como aumentar las capacidades de parques y jardines de absorber grandes cantidades de agua llevándola al subsuelo. El caso de los humedales artificiales (superficies amplias de agua construidas artificialmente con poca

profundidad y vegetación, los cuales se han implementado exitosamente en otras ciudades del mundo, pueden resultar apta en áreas no urbanas o periféricas, dado que requiere de amplio espacio y de asegurar un flujo base aún en periodos de sequía.

Estas medidas deben contemplar un espectro amplio de posibilidades para ser aceptadas por la sociedad, pue su costo – beneficio, y por la factibilidad y viabilidad de ser implementadas. Se puede pensar incluso en esquemas de tratamiento de aguas de lluvia y aguas residenciales, separadas o tratadas, que permitan el reuso en un esquema de planeación del crecimiento. Los niveles de precipitación en la mayor parte del AMG podrían así resolver un problema de acceso a agua, que mantenga menor presión sobre el recurso hídrico.

Entre las estrategias para la consecución de estas medidas, una muy relevante es la de determinar a nivel metropolitano requisitos mínimos en el diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible. Por drenaje sostenible se puede entender el diferenciado (sanitario y pluvial), así como la inclusión de las superficies permeables; (pavimentos que permiten el paso por el agua) en estacionamientos y accesos a zonas residenciales.

Desarrollar, como estrategia metropolitana de financiamiento de infraestructura filoclimática, incentivos tributarios y/o de movilización de plusvalías transparentes y focalizados.- La infraestructura azul y verde tiene, indudablemente, un costo importante, lo cual es uno de los principales desafíos para implementar cualquier medida filoclimática a gran escala. Esto es aún más relevante en contextos metropolitanos, dadas las atribuciones en materia de recaudación que son propias de los gobiernos municipales.

Los incentivos tributarios y la movilización de plusvalías son mecanismos ya utilizados en otros países, especialmente en América del Sur, para financiar la creación y la conversión de infraestructura para propósitos filoclimáticos (de la Sala et al., 2019; M. Maldonado et al., 2020). Entre ellos se encuentran contribuciones de mejoras orientadas a infraestructura climática; derechos adicionales de edificación vinculados a infraestructura filoclimática de impacto social; cesión de suelo arbolado; restricciones de impermeabilización, o cargas urbanísticas verdes, entre otras. La implementación de cada uno de estos instrumentos, aún con muchos retos es posible, pero requiere una adaptación del instrumento al marco legal local y un consenso claro entre actores sobre los objetivos y los criterios para el establecimiento de cargas.

Por otro lado, es importante señalar que las precondiciones básicas para la viabilidad de estos instrumentos son la transparencia y focalización. Esto significa diseñar un instrumento financiero en el cual los criterios, los procesos y montos de recaudación, y los instrumentación de gasto público de inversión sean transparentes, de tal manera que esté a la vista de todos que tales recursos sí se utilizan efectivamente en inversiones sociales filoclimáticas. Todas y cada una de las medidas de captación de plusvalías deben estar acompañadas de mecanismos de transparencia proactiva que garanticen su implementación y vigilancia. Estas precondiciones son las que generan la confianza mínima necesaria para que la recaudación de estos recursos permita efectivamente su implementación, en beneficio de los ciudadanos del AMG.

Diseño de una alerta temprana de amenaza de inundación.- Los sistemas de alerta temprana (SIAT) son por lo general la forma en que se trabaja en términos de acciones por parte de los organismos de Protección Civil. Los SIAT definen acciones de acuerdo con un protocolo definido de acuerdo con el pronóstico del tiempo. Habiéndose identificado el patrón de lluvia que resulta en zonas afectables que registran inundaciones, es posible definir zonas de riesgo (ver Sección **Cartografía sobre riesgo y posibles daños o impactos**, en la **Parte II**) y por tanto de acción preventiva. La identificación de la amenaza no debe quedar reducida a lo que entregan modelos de pronóstico del tiempo, sino que abarcan sistemas de detección y monitoreo como son los radares o los satélites meteorológicos, que permitirían hacer pronósticos a cortísimo plazo (1 o 2 horas) de mayor precisión espacial. Con la información que estos esquemas proveen se pueden realizar diversas acciones que reduzcan el riesgo de inundación y las afectaciones consecuentes. El uso preventivo de estos sistemas permite movilizar los vehículos y otros recursos a la zona donde se espera el impacto previo a que inicie la tormenta con el fin de que pueda actuar de forma inmediata en cuanto se tengan las primeras señales de inundación. La información también puede ser comunicada a la población a través de protocolos y medios preestablecidos.

Diseño de una estrategia metropolitana de gestión de la interfaz urbano/rural en materia de incendios forestales.- En las áreas de interfaz urbano rural y, especialmente, en la cercanía con áreas urbanas y en la frontera agrícola, son muy susceptibles a eventos de ignición. Como se analiza detalladamente en la sección **Riesgo de incendios forestales en el AMG**, la accesibilidad se considera un factor clave para explicar la frecuencia de ignición, por lo cual es indispensable que exista en estas áreas una estrategia de múltiples acciones. Algunas de las medidas de control, especialmente las aplicables a la frontera forestal / agrícola, se incluyen en la Norma Oficial Mexicana (NOM-015 SEMARNAT/ SAGARPA-2007, Sección 5. Especificaciones para el uso del fuego). Sin embargo, las medidas necesarias para reducir el impacto de actividades humanas recreativas y extractivas son muy limitadas en esta NOM, por lo cual se hace necesario especificar las medidas conjuntas que el AMG requiere para la vigilancia y fortalecimiento de la atención de emergencia.

Entre estas medidas pueden considerarse aspectos como la gestión comunitaria de madera muerta; retiro controlado de material biocombustible; estrategias de restauración de la vegetación nativa; instalación de puestos estratégicos de vigilancia y patrullaje; control de pastizales y áreas agrícolas intersticiales; revisión de la zonificación primaria; y/o actualización anual del diagnóstico de riesgo.



PARTE IV

Modelo Científico

Procesamiento de datos meteorológicos

Un aspecto fundamental para poder avanzar en la gestión de riesgo es contar con datos adecuados sobre los fenómenos que tienen impactos en la población. La temperatura, la precipitación, la humedad y el viento son elementos meteorológicos que reflejan el estado del tiempo y su importancia es tal, que históricamente se han medido de forma regular, al menos en superficie. Para el caso del AMG, las estaciones meteorológicas han medido las condiciones del tiempo desde hace más de cincuenta años, lo que permite establecer cómo ha cambiado el clima, principalmente con relación al efecto de la ICU.

En el AMG se cuenta con alrededor de 80 estaciones meteorológicas (Tabla 5), con registros de temperatura máxima, mínima y lluvia acumulada diaria, las cuales están a cargo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y otras entidades. Los registros varían en el tiempo dado que el número de estaciones que se incorporan o se dan de baja en la red de monitoreo varía.

Tabla 5 Estaciones con datos meteorológicos

Fuente	Periodo	Resolución temporal	Variables			Estaciones
			Temp.	PCP	Viento	
SMN	1981-2018*	Datos diarios	•	•		68
EMAS	2000-2018	Datos cada 10 minutos	•	•	•	5
ESIME	2000-2018	Datos cada 10 minutos	•	•	•	1
SEMADET	1996-2018	Datos horarios	•	•	•	10

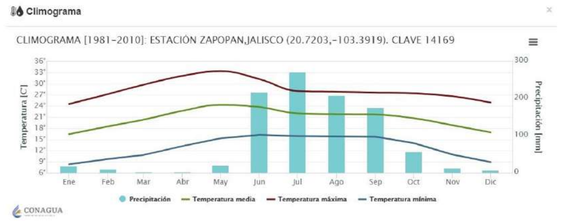
Fuente: Elaboración propia con datos del SMN y de SEMADET. Consultado en marzo del 2020.

**El periodo de estudio es de 1980 a 2018, aunque algunas estaciones pueden comprender periodos más extensos con datos.*

Desde años recientes, el tiempo atmosférico en el AMG también se mide en otras redes de observación meteorológica a cargo de agencias ambientales federales y estatales. Incluso, se cuenta con algunas estaciones de aficionados, con calidad suficiente para incorporarse a los análisis meteorológicos locales. Los sistemas remotos, como radares o satélites meteorológicos, complementan las estimaciones de tiempo, principalmente donde no hay información. Finalmente, se dispone de re-análisis de datos en mallas regulares que estiman valores de una condición de tiempo, considerando las observaciones existentes y los principios dinámicos en la atmósfera. Así, las fuentes de información meteorológica son diversas, pero se deben desarrollar esquemas para integrarlos en una base de datos uniforme en cuanto a su resolución espacial y temporal, con el fin de que de manera consistente, se puedan hacer comparaciones entre periodos.

Por otro lado, es común que se hagan caracterizaciones del clima de un lugar a través de climogramas. El Servicio Meteorológico Nacional ha calculado los climogramas de las estaciones que integran la red de observatorios de superficie del país, describiendo el comportamiento medio mensual de temperatura máxima, mínima y de precipitación, con lo cual se tiene una idea de periodos calurosos, húmedos o fríos (Figura 3).

Figura 3 Ejemplo de un climograma de las estaciones meteorológicas del AMG

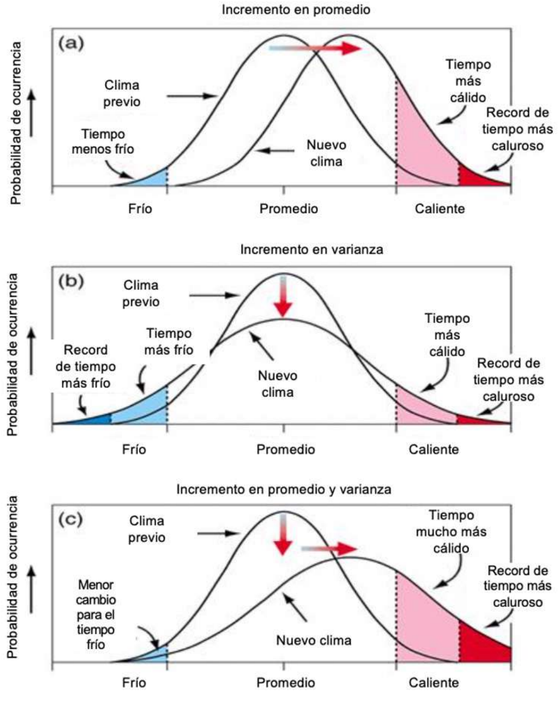


Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

La representación más adecuada, a partir de datos diarios de una estación, como los observatorios meteorológicos, es a través de la función de distribución de la precipitación, con la cual se pueden analizar condiciones extremas, dadas por las "colas" de la distribución de probabilidades (Figura 4). A través de la función de probabilidades de la función, se puede establecer el valor a partir del cual se considera que una condición es relativamente improbable, a la cual no se está acostumbrado, y que por lo tanto representa un peligro. Por medio de los percentiles se puede conocer el valor de condiciones extremas de temperatura o precipitación y así contar con una primera aproximación del peligro meteorológico.

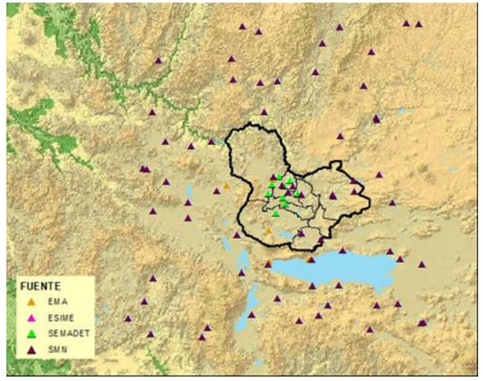
Para el presente análisis de peligros meteorológicos por lluvia en el AMG se han utilizado datos diarios de estaciones en el AMG y zonas aledañas (Figura 5), para un periodo que se extiende entre 1950 y 2018. Si bien los datos puntuales por estación describen adecuadamente la magnitud de las temperaturas o las lluvias diarias, también dejan un vacío en el espacio de zonas en donde no hay mediciones. También hay falta de información en diversos periodos de tiempo, por lo que la continuidad de las series de tiempo de datos de las estaciones no es total.

Figura 4 Función de distribución de probabilidades para la temperatura, representando clima y sus cambios.
Fuente: IPCC (2001, p. 87)



Dichos huecos de información en espacio y tiempo pueden cubrirse con estimaciones hechas por modelos atmosféricos, estimaciones de satélite u otros tipos de algoritmos. Para el presente estudio se ha utilizado un método de asimilación de datos conocido como "interpolación y correcciones sucesivas", que se basa en los datos observados en puntos esparcidos aleatoriamente en el dominio, a partir de los cuales se interpola a una malla regular (Cressman, 1959). El procedimiento consiste en corregir un campo preliminar de forma iterativa usando las observaciones existentes hasta que la diferencia entre la estimación y el valor observado en un punto sea menor que un valor umbral determinado. Bajo tal criterio se construyen campos meteorológicos que son estimaciones de un campo real desconocido, contando con una matriz de datos que facilita su manejo estadístico y de despliegue, por ejemplo, en Sistemas de Información Geográfica (Magaña, 2013).

Figura 5 Ubicación de estaciones meteorológicas en el dominio de interés
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional



Para el AMG se construyeron campos diarios de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, con los cuales se calculan estadísticas climáticas, tales como valores medios, rangos de variabilidad (varianza) y valores extremos (percentiles), para diversos plazos del periodo analizado (1950-2018). Para poder trabajar los datos, en primer lugar, se depuraron los archivos de cada estación (Figura 6).

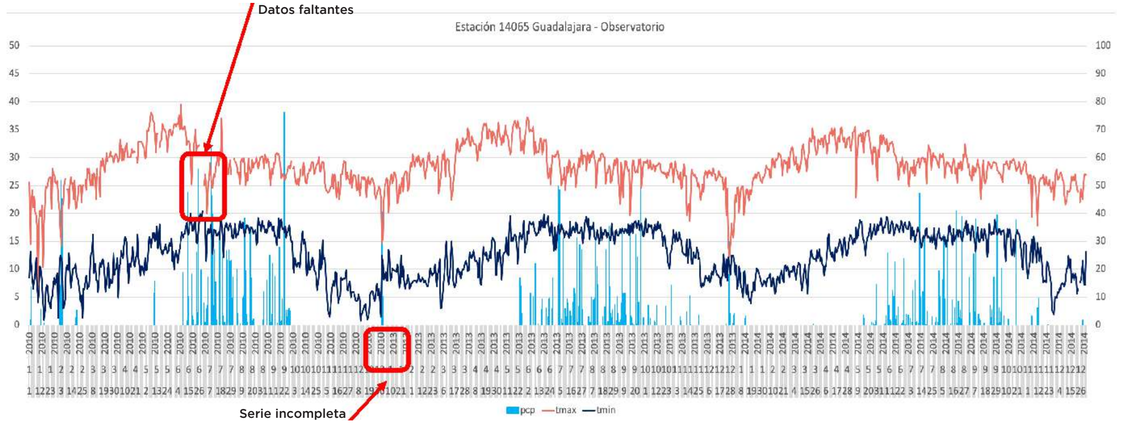


Figura 6 Ejemplo de fallas en las series de tiempo diarias de TMax, TMin y PCP en un observatorio meteorológico del SMN (14065, Guadalajara).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional

En el caso de la humedad relativa del aire o de campos de viento en superficie se dispuso de series de mayor resolución espacial (10 minutos) por lo que se construyeron campos horarios, al menos para un periodo más corto (2000-2018), ya que su ciclo diurno es un elemento importante del clima. Los datos de tasa de precipitación (cada diez minutos) se usaron como referencia para establecer si la lluvia diaria es útil como representación de eventos de tormenta intensa (precipitación intensa en un periodo corto de tiempo). Los resultados mostraron que las lluvias diarias pueden ser un buen proxy de las tasas de precipitación horarias.

El proceso de asimilación de datos se realizó con información desde 1951 hasta 2018 (datos más recientes disponibles al momento del proyecto). Sin embargo, para consideraciones del análisis de riesgo, el interés se centró en los datos desde 1981 a 2018. Dada la distancia media entre las estaciones utilizadas, la resolución espacial utilizada fue de 4 km x 4 km. En el caso de los campos de temperatura, se utilizó como campo preliminar los campos del *North American Regional Reanalysis* (NARR). Originalmente, estos están en resolución espacial y están en mallas de 32 km x 32 km, pero fueron interpolados siguiendo un campo de orografía de alta resolución, a mallas de 4 km X 4 km, usando un gradiente adiabático húmedo de 6.5 ºC/km para correcciones con la altura.

Los datos de temperatura de NARR, están disponibles de manera tri-horaria. Para el caso de la temperatura máxima se utilizó el campo correspondiente a las 3 pm hora local. En el caso de la temperatura mínima se usó el de las 6 am hora local. Para el caso de los campos de viento, se usaron análisis NARR tri-horarios interpolados en forma horaria. De forma similar se procedió con los campos de humedad relativa. En el caso de la precipitación se utilizaron estimaciones diarias de la base de datos CHIRPs (*Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations*), la cual integra estimaciones satelitales de lluvia. Estos datos están disponibles en el sitio https://www.nature.com/articles/sdata201566 (Funk et al., 2015).

Un ejemplo de la comparación de los valores interpolados de temperatura máxima (TMax), a un píxel cercano a dos estaciones, como en el caso de la estación Colomos y Guadalajara (Figura 7) muestra que el algoritmo captura el comportamiento diario de las observaciones. El campo interpolado (asimilado) refleja el comportamiento diario de la TMax durante todo el periodo, y la diferencia con cualquiera de las estaciones, es proporcional a la diferencia de valores entre las estaciones.

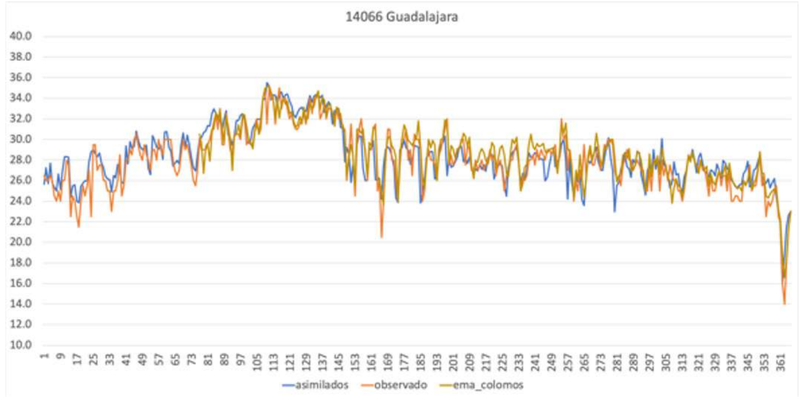


Figura 7 Serie de tiempo de temperatura máxima: asimilada (azul), observada en Colomos (mostaza) y observada en la estación 14066 Guadalajara (naranja).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional (marzo de 2020.

La asimilación de datos de precipitación es más complicada, ya que un píxel representa un área de 4 km x 4km, mientras que el pluviómetro de la estación refleja sólo la lluvia en un punto. En todo caso, se trata de estimaciones de patrones de lluvia, cuya finalidad es estimar la cantidad de agua que cae en una región. La aproximación al campo de datos de precipitación diaria se realizó usando un campo preliminar cero, y otro con un campo preliminar dado por los reanálisis CHIRPs de 25 km x 25 km interpolados a 4 km x 4 km.

El resultado de la comparación entre asimilado, CHIRPs y observado, nos muestra que el asimilado genera una mejor aproximación a los datos observados que CHIRPs, principalmente en cuanto al número de días que hay precipitación (Figura 8). Los eventos extremos no alcanzan la magnitud observada puntualmente, lo cual tiene sentido, pues como se mencionó, la estación mide el valor en un punto, mientras que los análisis en malla corresponden a un área. Si toda el área tuviera precipitación intensa, el agua acumulada sobrepasaría significativamente la observada, y se simularían inundaciones más frecuentes e intensas que lo observado. Sin embargo, los datos asimilados en malla sí capturan eventos de precipitación intensa.

Los datos de precipitación reflejan grandes contrastes en la lluvia entre estaciones, pudiendo reportarse lluvias de más de 50 mm/día en una estación urbana, y menos de 30 mm/día en otra a menos de 5 km de distancia. Dicho comportamiento de la precipitación es característico de las lluvias de verano asociadas con nubes convectivas de mesoescala del tipo cumulonimbos. Cada uno de los eventos diarios de lluvia o de temperatura puede ser desplegado utilizando el motor de despliegue.

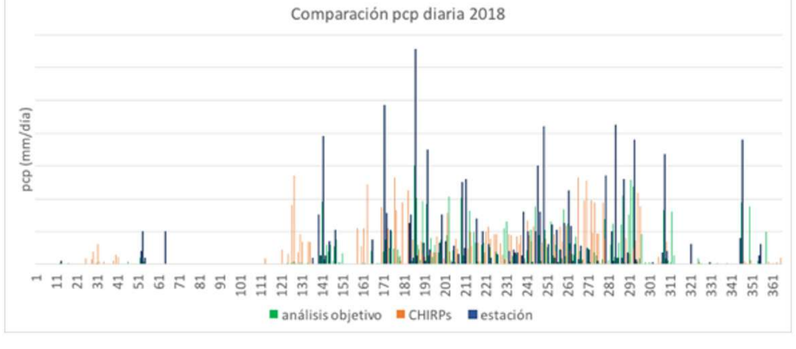


Figura 8 Serie de datos diarios de precipitación (mm/día) en una estación y su comparación con los valores por pixel

Fuente: Elaboración propia a partir de datos asimilados propios, estación del Servicio Meteorológico Nacional y malla de datos CHIRPs.

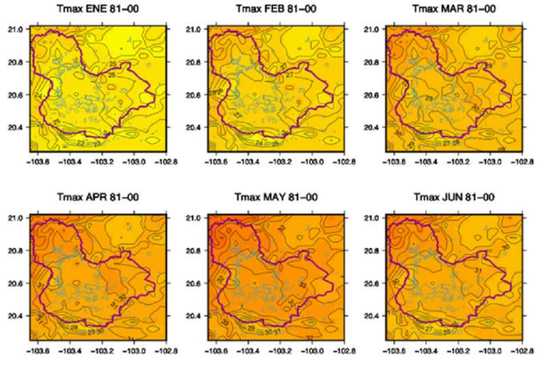
Análisis de campos medios mensuales y valores extremos diarios

Temperatura

El valor medio de un campo meteorológico puede ser mensual, anual o decadal, correspondiente a un periodo que se considere asociado a una condición normal. Así, por ejemplo, en el caso de las zonas metropolitanas se puede analizar un periodo previo o posterior a un episodio de rápida expansión urbana, pues el forzante de condición de superficie del primero es distinto al segundo y así lo es la respuesta en el clima local. Pero no sólo el primer momento estadístico (medio) cambia con la expansión urbana; la varianza e incluso la actividad de eventos extremos pueden cambiar.

Los análisis de valores medios y extremos se realizaron considerando dos periodos: 1981-2000 y 2000-2018, pues, además de ser suficientemente largos para dar robustez estadística a los análisis, reflejan el periodo de transición y rápido crecimiento urbano del AMG. Los campos medios mensuales analizados corresponden a TMax, TMin, PCP, humedad relativa y viento.

Los campos medios de temperatura máxima (TMax) muestran que en los periodos comparados hay un aumento de alrededor de 1ºC en las zonas de crecimiento urbano. Los meses más calurosos son los de primavera, y son los que representan un peligro, por ejemplo, en términos de incendios forestales o para la salud humana. Pero para considerarlos peligro, se deben analizar valores anómalamente altos de esta condición, lo que hace de los campos meteorológicos diarios, una fuente de información útil.



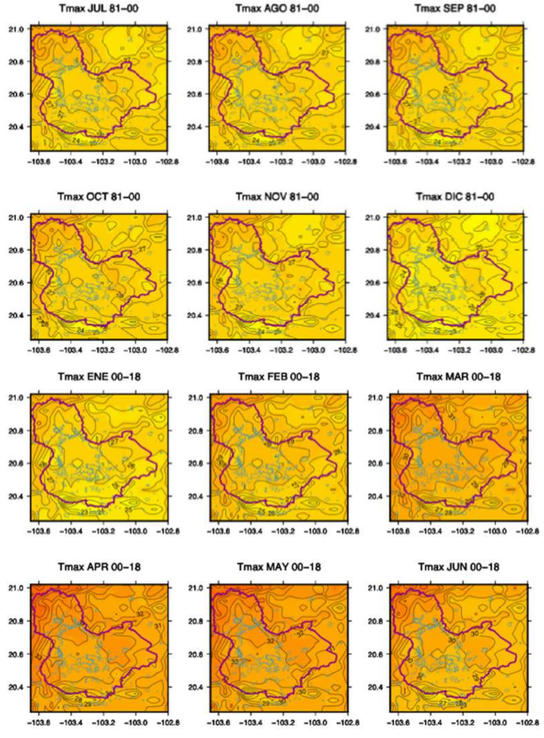
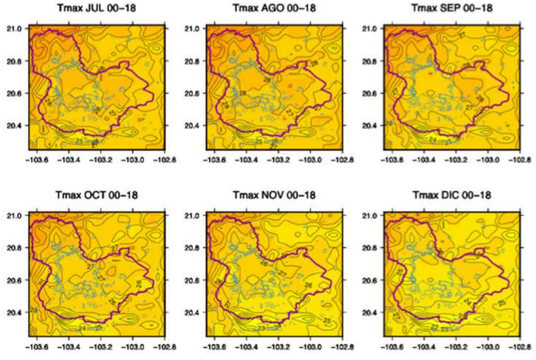


Figura 9 Campos medios mensuales de TMax para el periodo 1981-2000 y 2000-2018

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional



Los valores extremos, por ejemplo, asociados con el percentil 90 (P90) o 95 (P95) de la temperatura se ha incrementado en su extensión espacial para umbrales como el de 33ºC en P90 o el de 34ºC en el caso de P95, principalmente sobre la zona urbana, lo cual es un reflejo de la ICU existente sobre el AMG. El área más calurosa de los municipios del dominio se observa hacia el municipio de Zapopan, zona a la que la urbanización aumenta, lo cual lleva a estimar un crecimiento de la ICU en esta dirección, con las condiciones de riesgo que esto puede significar.

El mes con los valores extremos de temperatura máxima es mayo, pues el P95 en la zona urbanizada del AMG está entre 35 y 37ºC. En años recientes se pueden presentar uno o dos días con temperaturas que se consideran peligrosas para la salud.

Mediante un análisis de imágenes satelitales para la temperatura de superficie del suelo, se puede identificar con más claridad el efecto del cambio de uso de suelo en el AMG (Figura 11). Comparando dos fechas, una para los meses de primavera y otra para finales de la época de lluvias, es posible observar el efecto que tiene el concreto en la ciudad sobre la temperatura del suelo, que eventualmente termina influyendo en la temperatura del aire a 2m, la referencia usada para TMax.

Resulta claro que las mayores temperaturas en marzo se asocian con el suelo desnudo, durante la temporada seca (marzo) con temperaturas cercanas a 35ºC, principalmente hacia la zona del sureste del AMG. Después de la temporada de lluvias (septiembre), el suelo húmedo es más fresco que el

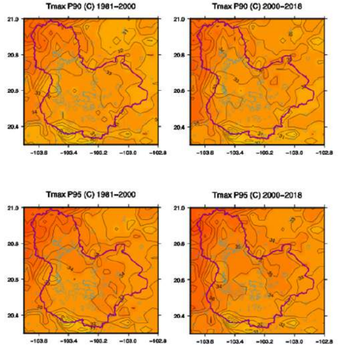


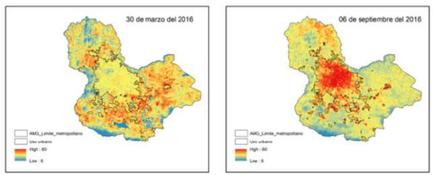
Figura 10 Percentil 90 (P90) y percentil 95 (P95) de la temperatura máxima en el AMG, para dos periodos de tiempo: 1981-2000 y 2000-2018

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

concreto de la ciudad, y las mayores temperaturas de superficie del suelo se observan en la zona urbanizada, mostrando uno de los factores que genera la ICU. Es interesante notar que hacia las zonas de verdor (Chapala o Bosque La Primavera) las temperaturas de suelo son mucho menores, mostrando el papel del verdor y los cuerpos de agua en el AMG. Desafortunadamente, ese verdor se va perdiendo y con ello se genera una intensificación de la ICU.

Figura 11 Temperatura del suelo en el AMG para marzo-2016 y septiembre-2016.

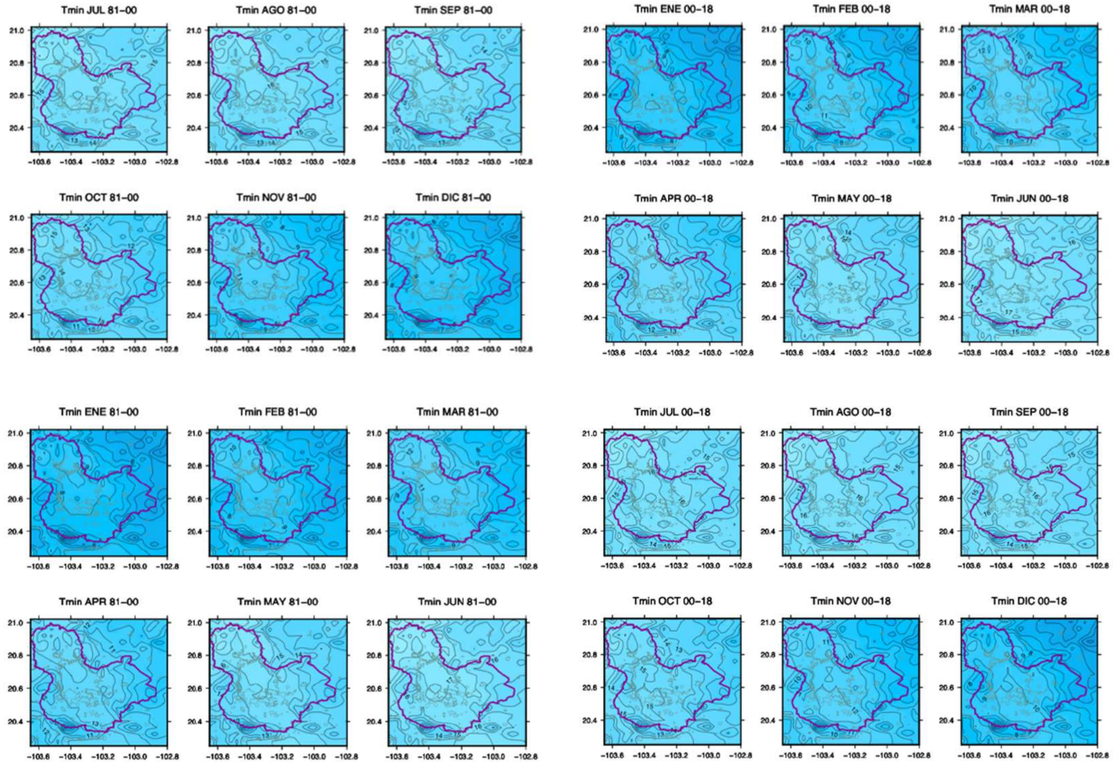
Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes del satélite LANDSAT del año 2016



En el caso de la temperatura mínima, los valores bajos (TMin < 10ºC) de los campos medios mensuales se registran en diciembre, enero y febrero, en las zonas periféricas y altas del AMG. Los valores más altos de TMin se registran en la zona urbanizada (Figura 12)

Figura 12 Campos de TMin mensual sobre el AMG para los periodos 1981-2000 y 2000-2018.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional



Como en el caso de la TMax, la ICU muestra un incremento en extensión en las dos décadas más recientes con valores superiores a 9ºC en los meses de invierno. La ICU en términos de temperaturas mínimas relativamente altas, lo que resulta en inviernos menos severos que en el pasado.

Como en el caso anterior, es necesario analizar los percentiles para hacer un diagnóstico de los valores extremos que se constituyen en peligro. El percentil 5% (P5) de TMin permite establecer los valores extremos bajos de temperatura, y se puede observar que, en la zona urbanizada, estos valores son de alrededor de 7ºC (periodo 1981-2000), mientras que en el periodo reciente (2000-2018) son superiores a 8ºC en parte de la zona en donde ha crecido la urbanización, principalmente hacia el sur (Figura 13).

Lo análisis anteriores muestran que en la zona centro del AMG se tienen las temperaturas mínimas más altas y en aumento, lo cual disminuye el peligro de afectación a la salud que con frecuencia se presenta con TMin de menos de 5ºC.

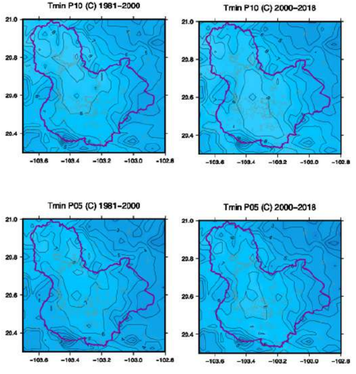


Figura 13 Percentil 10 (P10) y percentil 5 (P05) de temperatura mínima (TMin) en el AMG, para los periodos 1981-2000 y 2000-2018.

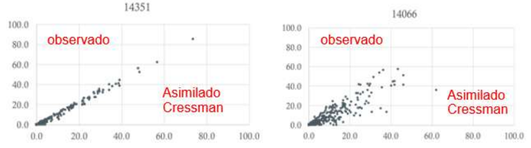
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

Precipitación

Los datos de precipitación diaria fueron asimilados mediante el esquema de correcciones sucesivas tipo Cressman. Un análisis de dispersión entre datos observados y datos analizados objetivamente permite establecer que la estimación es adecuada y tiene un alto grado de precisión tanto para valores bajos como para valores altos. En el caso de la estación 14351 se puede observar que el error es menor del 10% y que se tienen datos de calidad que representan eventos de lluvia extrema en el AMG (Figura 14). La calidad en la estimación de la lluvia es similar en otras zonas en donde no siempre hay estaciones o no se reportaron datos.

Figura 14. Diagrama de dispersión entre datos de precipitación diaria (mm) estimados por análisis objetivo y valores observados (estación 14351 Guadalajara y 14066 Guadalajara)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos asimilados de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional



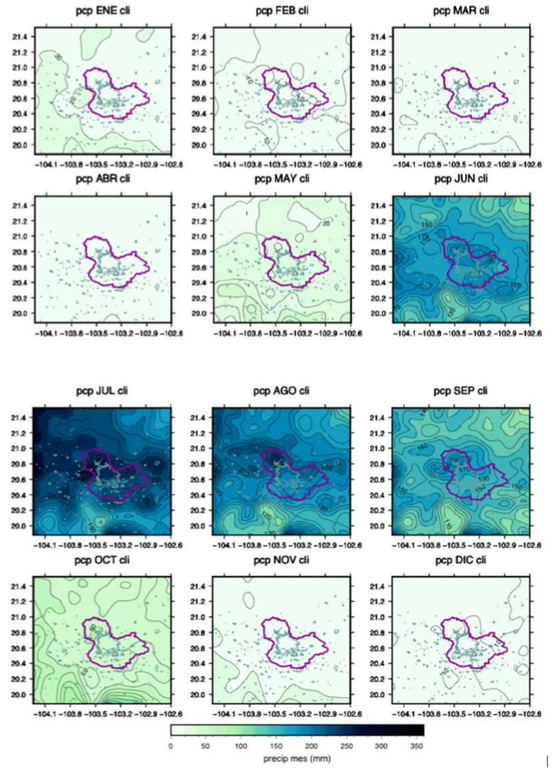
Un análisis de dispersión entre datos observados y datos analizados objetivamente permite establecer que la estimación es adecuada y tiene un alto grado de precisión tanto para valores bajos como para valores altos.

Existen, sin embargo, situaciones en que la complejidad del proceso y el método hacen que la estimación sea menos precisa que el caso anterior. En la estación 14066 en Guadalajara, las estimaciones resultan de una combinación de diversas estaciones y dan una aproximación de la lluvia diaria que no alcanza la precisión del caso anterior. (Figura 14) A pesar de ello, la estimación es adecuada para describir eventos extremos de precipitación diaria.

La precipitación, analizada objetivamente, captura los patrones básicos en cuanto a sus características espaciales y temporales. En general, se observa que es más intensa hacia la zona noroeste, hacia el Municipio de Zapopan, en los meses de junio a septiembre. El AMG es una zona particularmente lluviosa en el mes de julio, cuando la precipitación mensual en promedio acumula más de 200 mm/mes (ver climograma de la estación 14066 Guadalajara del SMN). Por otro lado, el mes de abril es el más seco (Figura 15), en tal medida, que puede generar condiciones de alto estrés hídrico en la vegetación. En ciertos años, como en el 2011 o el 2017, el mínimo de precipitación se convierte en un peligro climático que puede llevar a riesgo de incendios forestales.

Figura 15. Campos medios mensuales de precipitación (mm/mes) en el AMG

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

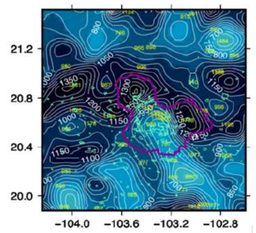


En general, los campos de lluvia son más intensos hacia la zona oeste del AMG, pero muestran un máximo relativo exactamente sobre la zona urbana. Una de las zonas más lluviosas del AMG es en el Municipio de Zapopan; dicha condición contribuye a escurrimientos que producen escurrimientos importantes e inundaciones en la zona centro del AMG, entre Guadalajara y Tlaquepaque.

La complejidad de generar campos de precipitación se puede observar cuando se estima el acumulado anual de lluvia sobre el AMG y se compara con los reportes de observatorios en la zona. Existen fuertes contrastes en las precipitaciones acumuladas entre una estación y alguna estación vecina, por ejemplo, en la zona urbanizada. Hacia los municipios centro sur de la zona (El Salto, Ixtlahuacán, Juanacatlan) se presenta un fuerte gradiente de lluvia anual, comparado con la zona noroeste-centro (Zapopan-Guadalajara) (Figura 16).

Figura 16. Precipitación anual en el AMG resultado de los análisis objetivos (isolíneas blancas y tonalidades azules) comparado con los reportes anuales por estación (números amarillos)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional



Uno de los aspectos más importantes de las lluvias en el AMG es que las precipitaciones acumuladas en el verano son resultado de eventos de lluvia cada vez más **intensas**. Por ejemplo, la comparación de los percentiles 90 y 95 (P90 y P95) en distintos periodos. El percentil 95 de la precipitación diaria se refiere a aquellas lluvias intensas que sólo tienen 5% de probabilidad de ocurrir entre los eventos ocurridos. Su baja probabilidad de ocurrencia hace pensar que el sistema está poco preparado para eventos de esta magnitud, sobre todo, cuando su valor está por encima de las capacidades de filtrado por el suelo o del drenaje. El valor del percentil 95 en el AMG y estaciones vecinas se encuentra alrededor de 40 mm/día, y el del percentil 90, es el de las lluvias que tienen 10% de probabilidad de ocurrir, y se encuentra alrededor de 30 mm/día (Figura 17).

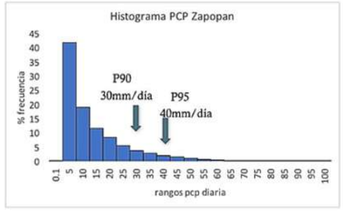
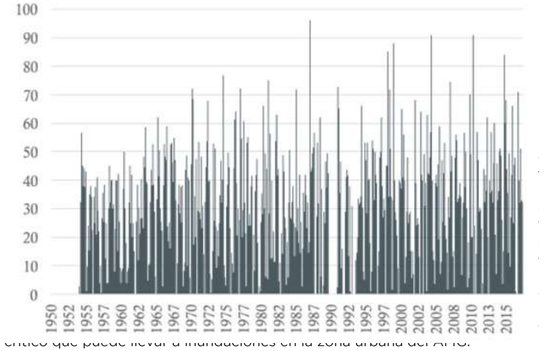


Figura 17. Distribución de frecuencia de precipitaciones diarias en Zapopan. Los percentiles 90 y 95% están indicados con flechas verdes.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SMN. Consultado en marzo del 2020.

El análisis de la serie de tiempo de la estación 14169 muestra un aumento en la intensidad de la precipitación diaria en las décadas de los setentas y ochentas, que muy probablemente se debe al proceso de urbanización del AMG. Es posible apreciar en esta estación ubicada en Guadalajara, que entre los 1970 y 1980s hay un aumento en la frecuencia de lluvias intensas de más de 50 mm/día (Figura 18)

Figura 18. Precipitación diaria en la estación 14169 Guadalajara entre 1950 y 2017
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional



crítico que puede llevar a inundaciones en la zona urbana del AMG.

Aunque no se ha hecho una verdadera atribución (Magaña & Galván, 2010), es probable que la formación de la ICU lleve a mayores niveles de humedad relativa en el AMG y con ello, el agua precipitable en la atmósfera esté aumentando. Al incrementarse la temperatura en superficie, la atmósfera es menos estable y las probabilidades de lluvias intensas se incrementan.

Dicha tendencia es común en gran parte de las urbes que crecen y cambian su entorno drásticamente (Aguilar et al., 2005). Así, el crecimiento urbano genera peligro, al crear un ambiente de lluvias más intensas que rebasan un umbral crítico (30 mm/día).

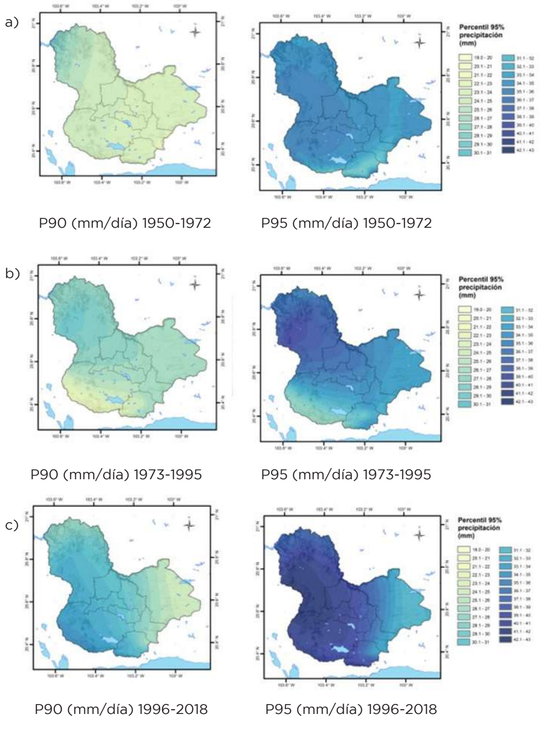
Tabla 6 Valores puntuales de percentiles para diferentes épocas.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional

ESTACIÓN	1950-1972 P95 (P90) mm/día	1973-1995 P95 (P90) mm/día	1996-2018 P95 (P90) mm/día
Zapopan	37.5 (25.9)	**40** (28.5)	**42.5** (33.2)
Guadalajara Obs	32.1 (22)	37.9 (29.4)	**40.3** (30.6)
Guadalajara DGE	39.2 (25.5)	35.9 (27.5)	**40.3** (31.5)
La Experiencia		34.7 (25.5)	**40** (29.2)
Tlaquepaque	32 (24)	38 (28.2)	**40.5** (30.5)
Tlajomulco de Zúñiga		30 (24)	**40.3** (33.5)
Ixtlahuacán del Río	33 (24)	35 (26)	35.5 (27)
Cuixtla	33.1 (25)	35 (27)	36.3 (26.1)
Zapotlanejo		34 (26.8)	33.6 (25.9)
Santa Rosa	34.5 (30.4)	37.2 (27.9)	37.8 (27.9)
Tonalá			(37.7) 27.8

A pesar de que los análisis a nivel estación resultan útiles para mostrar la tendencia de las lluvias extremas, es necesario considerar el patrón de lluvias y sus tendencias de cambio en el AMG. Por ello, se analizan los campos en todo el dominio AMG que, aunque son diarios, dan una idea adecuada de las tasas de precipitación. Las ventajas de esta aproximación (uso de campos) radican en que permiten alimentar modelos de lluvia escurrimiento que llevan a estimar zonas en donde las condiciones físicas y ambientales llevan a inundaciones.

Un análisis de los valores del percentil 90 y el percentil 95 muestra que el aumento en el AMG ha ocurrido de forma sistemática en todo el dominio, y que los eventos más intensos se presentan entre el municipio de Zapopan y Guadalajara, principalmente en años recientes. Las precipitaciones intensas escurren hacia las partes bajas donde se acumulan formando encharcamientos o inundaciones. Por tanto, es posible afirmar que el peligro de inundaciones está aumentando en el AMG.

Figura 19. Percentiles P90 (izquierda) y P95 (derecha) de precipitación diaria (mm/día) para el AMG correspondientes a los periodos a) 1950-1972, b) 1973-1995 y c) 1996-2018
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional



P90 (mm/día) 1950-1972 P95 (mm/día) 1950-1972

P90 (mm/día) 1973-1995 P95 (mm/día) 1973-1995

P90 (mm/día) 1996-2018 P95 (mm/día) 1996-2018

Cálculo de riesgo de inundación en el AMG

Para estimar el riesgo de inundaciones o encharcamientos para el AMG, como consecuencia de lluvias intensas, es necesario analizar el proceso dinámico y multifactorial con que se construye vulnerabilidad física ante estas lluvias intensas, así como las características y los cambios del peligro, es decir de las precipitaciones que rebasan cierto umbral extremo. Actuar frente a los factores de vulnerabilidad física es por lo general la forma más común de gestionar el riesgo, aunque se debiera considerar la posibilidad de reducir también el peligro, tal y como se hace en el caso del cambio climático global, al sugerir reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero para disminuir el calentamiento global. La gestión del riesgo debe hacerse a nivel metropolitano, con medidas particulares para las diferentes regiones dentro del AMG, diferenciando zonas urbanas, rurales y de vegetación natural, pues cada uno presenta impactos diferenciados en intensidad y número. Por ejemplo, para el caso del área urbana se debe pensar en formas de mitigar la ICU, mediante programas de reforestación urbana o recuperando cuerpos de agua superficial que disminuyan la temperatura de superficie.

En el caso de las inundaciones en el AMG, los registros de los años recientes muestran que, al irse incorporando municipios al AMG, los reportes de inundaciones crecen (Figura 20), no siempre porque las inundaciones en esos municipios se sumen a las del total del AMG, sino por el efecto que su urbanización va aumentando el riesgo en los municipios centrales más antiguos. Para el caso de los reportes de los sitios recurrentes de inundación sistematizados por IMEPLAN, la aparente disminución de casos tiene que ver con falta de datos y no con una disminución de impactos.

Figura 20 Serie de tiempo de los recuentos de eventos de inundación en el AMG entre 1970 y 2018
Fuente: Base de datos Desinventar (barras verdes obscuro) y e IMEPLAN (barras verdes claro).



De forma general, la ocurrencia de desbordamiento de ríos e inundaciones se puede explicar tomando como base las características topográficas de la región, las cuales inducen la formación de ríos, la mayoría de los cuales han desaparecido y se han convertido en vialidades. En el AMG, los escurrimientos de la parte alta de las subcuencas bajan de forma natural (por ejemplo, en el Cerro del Colli) en diversas direcciones para drenar hacia el centro y de ahí al norte, hacia la Barranca de Huentitán. Los desbordamientos de los ríos llevaron a inundaciones, principalmente en las zonas bajas, en lo que hoy son los municipios de Guadalajara y Tlaquepaque (Figura 21)

Entre mediados del siglo XIX y mediados del siglo XX, se presentaron inundaciones, pero es a partir de los años sesenta y setenta del siglo XX que, con el crecimiento de la ciudad y una transformación de la región, el número de desastres de este tipo creció significativamente. En la década de los setenta la tasa de crecimiento demográfico llegó a casi 5% anual, lo que provocó un constante desarrollo de infraestructura para uso habitacional, industrial o de servicios (Gutiérrez et al., 2016) El crecimiento del AMG desde finales de la década de los ochenta hasta la fecha ha llevado a una transformación territorial que induce un mayor número de inundaciones.

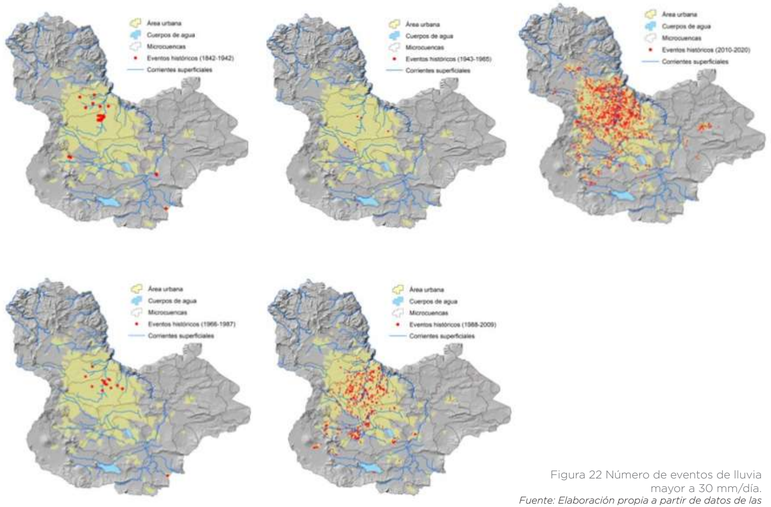
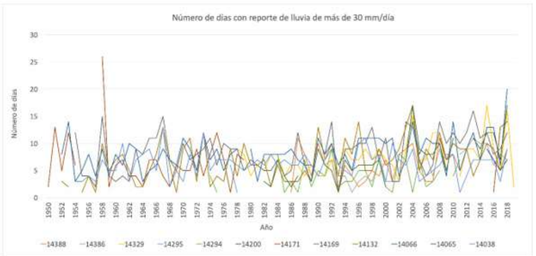


Figura 21 Eventos históricos de inundación en(puntos rojos) el AMG para cinco periodos[1]
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IMEPLAN.

Figura 22 Número de eventos de lluvia mayor a 30 mm/día.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

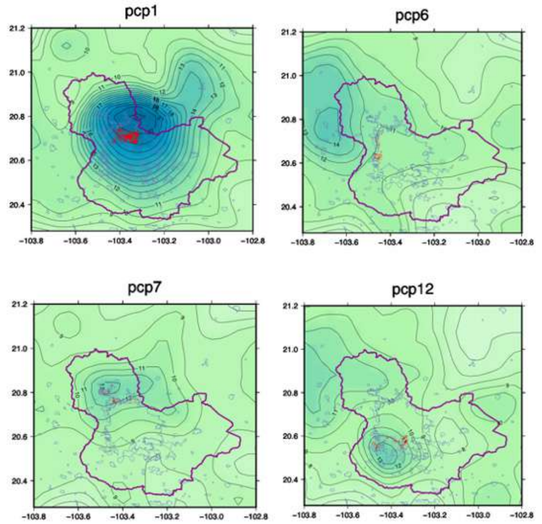
Las partes bajas del dominio son las más afectadas y, a pesar de los esfuerzos por contar con infraestructura suficiente de drenaje, el problema no se ha solucionado, por factores diversos asociados al crecimiento urbano y a los cambios de uso de suelo que conlleva, tales como el aumento de las escorrentías o la intensificación de los eventos de lluvia extrema. A partir del proceso de urbanización rápida en la década de los ochenta, se produce un incremento en el número de estos eventos que lleva a que hoy en día se tengan casi 10 por año en la mayor parte de la zona urbana del AMG. En otras palabras, el peligro casi se duplicó (Figura 22)



1 Los periodos corresponden a los siguientes años: a) 1842-1942; b) 1943-1965;c) 1966-1987; d) 1988-2009; e) 2010-2020.
Las líneas azules corresponden a los ríos definidos por la topografía. La zona ocre es referencia de la zona urbanizada actual y los puntos rojos son los impactos reportados.

A partir de los campos diarios de precipitación y los datos de inundaciones se establecen los patrones de lluvia diaria que representan el peligro para una zona en particular (Figura 23). Las regiones se relacionan con las microcuencas que componen el AMG, las cuales son esencialmente las microcuencas hidrológicas, siguiendo criterios de INEGI.

Figura 23 Ejemplo de patrones de precipitación diaria que representan una amenaza y riesgo de inundación para las zonas indicadas.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional y reportes de IMEPLAN.



Los resultados anteriores indican que, en ocasiones, precipitaciones diarias entre 20 y 30 mm/día (campos analizados en malla) resultan en inundaciones, principalmente en la zona urbanizada centro del AMG. Solo para inundaciones en las zonas periféricas los máximos de precipitación se encuentran desfasados de la zona de inundación. Las inundaciones en la zona centro se relacionan con las lluvias que ocurren en esa zona y que cada vez son más intensas. En las zonas periféricas "pesa" el efecto de escurrimiento desde las partes altas.

Este comportamiento se basa en dos elementos principales: la vulnerabilidad física natural y construida, en conjunción con el peligro de lluvia, lo cual genera la probabilidad de impactos intensos asociados a daños y pérdidas por inundación; ambos factores se explican en la siguiente sección.

Los indicadores de vulnerabilidad física corresponden a las características geográficas de la zona y los cambios que han experimentado en décadas recientes. Un modelo de lluvia-escurrimiento permite tomar en cuenta los factores físicos de vulnerabilidad como los siguientes:

i) la pendiente
ii) la forma de la cuenca
iii) la infraestructura hidráulica existente
iv) los cauces naturales y artificiales (corrientes urbanas) predominantes

En términos generales, se puede entender como vulnerabilidad física al conjunto de elementos asociados a las características físicas del territorio que contribuyen a incrementar los escurrimientos y la acumulación de agua. La orografía resulta ser un elemento que conduce los escurrimientos generados por las cuencas y que determina zonas con mayor potencial para acumular escurrimientos, ya sea por corrientes hidrológicas o por corrientes urbanas. La vulnerabilidad física al daño por inundaciones urbanas se construye a partir de las condiciones del territorio, como la pendiente de la cuenca, el tipo de suelo, su profundidad y su textura, lo que fija la tasa de infiltración y escurrimiento. La degradación de cuencas se ha convertido en un elemento que aumenta la vulnerabilidad ante precipitaciones intensas o prolongadas. Las lluvias de verano son típicamente intensas y de corta duración, en contraste con lluvias invernales que son menos intensas, pero de mayor duración. Una alteración fundamental del terreno es la urbanización, lo cual incide de manera importante en la conformación de cauces. El comportamiento del agua también es modificado por la construcción de canales, que mitigan los impactos, pero que también pueden originar inundaciones cuando son obstruidos por residuos sólidos y azolvamiento. En las siguientes dos secciones se describirá, en el proceso de determinación tanto del escurrimiento y acumulación, como de la capacidad de infiltración que agrava o mitiga el efecto de la lluvia intensa.

Componente escurrimiento y acumulación

Para identificar zonas potenciales de inundación, fue necesario contar con un Modelo Digital de Elevación (MDE) de alta resolución espacial (5 m) en (X, Y y Z), que permita delimitar adecuadamente las características del terreno. La conducción de los escurrimientos por pendiente, junto con la capacidad de infiltración de los suelos, son variables hidrológicas importantes para estimar potencial de inundación por escurrimientos. Si la pendiente es mayor a 3º, se establecen zonas de aportación, mientras que las zonas receptoras o de acumulación son aquellas de pendiente menor de 3°, en donde el movimiento de los escurrimientos se considera mínimo, es decir, una condición casi estática. En un modelo de escurrimiento inundación, incorporar un mayor número de clases (pendientes del terreno) puede ser utilizado

para establecer la velocidad de los escurrimientos. En todo caso, el modelo de riesgo desarrollado considera las condiciones límite para identificar los escurrimientos y las zonas potenciales de acumulación de flujos.

El establecimiento de niveles de pendiente resulta necesario para identificar las zonas de aportación y acumulación de escurrimientos. En general, es fácil identificar las zonas potencialmente inundables, por su ubicación geográfica dentro de la cuenca. En cuencas cerradas, el área con menor altitud (más baja) corresponde al área de acumulación de escurrimientos. Por otro lado, en cuencas abiertas, con salida hacia otra cuenca o a un cuerpo de agua, la acumulación de escurrimientos se relaciona con la conducción de los escurrimientos por la orografía, la cercanía a los cauces y la transformación hidrológica de la cuenca. Hay que señalar que ello no se refiere solamente a cuencas naturales; también hay que considerar de manera muy importante el encauzamiento de ríos y generación de "ríos urbanos" en cauces artificiales, los cuales son una parte fundamental del funcionamiento de las cuencas urbanas.

La topografía es un proxy robusto (de primer orden) que explica la variación espacial de las condiciones hidrológicas en una cuenca (Sørensen & Seibert, 2007) por ello es importante determinar como la topografía urbana condiciona los procesos de inundación. La magnitud relativa (en función de la escala) de estos procesos hidrológicos, es sensible a la posición topográfica, la distribución del suelo y la vegetación (Moore et al., 1993). Por ejemplo, el índice de humedad, desarrollado por Beven y Kirkby (1979) combina los efectos de la topología de la red de drenaje y las áreas de contribución específica para determinar la respuesta hidrológica de la cuenca a partir de una relación de almacenamiento-área de contribución. Gracias a la alta resolución espacial de los modelos digitales de elevación (MDE) LiDAR, corregidos con información de hidrología superficial de INEGI, es posible utilizar este índice en entornos urbanos; y a partir de la ubicación de puntos de inundación sistematizados por IMEPLAN, comparar con los valores altos de vulnerabilidad física del terreno. Como se mencionó anteriormente, el trabajo de modelación se basa primariamente en el uso del Modelo Digital de Elevación de INEGI. Sin embargo, esta información no se encuentra disponible para toda el Área Metropolitana de Guadalajara con una resolución homogénea; por lo cual, dicho modelo se utilizó en conjunto con imágenes del modelo digital de elevación derivado de las imágenes ASTER, una iniciativa conjunta de la NASA y del Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) , un producto con resolución de 30 m en el ecuador, para cubrir la parte norte del AMG, la cual no está incluida en la información disponible del MDE de INEGI utilizado. Con ambos insumos se construyó un modelo hidrológico, caracterizando la respuesta de la cuenca hidrográfica y de los caudales de escorrentía ante eventos meteorológicos de lluvia intensa en una cuenca. Para esta modelación se utiliza Global Mapper.

Para determinar si las ubicaciones de las inundaciones urbanas están vinculadas a la topografía, se tomó un enfoque parsimonioso (es decir, un enfoque de

Figura 24 Intensidad de las pendientes en el AMG
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de LIDAR-INEGI

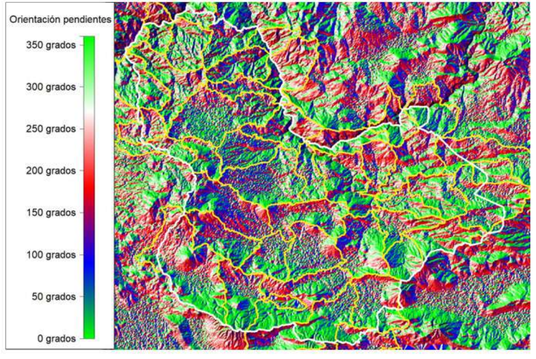
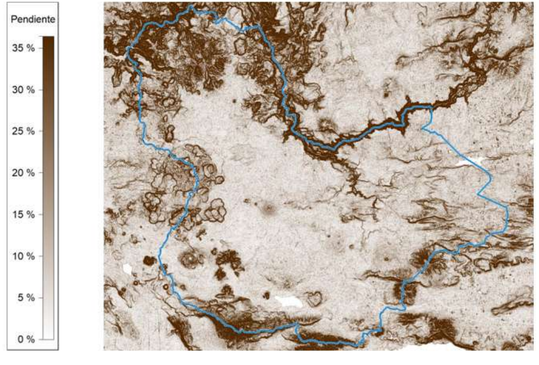


Figura 25 Orientación de las pendientes del AMG
Fuente: elaboración propia a partir de datos de LIDAR-INEGI

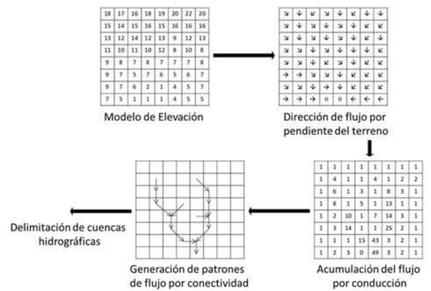


modelado que está restringido a los datos disponibles) y distribuido (malla regular de datos) espacialmente para construir un índice topográfico a partir de las pendientes, las direcciones y acumulaciones de flujo bajo estimaciones teóricas.

De un modelo de escurrimientos, generado a partir de del MDE, se obtiene la dirección de flujo (Figura 26). El resultado permite generar una malla con valores de magnitud que sirven para generar zonas de acumulación de flujo, considerando la aportación realizada por cada píxel, de valor más alto hacia los de menor valor, y con ello la distribución de escurrimientos superficiales (incluyendo aquellos configurados por el medio construido). Lo anterior lleva a construir una red hidrológica que permite definir cuencas, de su parte más alta hasta la salida en la parte más baja, donde se acumulan los escurrimientos. La malla de valores de acumulación de flujo está contenida en un archivo con celdas de 5 x 5 m, con 32 bits de profundidad (punto flotante), que es equivalente a un modelo digital de elevación en el que las elevaciones corresponden a la magnitud del flujo acumulado; esto es, a la cantidad de celdas que aportan flujo a las celdas receptoras en un punto dado.

Los valores resultantes se normalizan utilizando una función logarítmica y son ajustados a una escala continua en el intervalo de 0 a 5. A partir de ello, el ráster se re-clasifica utilizando una escala con 5 clases utilizando cortes en los valores 0; 1.8; 2.4; 3; y 3.6, que corresponden a los niveles estimados de vulnerabilidad del terreno, y que representan la magnitud en acumulación de flujo.

Figura 26 Diagrama de flujo que describe la delimitación de cuecas, a partir de la red de drenaje y acumulación de flujo obtenido de un modelo de elevación del terreno.
Fuente: Adaptado de Kuhn & Zu (2008, p. 50)



Cabe señalar que, como ya se ha mencionado, con los modelos LiDAR es posible definir las características orográficas de una región, y con ello determinar los detalles de potencial de acumulación en superficie de agua de lluvia, para obtener el modelo de lluvia escurrimiento. La información sobre pendientes del AMG, necesaria para caracterizar escurrimientos y zonas de acumulación de agua, se obtiene de las bases de datos de INEGI, que tiene una resolución de 5 m en la vertical, lo cual da una visión general de la dinámica hidrológica metropolitana, adecuada para visualizar los procesos intermunicipales en cuencas, subcuencas y microcuencas; sin embargo, no es adecuado para identificar determinaciones muy detalladas (por ejemplo, encharcamientos en puntos bajos artificiales, como deprimidos vehiculares), o que responden a dinámicas muy locales (por ejemplo, el daño en una tubería de drenaje), las cuales deberán ser elaboradas en el contexto de diagnósticos de riesgo municipales.

Componente permeabilidad e infiltración

En complemento al modelo de acumulación, para evaluar la vulnerabilidad física de las cuencas ante lluvias intensas, en el Atlas de Riesgos se identifica la extensión de cobertura natural y no natural del suelo en el AMG. Los cambios de uso de suelo en las subcuencas tienen un papel importante en el riesgo de inundación. A través de analizar estos elementos, se puede determinar la relación entre el tipo y uso de suelo, con sus características edafológicas, obteniéndose un valor conocido como número de curva. Este valor adimensional es ampliamente utilizado en el campo de la hidrológica para estimar los escurrimientos considerando diferentes intensidades de lluvia (Ansari et al., 2020).

La presencia de vegetación, su densidad, estructura y altura son determinantes en el proceso de infiltración (o de escorrentía superficial); es decir de "un sistema natural de drenaje". Por ejemplo, la velocidad de infiltración en suelos forestales es superior a la que presentan los suelos agrícolas, y es superior a la de los suelos urbanos. La pendiente aumenta el coeficiente de escorrentía, pues una misma micro-topografía embalsa más agua en terrenos tendidos que en terrenos con pendientes. Al aumentar la escorrentía superficial, crece la erosión hídrica, que lima el micro-relieve del terreno, alisándolo y reduciendo las micro-depresiones. Ambos motivos explican la dependencia del coeficiente de escorrentía (C) de la pendiente (Tabla 7 Curvas numéricas para uso agrícola, áreas rurales y urbanas). La urbanización lleva a que el territorio tenga los mayores índices de escurrimiento, trátese de lluvias cortas o largas, dada la escasa infiltración en el área urbanizada.

En las zonas de calles con empedrados o zonas donde se mantiene la cubierta vegetal se dan índices de escurrimiento menores, lo que significa que una parte de la lluvia se infiltra y no contribuye a crear inundaciones aguas abajo. Es claro, por tanto, que los cambios uso de suelo que transforman cobertura de vegetación a superficie asfaltada, y, por lo tanto, impermeable aumentan significativamente los escurrimientos (WSDOT, 2019 Appendix 4B).

Tipo de cubierta y condición hidrológica	CN / HSG			
	A	B	C	D
Números de Curva para condiciones previas a la urbanización*				
Pastos, pastizales o praderas (de pastoreo):				
Estado regular (cobertura del suelo de 50% a 75% y con pastoreo no intensivo)	49	69	79	84
Buen estado (cobertura del suelo > 75% y con pastoreo ligero u ocasional)	39	61	74	80
Bosques:				
Estado regular (con actividades pecuarias que no usan fuego y con residuos forestales en el suelo)	36	60	73	79
Buen estado (los bosques están protegidos del pastoreo y la hojarasca cubren adecuadamente el suelo)	30	55	70	77
Números de Curva para condiciones posteriores a la urbanización				
Espacios abiertos (céspedes, parques, campos de golf, cementerios, jardines, etc.)				
Estado regular (cubierta vegetal de 50% a 75% del área)	77	85	90	92
Buen estado (cubierta vegetal > 75% del área)	68	80	86	90
Áreas impermeables:				
Cuerpos de agua abiertos: lagos, humedales, estanques, etc.	100	100	100	100
Estacionamientos pavimentados, tejados, caminos de acceso, etc. (excluyendo el derecho de paso)	98	98	98	98
Adoquines porosos y hormigón permeable (el 85% es impermeable y el 15% es césped)**:**				
Césped en condición regular (CNs media ponderada)	95	96	97	97
Césped en buena condición (CNs media ponderada)	94	95	96	97
Asfalto	98	98	98	98
Grava (incluido el derecho de paso)	76	85	89	91
Suelo arcilloso (incluido el derecho de paso)	72	82	87	89
Pastos, pastizales o praderas en pastoreo intensivo:				
Mal estado (cobertura vegetal <50% o con pastoreo intensivo y sin mantillo)	68	79	86	89
Estado regular (cobertura vegetal de 50% al 75% y con pastoreo no intensivo)	49	69	79	84
Buen estado (cobertura vegetal > 75% y con pastoreo ligero u ocasional)	39	61	74	80
Bosques:				
Mal estado (la hojarasca del bosque, los árboles pequeños y la maleza son destruidos por el pastoreo intenso o la quema regular)	45	66	77	83
Estado regular (bosques pastoreados, pero no quemados y poca hojarasca cubre el suelo)	36	60	73	79
Bueno (los bosques están protegidos del pastoreo, y la hojarasca y maleza cubren adecuadamente el suelo)	30	55	70	77

Tabla 7 Curvas numéricas para uso agrícola, áreas rurales y urbanas

** No se incluyen los Números de Curva (NC) de zonas residenciales porque en teoría el escurrimiento que se genera en esas áreas se dirige a las calles o sistemas pluviales.*

† Los CN compuestos para espacios abiertos se construyeron a partir de los valores de CN reportados en el Manual T-55 de SCS (1986).

Fuente: WSDOT (2019, p. 4B-4)

Esto significa que, si bien en zonas agrícolas o naturales las escorrentías tenderán a acumular menos flujos que los estimados, dicha condición límite puede alcanzarse en esas mismas zonas si el suelo es sellado por el uso de suelo urbano. Factores atenuantes a esta condición desde el punto de vista de la planeación serán el uso de pavimentos permeables, mantenimiento de áreas verdes abundantes y obras de control de velocidad y reorientación de las escorrentías.

El cambio de cobertura de suelos forestales o con vegetación primaria a coberturas de agricultura y suelo urbano, provocan una alteración hidrológica, disminuyendo la capacidad de infiltración. Para establecer en qué medida, la sustitución de suelos naturales tiene impacto en los flujos de lluvias, se estimó la capacidad de escurrimiento, considerando el método del número de curva, desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) (NRCS, 1986). Este procedimiento permitió evaluar la sensibilidad ante diferentes intensidades de lluvia.

El número de curva es un parámetro hidrológico del método SCS-CN. El método se emplea para estimar el volumen de escurrimientos en cuencas no instrumentadas con estaciones de aforo. SCS-CN utiliza parámetros físicos robustos (suelos, vegetación y pendientes) que lo hacen útil para simulaciones hidrológicas de corta y larga duración, por ello nos podemos aproximar a problemas ambientales como las inundaciones (pluviales y fluviales). El valor de la curva numérica está en función de la permeabilidad del suelo, la cobertura y tipo de vegetación, y la condición de humedad antecedente (NRCS, 1986). La eficacia del método está suficientemente documentada para pequeñas cuencas agrícolas y urbanas (Ansari et al., 2020).

Para este Atlas, los datos de las propiedades del suelo se obtuvieron de la serie de Edafología del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO)[2] y se agruparon con base a su textura y sus propiedades de infiltración (Tabla 8).

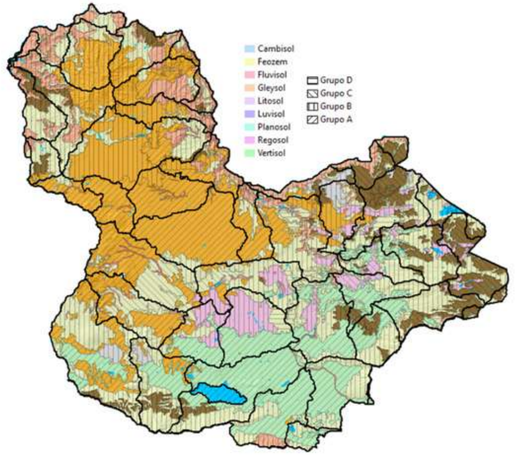
Grupo de suelos	Condición hidrológica del suelo
A (permeable)	Suelo con bajo potencial de escurrimiento, incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica: 8-12 mm/h
B (medianamente permeable)	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento. Son suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Este grupo tiene una infiltración mayor que el promedio cuando húmedo. Ejemplos: suelos migajones, arenosos ligeros y migajones limosos. Infiltración básica 4-8 mm/h.
C (cuasi impermeables)	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Ejemplo: suelos migajones arcillosos. Infiltración básica 1-4 mm/h.
D (impermeables)	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Por ejemplo, suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menor 1 mm/hr.

Tabla 8 Grupos hidrológicos de suelo.
Fuente: CONABIO, NRCS, 1986; WSDOT, 2019.

2 Disponible en el sitio: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/eda251mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

Las cuencas urbanas del AMG se desarrollaron sobre suelos con bajo potencial de escurrimiento. Sin embargo, debido al proceso de urbanización (impermeabilización) se invirtió este proceso en donde los escurrimientos ya no son drenados por procesos naturales sino por colectores pluviales y drenaje doméstico (Figura 27).

Figura 27 Agrupación de los tipos de suelo con base en su textura y propiedades de infiltración.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONABIO.



La condición hidrológica de la vegetación (y usos de suelo) se define a partir del tipo de prácticas de manejo (agrícolas, pecuarias y forestales) y el porcentaje de cobertura que proveen al suelo (Tabla 9). Los datos (serie de tiempo) se obtuvieron de la Agencia Espacial Europea (ESA) con resolución espacial de 300 m, 100 m y 10 m, para 1992 a 2018, 2015 a 2018 y 2019, respectivamente. Estos datos, agrupados por su condición hidrológica, crean la componente dinámica para entender el cambio en los escurrimientos superficiales (Tabla 9).

Tabla 9 Condición hidrológica de la vegetación y usos del suelo[3]
Fuente: WSDOT, 2019.

Uso del suelo	Condición hidrológica
Pastos naturales	Los pastos en malas condiciones (<50% de cobertura) son dispersos, fuertemente pastoreados con menos que la mitad del área total con cobertura vegetal. Pastos en condiciones regulares (50 a 75% de cobertura), moderadamente pastoreados con la mitad o las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal. Pastos en buenas condiciones (> 75% de cobertura), ligeramente pastoreados y con más de las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal.
Bosques	Los bosques en malas condiciones (<50% de cobertura) tienen árboles dispersos, fuertemente pastoreados y sin crecimiento rastrero. Bosques en condiciones regulares (50 a 75% de cobertura) son moderadamente pastoreadas y con crecimiento rastrero incipiente. Bosques en buenas condiciones (> 75% de cobertura) están densamente pobladas y sin pastorear.
Pastizales cultivados	Los pastizales cultivados en buenas condiciones (> 75% de cobertura), generalmente están mezcladas con leguminosas y sujetas a un cuidadoso sistema de manejo de pastoreo, en malas condiciones (<50% de cobertura) se consideran áreas de pastizal son prácticas de sobrepastoreo.
Cultivos	En las áreas cultivadas, buenas condiciones hidrológicas se refieren a cultivos con buen manejo (BMP, e.g. rotación de cultivos, cultivos de escarda, cultivos densos). Y las condiciones hidrológicas malas se refieren a prácticas de monocultivo y deficientes prácticas de manejo (e.g. surcos en dirección a la pendiente).

3 En el caso del uso urbano-construido la premisa es que las áreas impermeables están conectadas directamente al sistema de drenaje, las áreas impermeables tienen un CN de 98 y las áreas permeables se consideran equivalentes a espacios abiertos en buenas condiciones hidrológicas.

A partir de este trabajo, se obtienen clasificaciones discretas de permeabilidad: 0.8 (buena permeabilidad, logra infiltrar una parte significativa), 0.85 (media), 0.9 (baja), y 0.95 (nula, no logra infiltrar casi nada). A mayor permeabilidad, menor valor de factor. No existe un valor 1, ni siquiera en zonas urbanas consolidadas, ya que las áreas verdes como camellones y banquetas grandes tienen un efecto mínimo, pero perceptible a nivel regional, lo cual da cuenta de su relevancia.

Otro elemento clave para mitigar estos escurrimientos es el drenaje hidráulico, sea superficial o subterráneo; sin embargo, no existe información suficiente para su modelado preciso a esta escala de análisis. En todo caso, los modelos de riesgo desarrollados muestran la situación en el caso extremo de que el drenaje opere deficientemente. El escenario de riesgo estimado sugiere cuáles son los sitios en los que el drenaje (artificial) no opera correctamente cuando se cruza con los registros históricos de inundaciones.

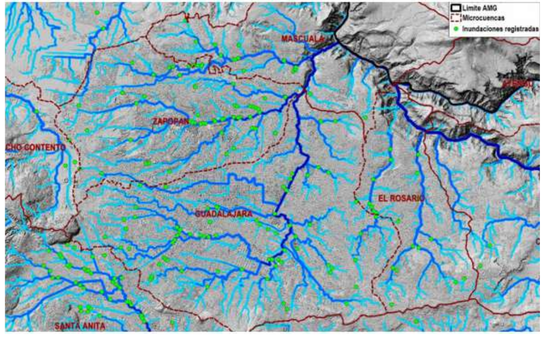
En el AMG, desde mediados del siglo XX se ha construido un sistema de drenaje para reducir el riesgo de inundaciones, el cual resulta insuficiente hoy en día. El drenaje coincide con las vialidades más importantes de la ciudad y fue construido bajo los parámetros de los años setenta y ochenta, con estimaciones de caudales correspondientes a intensidades de lluvia menores a los que se tienen en la actualidad. El drenaje es combinado en su mayor parte, es decir, conduce agua residual y agua de las lluvias, lo cual hace que su capacidad se vea rebasada con frecuencia en la temporada de lluvias, cuando las precipitaciones exceden los 30 mm/hr.

De acuerdo con información de CONAGUA (2015, p. 59), el sistema de alcantarillado del AMG es de tipo mixto, y conduce aguas negras con un porcentaje de aguas pluviales. Ello sigue los estándares de la mayor parte de los diseños de los años sesenta y setenta, no sólo del AMG, sino de muchas ciudades de México. El drenaje y los colectores de la zona funcionan para intensidad de lluvia de alrededor de 50 mm/h y un coeficiente máximo de escurrimiento de 0.5, lo que implica que el 50% de la lluvia se infiltra o evapora. Sin embargo, dado el alto nivel de urbanización en la zona, no existe una capacidad de infiltración que permita que el 50% de la lluvia se infiltre o evapore. Conforme las lluvias se intensifican, el sistema de drenaje queda rebasado, pues su planeación original no consideró el aumento en los valores de lluvias extremas del periodo más recientes en que los valores de P95 de la lluvia diaria están entre 30 y 40 mm/día (J. Maldonado et al., 2017).

Bajo esta modelación de los factores escurrimiento/acumulación, infiltración y drenado, el modelo identifica los escurrimientos intraurbanos por proceso de conducción por pendiente, que hace fluir el agua de zonas más altas hacia rutas de escurrimiento probables. Este modelo configura una zonificación que simula la severidad con valores máximos (envolventes). Utilizando la información de la vulnerabilidad física, se puede analizar la zona centro de la urbanización del AMG y comparar con los sitios donde en años recientes se reporta el mayor número de afectaciones. Es claro que dichas zonas dan una idea de regiones susceptibles de ser afectadas, pero su distribución permite identificar las características físicas que las hacen vulnerables

La zona convexa del centro de la urbanización del AMG se convierte en una de las principales áreas de acumulación del agua precipitada en las tormentas de verano. Un mapeo de los puntos de inundación en la microcuenca de San Juan de Dios muestra con claridad que esta zona es mayormente afectada por encharcamientos e inundaciones, debido a su condición topográfica (Figura 28).

Figura 28 Clúster de puntos de inundación a lo largo de la subcuenca San Juan de Dios, en el centro del AMG
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de inundación e IMEPLAN (Mapa Único de Inundaciones)



Algunas de las corrientes naturales, al ser incorporadas al área urbana, se han convertido en calles y avenidas. Éstas hacen las veces de "ríos urbanos" de una forma un tanto distinta a la que se describió en párrafos anteriores, la cual puede o no seguir el trazo urbano, dependiendo de la configuración del terreno. En el caso de los cauces naturales incorporados, pueden registrar en ciertos puntos algunos procesos de azolvamiento o disminución de la velocidad en la que escurre el agua (por ejemplo, en los meandros o en las zonas con menor pendiente), lo cual puede acumular agua y resultar en inundación. Así sucede con frecuencia en algunas zonas de la subcuenca del Río Atemajac y en zonas, como Tlaquepaque, en la cuenca Santa Anita, donde los impactos observados de las inundaciones están sobre el cauce del río que antes existía; o bien, en la acumulación del escurrimiento que no logra llegar a lo que era el río, debido a barreras urbanas (Figura 29)

Figura 29 Clúster de puntos de inundación en la Cuenca Santa Anita y microcuenca Las Pintas, en el centro del AMG.
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de inundación, e IMEPLAN.

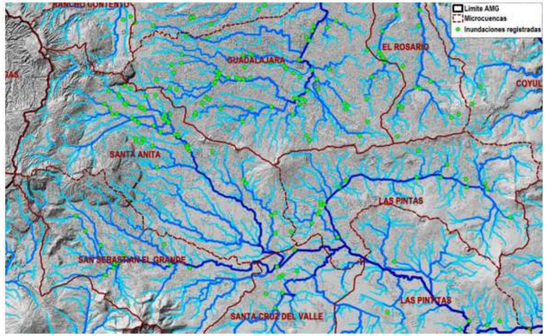
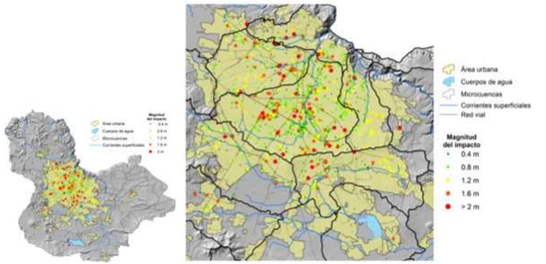


Figura 30 Distribución de inundaciones de acuerdo con la profundidad del tirante y en relación con avenidas principales[4]
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI e IMEPLAN.



4 Las líneas negras denotan las subcuencas

La distribución de los impactos históricos recientes muestra mayor concentración en la zona centro-poniente de la ciudad (Figura 30). Las inundaciones son más dispersas hacia la parte oriente y norte. Considerando la altura alcanzada por la lámina de agua (altura del tirante) en los registros históricos, se tiene que un 65% de los encharcamientos-inundaciones está representado por eventos con alturas de hasta 50 centímetros. El 35% restante de los eventos tiene alturas menores a 2.0 metros, que reflejan las inundaciones en bajo puentes o pasos a desnivel. La distribución de los impactos con respecto de las vías de comunicación mostró que 41% de estos se ubican en las vías principales, mientras que el 59% se localizó en vialidades secundarias principalmente de la zona oriente de la ciudad.

No obstante lo anterior, los escurrimientos no siguen completamente el recorrido de las calles, puesto que éstas no tienen la configuración de un canal, sino que se desvían hacia otras calles dependiendo de las pendientes locales. En consecuencia, la gran mayoría de las inundaciones se encuentran dentro de la red de escurrimientos identificada por el modelo, la cual constituye el factor determinante para entender la dinámica de las inundaciones e identificar los sitios mayor riesgo, la cual puede o no coincidir con avenidas principales. Incluso, puede observarse que la ubicación de los puntos de inundaciones registradas muestra una muy alta correlación con la de los escurrimientos identificados, y no con avenidas o calles específicas.

Las zonas más propensas a inundación bajo lluvias intensas son aquellas en donde se presenta un vado pronunciado (zona de geometría convexa), en donde se presenten dos flujos y se encuentren perpendiculares (por ejemplo, en donde hay cruces de avenidas), y donde se ubiquen objetos o infraestructura que pueda bloquear (azolvamiento, muros u otro tipo de barreras). Por ello, el diagnóstico de las zonas vulnerables, a partir de elementos topográficos, propensas a inundaciones puede también ser clave para vislumbrar soluciones a este problema.

Cabe enfatizar que, para que ocurran inundaciones, además de la presencia de lluvias y de la identificación de corrientes superficiales en las cuales se concentra el agua, juega un papel fundamental la configuración local del terreno. Es decir, que zonas de alta acumulación de flujo que tienen pendiente pueden sufrir inundaciones dinámicas de corta duración; y si el drenaje tiene la capacidad suficiente, esto no ocurrirá. Por otro lado, sitios que aparecen en la categoría de bajo o muy bajo riesgo pueden inundarse si se conforman cuencas locales muy pequeñas (tramos de calles, estacionamientos, pasos deprimidos), aún si se encuentran fuera de las zonas de mayor acumulación de flujo. En una cuenca endorreica local, basta con que se acumulen los escurrimientos de algunas calles aledañas para que ocurra una inundación estática significativa. Sin embargo, este nivel de análisis corresponde a los Atlas de Riesgo Municipales y a estudios locales de ingeniería.

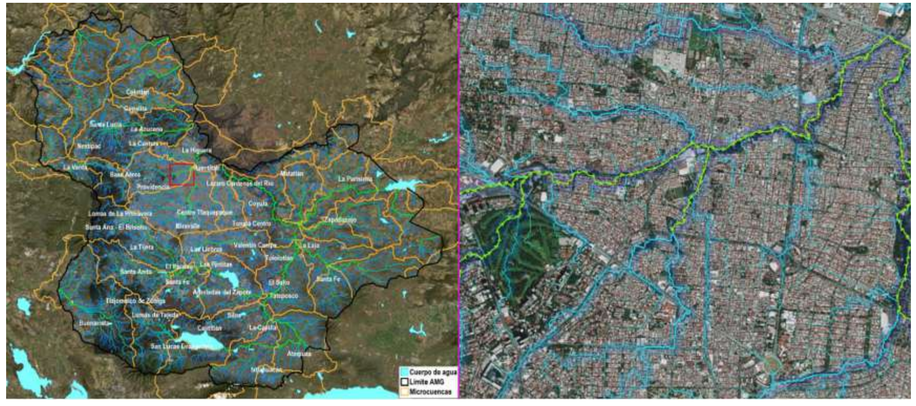


Figura 31
Secuencia que muestra 1) cauces de ríos de acuerdo con el MDE 2) ejemplo de un río convertido en avenida del dominio indicado en cuadro rojo, que se convierte en "río urbano".
Fuente: Elaboración propia, a partir del Modelo Digital de Elevación de 5 m de INEGI, imágenes ASTER y Google Earth

El modelo incorpora de forma aproximada el drenaje modificando los niveles de infiltración (coeficiente de escurrimiento) urbana. Se siguió para ello la distribución y capacidad promedio de la red de drenaje. Es claro que este factor induce incertidumbre, pues se desconoce con precisión la condición actual de las alcantarillas, bocas de tormenta y del drenaje mismo, cuya capacidad varía de tramo en tramo. La ventaja de este esquema es que eventualmente se puede comparar, al menos a nivel del modelo, el efecto de recuperar servicios ambientales de regulación hídrica contra nuevas obras de ingeniería, como son los túneles emisores. Adicionalmente, las pruebas de sensibilidad de una obra se pueden probar en un municipio que no necesariamente es el que experimenta las afectaciones de inundación.

Ahora bien, cuando el índice de vulnerabilidad física se combina con el índice de peligro, por ejemplo, el P95 de precipitación diaria, bajo los parámetros y procedimientos descritos en la sección Precipitación se puede estimar la probabilidad de inundación. Es decir, la estimación de la probabilidad de inundaciones ante lluvias intensas capaces de generar daños y pérdidas, muestra la aplicación de la metodología en la que se caracteriza el peligro, ya sea con el percentil 95 (5% de probabilidad de que ocurran lluvias de o por encima de un valor dado), o con la probabilidad de lluvias por encima de un valor fijo (por ejemplo, probabilidad PCP > 30 mm/día). Para realizar este cruce, combinamos las capas resultantes del análisis de vulnerabilidad física -incluyendo la permeabilidad-, y la de peligro por lluvias, a partir de una suma ponderada, en la cual la vulnerabilidad física tiene el 80% del peso total, mientras que el peligro por lluvia se considera un modulador de la gravedad de los impactos, con el 20%. De esta manera, es claramente visible en el modelo de riesgo el efecto combinado de ambos factores, además de coincidir en gran medida con los registros de impactos pasados, que validan la capacidad predictiva de éste.

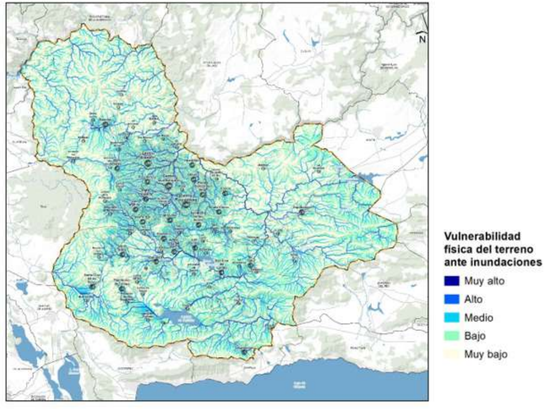


Figura 32 Índice de vulnerabilidad física (regional) por inundaciones en el AMG.
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, el modelo de inundación incluye una verificación de la dinámica hidrológica en zonas específicas de pendiente muy baja, particularmente en ciertas áreas del cauce del río Santiago, con la información de cuerpos de agua de INEGI escala 1:50,000[5]. Esto es relevante, ya que, por la dinámica hidrológica del río en zonas de escasa pendiente de esta zona y la resolución de los datos utilizados en el modelo, la zonificación de ciertas áreas no corresponde exactamente con un cauce delimitado. En todo caso, cabe aclarar que resolución aquí utilizada es adecuada para el análisis regional metropolitano propio de este producto, aunque puede tener limitaciones para la identificación de dinámicas de sitios específicos que responden a condiciones distintas a las consideradas en los parámetros básicos de éste (pendiente e infiltración). El estudio de estos eventos específicos corresponde a Atlas municipales, a partir de fuentes de datos de mayor resolución.

Ondas de calor y salud en el AMG

Confort humano e Isla de Calor

Uno de los principales peligros para la salud humana es el calor excesivo. Si bien las ondas de calor no afectan de manera tan súbita como otros fenómenos como los huracanes o las inundaciones repentinas, pueden afectar a la población en diversas formas, que no son evidentes de forma inmediata (OPS, 2019). En general, la idea más común sobre riesgos en salud ante ondas de calor se asocia con golpe de calor. Los eventos históricos de miles de muertos en Estados Unidos o en Europa en relación con las ondas de calor ha puesto el interés de mucha gente en los grupos que se consideran más vulnerables como son niños y ancianos (Hales et al., 2014). Sin embargo, el calor en México afecta a los que más se exponen y por ello las mayores cifras de afectados por el calor corresponden a hombres trabajadores entre los 25 y los 45 años, de acuerdo con cifras de COFEPRIS (ver Anexo Gráfico 1 y 2). Sin embargo, existe otras manifestaciones del calor que repercuten en la salud de la población, la cual está relacionada con enfermedades gastrointestinales, principalmente cuando se descomponen alimentos o el acceso al agua limpia es limitado.

De acuerdo con el CENAPRED (Jiménez, et al., 2016), una onda calor, se define como el periodo de más de tres días consecutivos con temperaturas por arriba del promedio, esto aplica tanto para las temperaturas máximas (las que se registran entre las 14:00 y 16:00 horas) como para las mínimas (entre las 05:00 y 07:00 horas) Sin embargo, esta definición es rígida para analizar impactos en salud, pues en muchos casos, un día de intenso calor, con temperaturas máximas por encima de 40ºC puede afectar a personas vulnerables. Los periodos de calor severo pueden ocasionar muertes por hipertermia, conocida como "golpe de calor". Adultos mayores, niños muy pequeños, personas con enfermedades preexistentes y personas obesas son la población de más alto riesgo ante las enfermedades derivadas de una ola de calor.

5 Datos disponibles en el sitio https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598435

La temperatura o índice de confort es una combinación de factores meteorológicos que determinan rangos en que una persona presenta el equilibrio adecuado entre el metabolismo del cuerpo y la actividad desarrollada en condiciones ambientales interiores o exteriores, de manera, que sienta bienestar. En caso de que se presente un golpe de calor, éste representa un fallo multiorgánico, caracterizado por "hipertermia y disfunción del sistema nervioso central", así como otras complicaciones severas como alucinaciones, distrés respiratorio, insuficiencia hepática, alteraciones de conducta y convulsiones (Fleta et al., 2013).

El índice de temperatura-humedad, es la base de un índice de confort (IC) utilizado para indicar la falta de confort causada por los efectos combinados de la temperatura y la humedad del aire. El cálculo del índice de calor es el resultado de numerosos análisis de regresión realizados por el Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos en 1990 en donde se analizaban los impactos de diversas condiciones de temperatura y humedad relativa en la salud de las personas. La fórmula que se utiliza es:

HI = -42.379 + 2.04901523*T + 10.14333127*RH - .22475541*T*RH - .00683783*T*T+.05481717*RH*RH+.00122874*T*T*RH+.00085282*T*RH*RH - .00000199*T*T*RH*RH

donde T es la temperatura en grados Fahrenheit, RH es la Humedad Relativa en %, considerando una persona de 75 kg de pesos, con ropa ligera de algodón, viento suave de menos de 5 m/s en condiciones de sombra. Estas suposiciones podrían no representar a la gente en exposición la radiación solar o realizando ejercicio. En todo caso, esta temperatura de confort da una idea de los umbrales que se convierten en peligro para personas vulnerables. El índice de calor o de confort se representa por lo general en una carta de humedad contra temperatura con colores que reflejan el peligro y las potenciales consecuencias en gente vulnerable (Figura 33).

Cuando, por efecto de la urbanización, existe un aumento en la radiación que reciben las diferentes superficies de la ciudad, existe un mayor calentamiento de la atmósfera por el calentamiento de los materiales urbanos, así como una menor evapotranspiración de la vegetación, la cual, si es escasa, no puede regular el nivel de humedad y temperatura crecientes. Esto implica una transformación local del clima, a la cual se le conoce como Isla de Calor Urbana (ICU) (Blake et al., 2011; Jáuregui, 2005). En el caso del AMG, el efecto de ICU ha incrementado las temperaturas y la humedad relativa, por lo que el índice de calor ha aumentado ligeramente en algunas zonas de expansión de la urbanización. El percentil 95% alcanza valores alrededor de 35ºC en algunas partes del AMG; ello implica un rango de precaución extrema, principalmente hacia Zapopan y Zapotlanejo. La probabilidad del 5% del P95 de Índice de Confort o de Calor significa que el cinco por ciento de los días de un año las temperaturas pueden superar ese valor crítico. La mayor parte de estos valores extremos de temperatura máxima ocurren entre marzo, abril y mayo. Por el hecho de presentarse en estos meses, los episodios de IC > 35ºC son

episodios de temperaturas máximas elevadas tienden a tener una humedad relativa baja, lo que genera que las condiciones sean menos peligrosas.

Figura 33. Tabla de valores de sensación térmica por calor (Índice de calor)
Fuente: National Weather Service, National Oceanic Atmospheric Administration[6]

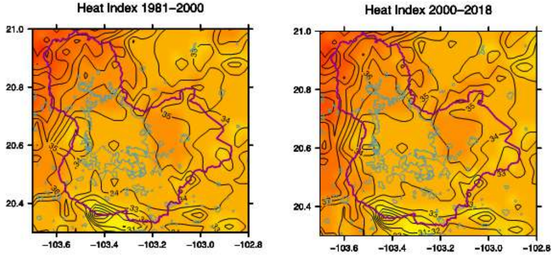
TABLA DE VALORES DE SENSACIÓN TÉRMICA POR CALOR (HEAT INDEX)

HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA DEL AIRE EN GRADOS CELSIUS (C)																	
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
45	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	61	64
50	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58	62		
55	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59	62			
60	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59	63				
65	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	59	63					
70	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58	63						
75	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58	62							
80	30	32	35	38	41	44	48	52	57	61								
85	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65								
90	31	34	37	41	45	49	54	58	64									
95	31	35	38	42	47	51	57	62										
100	32	36	40	44	49	54	60											

Precaución	27 a 32	Posible fatiga por exposición prolongada o actividad física.
Precaución extrema	33 a 40	Insolación, golpe de calor, calambres. Posibles por exposición prolongada o actividad física.
Peligro	41 a 53	Insolación, golpe de calor, calambres. Muy posibles por exposición prolongada o actividad física.
Peligro extremo	54 o más	Golpe de calor, insolación inminente.

Permanecer bajo el sol puede incrementar los valores del índice de calor en 8 C.
Cuando la temperatura es menor que 32 C (temperatura de la piel), el viento disminuye la sensación térmica. Si es mayor de 32 C, la aumenta.

Figura 34 Índice de calor sobre el AMG en dos periodos: 1981-2000 y 2000-2018.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional.



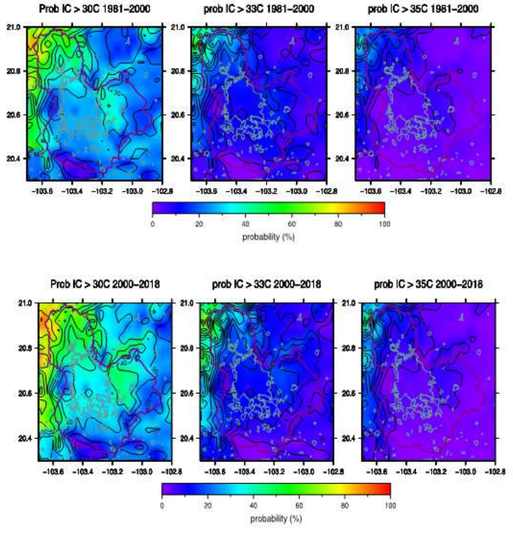
6 La tabla e información asociada a al Índice de Calor se puede consultar en el sitio: https://www.weather.gov/safety/heat-index

La probabilidad de que se alcancen valores extremos del Índice de Confort (IC) por encima de ciertos umbrales críticos en años recientes ha sido calculada para establecer zonas en donde el calor representa un mayor peligro. La comparación de dos periodos, 1981-2000 y 2000-2018 muestra que las probabilidades de tener un IC por encima de 30ºC se han incrementado significativamente en toda la zona urbanizada del AMG. Hace un par de décadas era del orden de 30%, mientras que en años recientes alcanza el 40%. Las probabilidades de IC > 33ºC también han aumentado, pero en una menor proporción, ya que se observa que sólo en la parte oriente de la zona urbanizada del AMG, la probabilidad de 15% ocupa una mayor extensión. El cambio en las probabilidades de IC > 35ºC son casi imperceptibles.

La actual probabilidad por encima de IC > 30ºC corresponde a condición de precaución, siendo mayor hacia Zapopan y Zapotlanejo donde llega a ser mayor del 40%. Bajo dicha situación es posible que se experimente fatiga por exposición prolongada o por realizar actividad física. Si se mide la probabilidad de IC > 33ºC, la probabilidad se reduce en general a menos del 15% para la mayor parte del AMG. Valores de IC > 33ºC inician el límite donde la precaución debe ser extrema, pues podría presentarse insolación, calambres, golpe de calor si hay una exposición prolongada o se realiza actividad física. Finalmente, se estimó la probabilidad de IC > 35ºC y se reduce a menos del 5%. El valor de IC > 35ºC incluye casos que llegan a presentarse días con IC cercanos a 40ºC con lo que los efectos de insolación, golpe de calor o calambres se hacen más probables. El AMG está por lo general relativamente distante de la condición que se define como de peligro y con prácticamente nulas posibilidades de llegar a la condición de peligro extremo en este sentido.

Es necesario enfatizar que el IC hace referencia a la condición de peligro, por lo que para establecer niveles de riesgo que materialicen los impactos a los que se hace referencia en la Tabla de la NOAA, se tiene que determinar cuál es la condición de salud de las personas, su edad, su actividad física y su exposición (Figura 35). Ese es el tema que se tratará en el siguiente apartado.

Figura 35 Probabilidad de índice de confort para tres rangos distintos.
Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional



Periodos de calor y enfermedades diarreicas agudas (EDAs)

En varias regiones de México, los impactos de las ondas de calor tienen como consecuencia episodios en que se incrementan las Enfermedades Diarreicas Agudas, con deshidratación. La deshidratación corresponde a una pérdida excesiva de líquidos corporales y sales a través del tracto digestivo (vómito y/o diarrea). Las infecciones gastrointestinales que producen diarrea y vómito se relacionan con consumo de alimentos en descomposición o preparados con deficientes medidas higiénicas y/o consumo de agua contaminada. De acuerdo con la Secretaría de Salud, los casos de Enfermedades Diarreicas Agudas ocurren en la temporada de calor, entre abril y septiembre (Figura 36).

Figura 36 Temporada de calor y EDAS.
Fuente: Secretaría de Salud en Velázquez (2006)



Las diarreas son una enfermedad muy frecuente en verano y las temperaturas elevadas son un detonador importante, aun cuando en la mayoría de los casos se producen por una infección bacteriana o viral. El calor acelera la descomposición de los alimentos que están a temperatura ambiente y, de hecho, las infecciones que desencadenan las diarreas pueden deberse en gran parte al hecho de comer alimentos en mal estado. También hay que tener en cuenta que con las temperaturas elevadas hay más moscas, mosquitos y otros insectos que inoculan gérmenes en los alimentos en que se posan. La precaución fundamental, por tanto, es mantener los alimentos cubiertos y en el frigorífico hasta el momento de cocinarlos. En México, las EDAs pueden estar relacionadas no sólo con el consumo de alimentos en mal estado por su descomposición por el clima cálido, sino también con la contaminación asociada con vientos fuertes, que transportan polvo y dispersan contaminantes y bacterias. Además, durante los períodos de olas de calor puede haber consumo de agua no potable.

Los casos de enfermedades diarreicas en Jalisco, y en el AMG en particular, tienden a presentarse con mayor frecuencia en algunos de los meses más cálidos del año: marzo, abril o mayo, pero exhiben por lo general un máximo durante los meses de la temporada de lluvias. Para determinar la relación entre los episodios de calor y diarrea, se examinaron las temperaturas máximas semanales promediadas sobre el AMG y los informes de egresos hospitalarios de gente afectada por diarrea para el período 2000-2018. Se utiliza el promedio espacial de temperatura máxima considerando que una ola de calor afecta a todo el dominio. Estos promedios espaciales se calculan

para periodos semanales para empatar la escala temporal de los reportes de egresos hospitalarios.

Los episodios (semanales) de calor por encima de 30ºC generalmente inducen un aumento en el número de casos de EDAs, lo cual ocurre entre la semana 8 y 20 del año. La relación entre los periodos semanales de más de 30ºC de TMax y los reportes de egreso hospitalario por EDA muestra coherencia, al incrementarse el número de casos en casi correspondencia con el inicio del aumento de la temperatura máxima. La relación no parece indicar un incremento en el número de casos en periodos anómalamente cálidos. Por ello, es más adecuado pensar en el umbral de 30ºC como medida de peligro para un incremento importante en el número de casos de EDAs en menores de cinco años. El proceso, de acuerdo con textos de salud está principalmente relacionado a consumo de alimentos que se descomponen por el calor y de agua no potable.

El incremento más notable en el número de reportes de EDAs entre niños ocurre en los meses de verano entre la semana 25 y 40 de año, en relación con el inicio de la temporada de lluvias. En la relación, lluvias intensas brotes de EDAs, el primer máximo registrado de precipitación semanal por encima de 40 mm/semana se refleja en un aumento en los casos de EDAs que puede superar los 15 casos por cada 1,000 personas menores de cinco años. La relación tiene un desfase de 2 a tres semanas, probablemente relacionada con el episodio de contaminación del agua, el desarrollo de la enfermedad, el ingreso hospitalario, recuperación y egreso del hospital.

En el ciclo anual de ocurrencia de EDAs en el AMG, no es extraño que en los primeros meses del año se presenten brotes de EDAs tan intensos como en la mitad del verano (por ejemplo, entre 2003 y 2008). No hay una causa climática en esta situación y se deberá distinguir entre EDAs de tipo bacteriana y viral (Paredes Salido & Roca Fernández, 2004). Las relacionadas con calor y lluvias intensas parecen ser de tipo bacteriana, mientras que los episodios EDAs de invierno parecen ser más de tipo viral (ver las figuras en el Anexo).

Así, los períodos cálidos en el AMG pueden afectar la salud de las personas, pero la magnitud del impacto no solo depende de la anomalía de temperatura máxima, sino del contexto de vulnerabilidad en que esta ocurre. Condiciones socioeconómicas y ambientales pueden ser de gran relevancia, particularmente con condiciones de salud de las personas, edad, acceso a servicios básicos como el del agua o condiciones de conocimiento de brotes de EDAs. El contexto socioeconómico y ambiental puede ser importante para determinar las regiones del área urbana que se ven más afectadas. Para desarrollar un análisis de riesgo más adecuado, el factor de vulnerabilidad debe ser caracterizado.

Vulnerabilidad social y riesgo en períodos cálidos

El índice de vulnerabilidad social utilizado para identificar la susceptibilidad de la población a los efectos negativos de una onda de calor debe abarcar tanto condiciones de desventaja general, como susceptibilidades específicas a las condiciones que se generan en el marco de una onda de calor, los cuales son muy diversos (McGregor & Bessemoulin, 2015). Con excepción de las diversas Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) (ver Anexo Gráfico 1), de las cuales hay un seguimiento epidemiológico puntual, no necesariamente existe un reconocimiento en estadísticas de salud de diversas manifestaciones y efectos en la salud, ya que los síntomas que genera el calor excesivo en el cuerpo humano pueden confundirse con los de otras enfermedades.

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (2019) se ha señalado que los segmentos más vulnerables a las altas temperaturas son los niños menores de 5 años, las personas mayores de 65 y las personas que padecen algunas enfermedades crónicas; sin embargo, aunque son menos vulnerables, existen sectores de personas que pueden tener una alta exposición, sobre todo aquellos que realizan actividades físicas al aire libre o quienes viven en viviendas en condiciones precarias, con poco aislamiento al calor o escasa ventilación (McGregor & Bessemoulin, 2015). Además de estas vulnerabilidades relativas a la condición física de las personas y su exposición, es importante generar recomendaciones sobre los aspectos propiamente urbanos que aumentan la susceptibilidad de estas personas vulnerables a sufrir efectos adversos graves ante la presencia de una onda de calor, y que tienen que ver con la falta de acceso a medicina preventiva, así como con la distribución de la población adulta mayor con una deficiente red de apoyo para evitar condiciones de exposición. En ese sentido, es claro que esta vulnerabilidad climática se relaciona con la estructura de desigualdades existente, creando nuevas manifestaciones de estas desigualdades (Colegio de México, 2018).

La planeación de la atención a la salud en contextos de ondas de calor debe priorizar las medidas preventivas. Los niños, especialmente los muy pequeños, son una de las poblaciones muy vulnerables al calor. Esto se debe a que los organismos más jóvenes pierden los fluidos con mayor rapidez y, por lo tanto, alcanzan el punto de deshidratación con mayor velocidad. Otro de los grupos más vulnerables al calor son las personas mayores. Esto se debe a que el centro termorregulador del organismo está en el hipotálamo, una región del cerebro que regula la temperatura interior del cuerpo. En las personas mayores, esta función trabaja más lentamente. Las personas mayores también tienen menor percepción de la sed. Esto hace que corran mayor riesgo de deshidratarse, sin darse cuenta. El calor excesivo hace que se dilaten las arterias y favorece la deshidratación. Ambos factores inciden de manera negativa en el caso de las personas que sufren de hipertensión.

La construcción del índice sigue una metodología compuesta de una matriz que combina dos tipos de valores de las variables seleccionadas: el absoluto y el relativo. Los valores absolutos sirven para dimensionar la variable en términos de magnitud, mientras que los valores relativos sirven para dimensionar la variable en términos de intensidad. El índice combina los valores tanto absolutos como relativos en cinco rangos de valor, los cuales se utilizan de manera diferenciada; en ambos casos, lo que se busca es mostrar la mayor heterogeneidad en los valores de las variables.

Para el caso de los absolutos, los valores de las variables se cortan en cinco categorías utilizando el sistema de cortes por quintiles; es decir, los cortes se distribuyen de acuerdo con cinco puntos iguales del rango de valores de las variables, independientemente del número de casos en cada uno de dichos rangos. En todas las variables se asigna el valor más alto de vulnerabilidad (del 1 al 5), al valor más alto de la variable.

Para el caso de los relativos, el conjunto de casos de cada variable se corta en cinco rangos o intervalos iguales, definidos a partir del número de casos; ello permite ver la distribución porcentual de casos en cinco rangos de gravedad o criticidad. A cada rango se le asignó un valor entre el 1 y el 5, en el cual, en todas las variables se asigna el valor más alto de vulnerabilidad, entre el 1 y el 5, al valor más alto de la variable.

Una vez que se calculan ambos componentes, que en cada caso corresponderán a un valor entre 1 y 5 (donde el 1 es Muy bajo y el 5 es Muy Alto) para cada uno de los casos contemplados (en este caso, AGEBs), sus valores se cruzan en la siguiente matriz (Figura 37).

La matriz constituye una síntesis de la vulnerabilidad social de cada uno de los casos (área geoestadística básica o cualquier unidad territorial que se utilice, como municipio o manzana). Para la cartografía final de este Atlas, los resultados se representan en AGEBs urbanas y localidades metropolitanas. Ese valor final de síntesis se introduce en el Sistema de Información Geográfica, y constituye el resultado final del índice de vulnerabilidad. Sin embargo, la matriz es el instrumento para identificar cuál es el factor crítico que define en mayor peso la vulnerabilidad general, así como cuál es el nivel de intensidad negativa (criticidad) que muestra.

Con esta metodología, se construyeron los indicadores que corresponden a los aspectos específicos que generan susceptibilidad al daño en la población expuesta a ondas de calor. Los indicadores proxy para esta susceptibilidad fueron, 1) población sin derechohabiencia (variable de vulnerabilidad social estructural); y 2) población de 0 a 5 años, 3) población de 65 y más años 4) viviendas sin servicio de agua entubada dentro, 5) viviendas sin refrigerador (variables de vulnerabilidad social específica a ondas de calor).

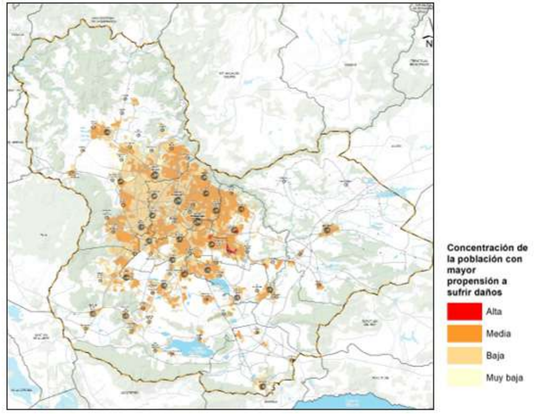
El riesgo resultante refleja la relevancia de vulnerabilidad social, ya que por lo general la dimensión de peligro por ondas de calor (probabilidad de rebasar un umbral crítico de temperatura) afectan de una manera relativamente homogénea a toda el AMG. Por lo señalado en cuanto a las dimensiones de

Figura 37. Matriz combinada de valores absolutos y relativos, por caso, para la determinación global de la vulnerabilidad social
Fuente: Natenzon (2015), p. 6

		IVSD Valores absolutos				
		MB	**B**	**M**	**A**	**MA**
IVSD Valores relativos	**MB**	MB, MB	MB, B	MB, M	MB, A	MB, MA
	B	B, MB	B, B	B, M	B, A	B,MA
	M	M,MB	M, B	M, M	M, A	M,MA
	A	A, MB	A, B	A, M	A, A	A, MA
	MA	MA, MB	MA, B	MA, M	MA, A	MA,MA

Referencias:
MB: muy bajo; B: bajo; M: medio; A: alto; MA: muy alto.

Figura 38 Índice de vulnerabilidad ante ondas de calor.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI, 2020



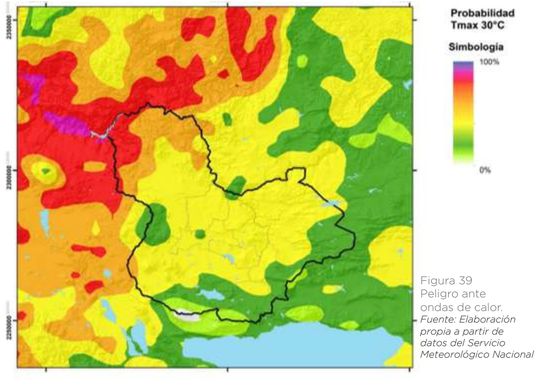


Figura 39
Peligro ante ondas de calor.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional

vulnerabilidad seleccionadas para el cálculo de riesgo, es importante señalar que, en lo general señalan la probabilidad de que las poblaciones de ciertas AGEBs dentro del AMG de presentar efectos en su salud, los cuales pueden tener manifestaciones cíclicas (por ejemplo, el ciclo anual de Enfermedades Diarreicas Agudas), lo cual puede anticiparse como parte de políticas públicas preventivas, especialmente en materia de salud comunitaria. O bien, puede tener manifestaciones críticas, como las reseñadas en Bell et al. (2008) eventos singulares y muy intensos que, en poblaciones susceptibles y expuestas, genera un conjunto de efectos negativos en la salud, que requieren fortalecer estrategias de salud comunitaria, mejoramiento de las condiciones de la vivienda y acceso al agua potable, de manera que se atiendan de manera preventiva las posibles manifestaciones graves que tenga en las personas vulnerables, así como los impactos en el sistema de salud, especialmente en el segundo y tercer nivel. El índice de vulnerabilidad que se desarrolló en este proyecto, constituye un acercamiento tanto a los impactos de onda de calor cíclicos, como los eventos intensos de baja frecuencia.

Las áreas de alto riesgo corresponden aproximadamente en espacio y tiempo con la distribución espacial probable de los impactos del calor en la salud de las personas. Una manera de acercarse a medir los impactos cíclicos es a través de reportes de egresos hospitalarios por diarrea aguda en niños menores de cinco años, los cuales forman parte de uno de los segmentos de población más vulnerables, y claramente identificables con el efecto de una onda de calor. En términos de la medición espacial de impactos a la salud más grave, hay importantes problemas para delimitar la causalidad en el agravamiento de una enfermedad crónica u otra condición de vulnerabilidad; es por esta razón que se consideran específicamente las EDAs. Sin embargo, los reportes hospitalarios se presentan como datos agregados a nivel municipal, lo cual genera dificultades importantes para visualizar la distribución espacial de estos impactos (daños) por ondas de calor.

Ondas de frío y salud en el AMG

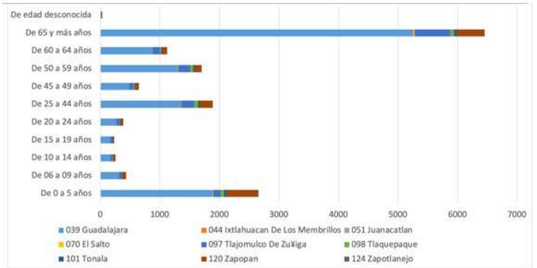
De acuerdo con el CENAPRED (Matías et al., 2014), un frente frío es el límite anterior de una masa de aire frío en movimiento, que cuando entra en contacto con una masa de aire caliente menos denso produce una situación de inestabilidad que suele provocar fuertes lluvias el choque de dos masas de aire, una fría y una cálida. Este encuentro genera tormentas o eventos denominados 'nortes'. Estos eventos se caracterizan por tener velocidades de entre 40 y 60 km/h y duran en promedio 5 días. Los efectos de un frente frío son bajas temperaturas, eventos de lluvia, y eventos de oleaje por las ráfagas de viento que generan y ondas gélidas (ondas de frío) .

Una onda de frío se define como 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 ondas de frío no sólo son bajas temperaturas, se pueden acompañar de agua nieve o nevadas (Eslava et al., 2016).

Durante los meses de más bajas temperaturas (entre octubre y marzo), se presenta la temporada de frío; y en ésta, la frecuencia de las infecciones respiratorias agudas se incrementa de manera normal. Las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) representan la causa más frecuente de utilización de los servicios de salud durante esta temporada. Incluso existe un "Plan de invierno" con información para adoptar medidas preventivas para evitarlas.
Las infecciones respiratorias agudas (IRAs) son afecciones del tracto respiratorio, generalmente de etiología viral o bacteriana, que pueden producir un espectro que comprende desde infecciones asintomáticas o leves hasta enfermedades graves y fatales, dependiendo del patógeno causante, factores ambientales y del huésped (SSA, 2013) Las IRAs según la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10), se agrupan en infecciones respiratorias agudas de las vías superiores como la neumonía y gripe, y las infecciones respiratorias agudas de vías inferiores con el código, como la bronquiolitis.

Según la Secretaría de Salud de Jalisco, las IRAs se consideran como un problema importante para la salud pública durante la temporada de frío, pues se reporta un incremento de hasta el 90 por ciento, ocupando el primer lugar en la consulta general en menores de 5 y mayores de 60 años (Figura 40) tanto a nivel nacional como en esta entidad (SSJ, 2013). Según la OMS (2018), la población más vulnerable ante eventos climáticos extremo son grupos socialmente desfavorecidos y marginados, incluidos migrantes, refugiados y personas sin hogar.

Figura 40 Reportes de neumonía y bronconeumonía por grupos etarios para el año 2016.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Salud de Jalisco

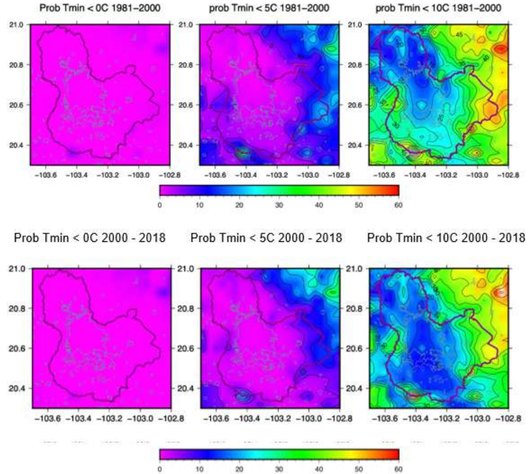


El peligro ante ondas de frío es la probabilidad de que se presenten temperaturas mínimas de 10ºC. Dadas las características del AMG, un evento de 10ºC se considera anómalo y en consecuencia peligroso (Ulloa Godínez et al., 2011). Al analizar estos eventos con los egresos hospitalarios de IRAS, se observa que existe una correlación.

La probabilidad de que se alcancen valores de temperatura mínima (TMin) de 10ºC, cambió moderadamente entre los periodos 1981-2000 y 2000 - 2018. Las probabilidades de que se presenten temperaturas de 0° o incluso de 5ºC es muy baja y el cambio entre periodos, imperceptible. En general se observa que las temperaturas mínimas tienen una tendencia a no ser tan mínima, es decir que el peligro no está aumentando.

Las series de tiempo del promedio de la temperatura mínima y los reportes de egresos hospitalarios por IRAS muestran una alta correlación negativa, definida particularmente para los meses de invierno, cuando las temperaturas disminuyen. Se reconoce que los impactos de IRAS no están únicamente determinados por el peligro; sin embargo, el patrón temporal muestra una gran influencia dada por el peligro. Para ejemplificar estas tendencias, en el Anexo Gráfico 2 se muestran los patrones de los años 2005, 2010, 2011 y 2015, porque son años representativos de eventos particulares del clima y su respuesta en los reportes de IRAs (Ver Anexo 2. Distribución anual de infecciones respiratorias agudas).

Figura 41 Probabilidades para diferentes valores de TMin
Fuente: elaboración propia con base en los datos del Servicio Meteorológico Nacional



De acuerdo con la Secretaría de Salud de Jalisco (2013) y Vargas y Magaña (2020), se determinaron los indicadores de vulnerabilidad del siguiente modo:

- Población de 0 a 5 años
- Población de 65 años y más
- Población sin derechohabiencia a servicios de salud
- Nivel de marginación[7]

Al combinar los indicadores seleccionados, se obtiene el índice de vulnerabilidad ante ondas de frío para el AMG. A partir de la distribución de los diferentes indicadores de vulnerabilidad, se puede observar cuáles son los que tienen mayor peso en la distribución de la susceptibilidad a ondas de frío.

7 Al derivar este indicador de los datos del Censo de 2020, a la fecha de corte de este documento aún no había sido publicado a nivel de Área Geoestadística Básica, sólo de municipio. Por ello, se utilizaron los datos del Censo de 2010, mismos que pueden ser actualizados con la misma metodología en cuanto dichos datos sean publicados con los datos del nuevo instrumento estadístico.

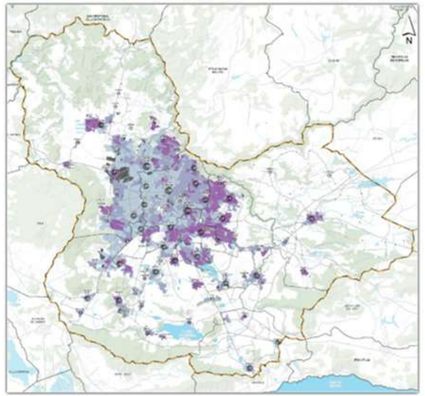


Figura 42 Índice de vulnerabilidad ante ondas de frío
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI, 2010

Como se observa al analizar el peligro ante onda de frío, las temperaturas mínimas en el AMG tienden a ser menos extremas en su rango inferior, en particular dentro del área urbana, como respuesta a la ICU. La probabilidad de que se presente una temperatura mínima de 10ºC es baja (aproximadamente del 10%) y aún menor en la zona urbana (Figura 43).

Finalmente, siguiendo la metodología propuesta para el presente Atlas, se combinaron los campos de peligro y vulnerabilidad. Las zonas con mayor riesgo se reportan en algunas áreas de los municipios de Guadalajara y en Zapotlanejo (Figura 44) Este último está dado en mayor medida por el peligro, pues se observa una mayor probabilidad de que se presenten eventos de temperatura mínima de 10ºC, en comparación con el resto del AMG. Si sabemos que en Zapotlanejo existe una mayor probabilidad para determinados rangos de temperatura, es importante identificar, localizar y atender de manera preventiva a las poblaciones de las edades con mayor susceptibilidad, especialmente aquellas que viven en condiciones de marginación.

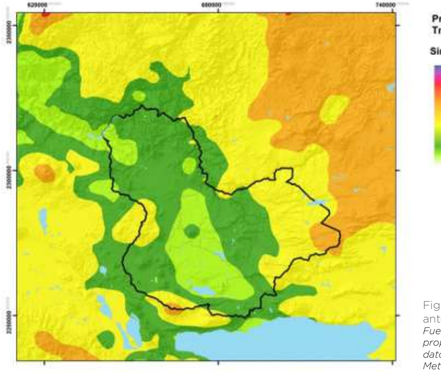


Figura 43 Peligro ante ondas de frío
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional

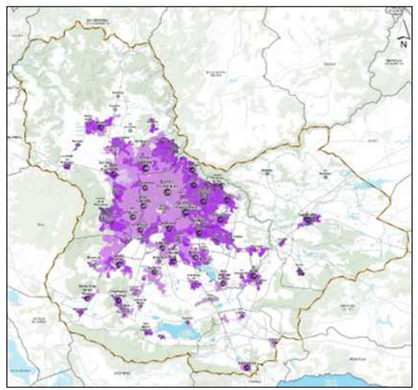
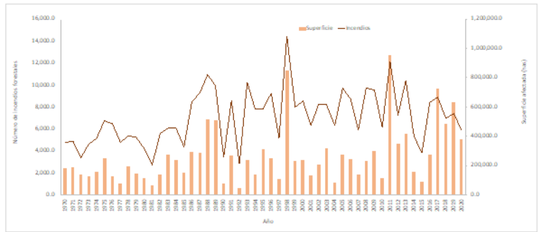


Figura 44 Riesgo ante ondas de frío
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI y del Servicio Meteorológico Nacional

Riesgo de incendios forestales en el AMG

Los incendios forestales son uno de los principales procesos de alteración de la mayoría de los ecosistemas (Lenihan et al., 1998; Schmoldt et al., 1999). En México los incendios forestales de origen natural solo suman el 1% del total reportado, los cuales pueden ser debido a la electricidad atmosférica, como en el norte de México, donde los rayos que tocan tierra los inician. El 99% restante son causados por alguna actividad humana, de los cuales más de la mitad son producto de actividades agropecuarias, urbanización, incendios provocados para apropiación de espacios, descuidos con colillas de cigarro y fogatas (CONAFOR, 2010). Es por ello que el problema de los incendios forestales en México debe ser analizado desde una perspectiva de riesgo, ya que, si bien el factor climático afecta la magnitud de este tipo de desastre, el contexto social es de gran importancia, pues se ha ido construyendo y con los años ha aumentado hasta llegar a una condición de riesgo crítico muy frecuente (Figura 45).

Figura 45 Comparativo de número de incendios y superficie afectada (Has) en México entre 1970 y 2019.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAFOR



Las actividades agropecuarias pueden afectar a los bosques a través de prácticas como la roza, tumba y quema, así como la quema de malezas con fines de preparación de los terrenos para la siembra; y la quema de pastos para propiciar el renuevo para actividades ganaderas, todas las cuales son diversas causas de inicio de incendios. Asimismo, existen otros factores humanos que propician actividad de incendios en ciertas regiones, año con año, incluso independientemente de la condición climática. En el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) y zonas aledañas, la expansión urbana y los cambios en el uso de suelo son factores dinámicos que aumentan la probabilidad de generar incendios forestales.

A través de análisis de los incendios forestales recientes (2012-2018) es posible identificar algunos factores que inciden en el nivel de riesgo. Sin embargo, es muy importante reconocer que el análisis de las relaciones entre los patrones de los incendios y la variabilidad climática (McKenzie, 2004) no es suficiente para explicar los incendios en México, pues, como se ha explicado, los incendios forestales en México son en mayor medida resultado de la actividad humana. De ahí que se hayan desarrollado muchas propuestas de zonificación del riesgo de incendios y sus componentes, los cuales abarcan distintos aspectos causales e impactos (Flores et al., 2016).

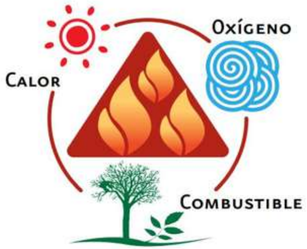
En la mayor parte de México los incendios forestales se presentan durante la primavera y principios del verano, en los meses de enero a junio, lo que corresponde a la temporada en que las precipitaciones son bajas y el ambiente es seco y crecientemente cálido. Los episodios de un gran número de incendios forestales se relacionan con la ocurrencia de sequías meteorológicas, ambiente de baja humedad relativa en la atmósfera y temperaturas anómalamente altas, como plantean Galván y Magaña (2020).

En el caso del peligro y/o amenaza climática, éste se construye a partir de información sobre las condiciones climáticas, que en ciertos años incrementan el estrés hídrico de la vegetación, contribuyendo al riesgo (probabilidad) de incendios. Dicha condición está así determinada por la combinación de la susceptibilidad de los bosques, junto con las actividades humanas dentro y fuera de estas zonas, sobre todo cuando existen condiciones de sequedad atmosférica y altas temperaturas en el AMG (Figura 46).

Figura 46 Triángulo de fuego con los componentes del riesgo de incendio forestal.
Fuente: adaptado de CONAFOR (2010, p. 6)

Peligro: probabilidad de que las condiciones atmosféricas favorezcan la presencia de incendios

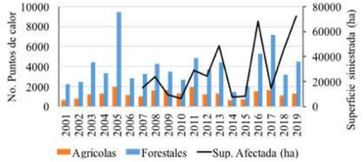
Vulnerabilidad física: susceptibilidad de la vegetación a incendiarse, en combinación con la presencia de actividades humanas



Los incendios forestales son un tipo de evento especialmente severo con implicaciones importantes en la seguridad de personas que habitan en esas regiones, pero que termina generando la pérdida de servicios ecosistémicos y en ocasiones, la pérdida total de los propios ecosistemas. Para determinar la dinámica espacio-temporal de los incendios, se hacen las mediciones de puntos de calor. Las zonas que son afectadas son monitoreadas por satélites y reportadas por agencias mexicanas como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)[8] y el Sistema de Alerta de Incendios de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)[9]. La información satelital de puntos de calor y zonas afectadas se encuentra disponible en diversos sitios, como por ejemplo Fire Information and Resource Management System (FIRMS)[10].

En México, el abordaje metodológico y de política ambiental debe poner especial énfasis en documentar las actividades humanas. Por ello, en décadas recientes se han puesto en marcha de diversas reglamentaciones sobre manejo de fuego que lleve a reducir la pérdida de paisajes naturales. A pesar de ello, la presión para ocupar espacios de bosque sigue siendo muy alta y por ello se mantiene una tendencia de aumento en las afectaciones por incendios en todo el país, que no necesariamente se debe a cambio climático. En Jalisco, la sequía meteorológica favorece la ocurrencia de incendios forestales, aunque la relación no es directa (Figura 47 y Figura 48). La prevención de incendios forestales de año con año se basa un análisis adecuado de la información climática, y su peso en la gestión de riesgo de incendios a partir de pronósticos de riesgo (Anderson et al., 2019). Sin embargo, es necesario conocer las condiciones de vegetación, así como la intensidad de la presencia humana en las áreas forestales, ya que ello tiene una gran influencia en la presencia de fuego en estos sitios.

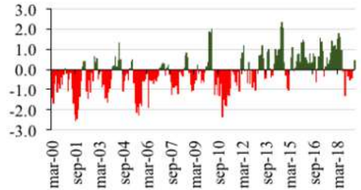
Figura 47 Serie de tiempo de número de puntos de calor y superficie afectada (has) por incendios forestales en Jalisco.
Fuente: Elaboración propia a partir de los Reportes de Incendios de CONAFOR.



8 Por ejemplo, en CONAFOR se encuentra el sitio https://snigf.cnf.gob.mx/incendios-forestales/, donde se encuentra el Programa de Manejo del Fuego 2020-2024 y el Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México, a partir de capas de puntos de calor MODIS y VIIRS y otros indicadores relativos a la sequedad de combustible, el peligro de incendio, y algunos escenarios.
9 Construido en la década de los noventa, este sistema es el pionero en el tema de alerta temprana de incendios a nivel nacional (http://incendios.conabio.gob.mx/) .
10 https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov

Los valores del Índice Estandarizado de Precipitación (Standardized Precipitation Index, SPI) (McKee et al., 1993) positivos indican una precipitación mayor que la mediana y los valores negativos indican una precipitación menor que la mediana. El SPI de 6 meses compara la precipitación para ese período con el mismo período de 6 meses sobre el registro histórico.

Figura 48 Índice Estandarizado de Precipitación -6 en Jalisco, entre 2000 y 2018.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SPI (Mckee et al, 1993) de la librería de datos de International Research Institute for Climate and Society (IRI).



El análisis climático se enfoca en los meses de mayor incidencia de incendios forestales: marzo, abril y mayo, como indica un análisis histórico de incendios, identificados por medio del sensor VIIRS[11], con datos disponibles a partir de enero de 2012 al presente (2020) y resolución espacial de 375m (NRT VIIRS) El periodo de mayor actividad de incendios coincide con los meses más secos y cálidos en la región. En el AMG y zonas vecinas, los incendios se incrementan entre marzo y mayo (Figura 49), pero pueden también ocurrir en invierno, durante los meses considerados secos.

Figura 49 Puntos de calor acumulados por mes del periodo 2012 a octubre de 2020 para el AMG
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del sensor VIIRS-NASA



11 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, Near Real Time (VIIRS-NRT). Disponible en https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/download-nrt-data/viirs-nrt

La principal condición natural de peligro de incendios forestales en México es la sequía meteorológica. Para considerar este factor se utiliza el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), generado por CONAGUA. Este índice es una medida normalizada de la intensidad de la sequía y corresponde a el número de desviaciones estándar que la precipitación acumulada se desvía del promedio climatológico. Esto indica que valores por debajo de -1 corresponde a condiciones de déficit significativos, mientras que valores mayores que +1 indican condiciones más húmedas que lo normal. Un SPI entre -0.8 y -1.29 da una idea de condiciones de sequía moderada que comienza a estresar hídricamente la vegetación (Figura 50), mientras que valores de SPI < -2 hacen referencia a condiciones excepcionalmente secas.

Figura 50 Clasificación de la sequía de acuerdo con el Índice Estandarizado de la Precipitación (SPI).
Fuente: CONAGUA[12].

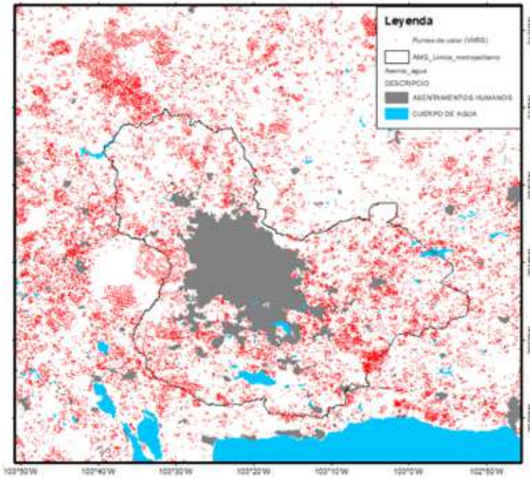


La probabilidad de valores de SPI menores a -1 es de alrededor del 15% (el rango es de 25 a 30). Tanto el SPI como los percentiles, son representaciones de distribuciones de probabilidad, para este caso en particular, relacionadas al nivel de humedad o sequía de la atmósfera. El valor de SPI crítico es el de moderadamente seco y su valor equivalente en percentil, considerando el rango en el que puede variar, es el percentil 20%; por ello, también este valor de percentil de la precipitación se utiliza como indicador de años secos.

La distribución histórica (2012-2020) de los puntos de calor, relacionada con los incendios, corresponde a todos los tipos de vegetación y uso de suelo, por lo que la mayor parte del territorio (no urbanizado) muestra una fuerte actividad de incendios. Los municipios de Juanacatlán y Zapotlanejo muestran una alta densidad de puntos de calor. Llama la atención que incluso en el Bosque La Primavera, zona forestal bajo protección, la parte sur (colindante a los municipios de Tala y Tlajomulco de Zúñiga), y la zona este (colindante al AMG) muestran numerosos incendios forestales (Figura 51), que principalmente han ocurrido en años recientes.

12 https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/spi

Figura 51 Puntos de calor derivados del sensor VIIRS, para el periodo 2012 - 2020
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de VIIRS



El uso de suelo y tipo de vegetación, la accesibilidad a los bosques y la cercanía de estos a otros usos de suelo orientados a actividades humanas son factores considerados de importancia en la determinación de la vulnerabilidad de la vegetación natural a incendiarse. La accesibilidad a los ecosistemas forestales a través de carreteras y caminos rurales es un elemento crucial para identificar las zonas expuestas; junto con los cambios de uso de suelo, son dos de los factores que generan vulnerabilidad por exposición a los bosques, matorrales y pastizales (Pérez-Verdín et al., 2013).

Esta susceptibilidad de los bosques cercanos al AMG puede agudizarse por actividades humanas relacionadas con la deforestación, turismo, fogatas de campistas, quema de basura o fuego para la caza furtiva, entre otras. Esto juega un papel fundamental para el entendimiento del impacto de un incendio, ya que los sistemas y su funcionamiento depende de diversos elementos

de la actividad humana, que con peligros altos o muy altos desencadenan eventos que pueden llegar a convertirse en emergencias, y hasta en desastres (Magaña, 2013).

Existe una gran diversidad de modelos que intentan estimar de manera predictiva la probabilidad de incendios forestales en el mundo, cuya capacidad es muy variable y depende de la escala de análisis espacial y temporal y los objetivos de gestión que se desprenden de cada uno de ellos (Costafreda-Aumedes et al., 2017). Sin embargo, dentro de esta gran diversidad, en este modelo se utilizan los cuatro elementos principales que están presentes en la mayoría de los modelos científicos existentes (Padilla & Vega-García, 2011). Estos componentes son el tipo y flamabilidad de la vegetación; el estrés hídrico que ésta presenta en diferentes contextos; el peligro meteorológico, estimado a través de diversos parámetros de temperatura y la humedad relativa; y, finalmente los factores humanos detonantes que, si bien son muy diversos (densidad, pendiente, infraestructura existente, caminos, etc.) todos tienen en común ser indicadores de la accesibilidad humana a las zonas susceptibles de quemarse.

A continuación, se describen cada uno de esos factores y cómo fueron utilizados para la construcción del modelo de incendios forestales.

Uso de suelo y vegetación (USV)

La información de Uso de Suelo y Vegetación (USV) permite identificar la distribución de los tipos de vegetación natural e inducida, así como elementos para valorar el tipo de susceptibilidad de los diferentes ecosistemas y vegetación secundaria presentes en el territorio. El USV es capaz de reflejar uno de los factores más importantes de los incendios forestales, ya que los tipos de vegetación reflejan el grado de susceptibilidad a incendiarse; es decir, su flamabilidad (CONABIO, 2007) .

Para identificar espacialmente estas características en las áreas no urbanizadas del AMG se utilizó la cobertura del suelo IMEPLAN, a partir de CONAFOR y SEMADET (2020) a escala 1:75,000. Sus polígonos fueron clasificados con base en las categorías de susceptibilidad a incendios de las comunidades vegetales de CONABIO (2007) (Tabla 10). Con propósitos de normalización, a esta clasificación se le asignaron valores estandarizados (de 0 a 5), que representan tanto la susceptibilidad a incendios como la recuperabilidad[13]. Este indicador habla de exposición o del objeto de estudio a ser afectado.

1. No importa *Los muy altamente simplificados por el hombre (ciudades, agricultura, praderas inducidas, etc.)*	Agricultura de Humedad Agricultura de Riego Subcategoría: Agricultura de Temporal Áreas sin Vegetación Aparente Bosque Cultivado (plantaciones)	Cuerpos de agua Erosión Pastizal Cultivado Pastizal Inducido Salinas Zonas Urbanas
2. Baja probabilidad de incendios con alta recuperabilidad *Rara vez se quema y si se quema se recupera fácilmente*	Matorral Espinoso Tamaulipeco Mezquital Pastizal Gipsófilo Pastizal Halófilo	Pastizal-Huizachal Vegetación Gipsófila Vegetación Halófila
3. Baja probabilidad de incendio con baja recuperabilidad *Rara vez se quema y su recuperación es difícil*	Bosque de Cedro Bosque de Encino Bosque de Encino-Pino Bosque de Galería Bosque de Oyamel Bosque Mesófilo de Montaña Manglar Matorral Crasicaule Matorral Desértico Micrófilo Matorral Desértico Rosetófilo Matorral Rosetófilo Costero Matorral Sarco-Crasicaule Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina	Matorral Sarcocaule Selva Alta Perennifolia Selva Alta Subperennifolia Selva Baja Espinosa Selva Baja Perennifolia Selva Mediana Perennifolia Selva Mediana Subperennifolia Vegetación Acuática Vegetación de Desiertos Arenosos Vegetación de Dunas Costeras Vegetación de Galería
4. Alta probabilidad de incendio con alta recuperabilidad *Se quema frecuentemente y se recupera rápidamente*	Bosque de Pino Bosque de Pino-Encino Bosque de Táscate Chaparral Palmar	Pastizal Natural Pradera de Alta Montaña Sabana Selva Mediana Caducifolia Selva Mediana Subcaducifolia
5. Alta probabilidad de incendio con baja recuperabilidad *Se quema frecuentemente y su recuperación es difícil*	Selva Baja Caducifolia Selva Baja Subcaducifolia Selva Baja Subperennifolia	
6. Otros	Bosque Bajo-Abierto Matorral de Coníferas	Matorral Subtropical

Tabla 10. Categorías de susceptibilidad a incendios de las comunidades vegetales
Fuente: CONABIO (2007)

13 0 no aplica; 1 tierras cultivadas, agrícolas o inducidas; 2 baja probabilidad de incendios; 3 bosques no clasificados; 4 alta probabilidad de incendios con alta recuperabilidad; 5 alta probabilidad de incendio con baja recuperabilidad.

Condición de la vegetación

Para determinar con mayor precisión la susceptibilidad de la vegetación a mostrar una respuesta rápida a un evento de incendio, se utilizó un indicador de la condición de la vegetación, a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El NDVI obtenido a través de distintos medios de percepción remota ha sido utilizado desde hace varias décadas para medir la biomasa fotosintéticamente activa, de tal manera que es posible identificar de manera predictiva las zonas con vegetación con mayor estrés hídrico susceptibles de quemarse (Illera et al., 1996; Leblon, 2005; Lozano et al., 2007). Se utilizan para este cálculo los NDVI de 30 m de LANDSAT de marzo de 2021, los cuales tienden a generar estimaciones con una precisión mayor que el NDVI obtenido a través de NOAA AVHRR, especialmente en áreas no agrícolas, y en la resolución necesaria para una extensión territorial como la que nos ocupa (Calera et al., 1999; Soria & Granados, 2005).

La condición de la vegetación es muy sensible a la temporalidad elegida; en este sentido, para que sus valores correspondan al periodo de interés en el cálculo del componente de peligro de incendios forestales, por lo cual este insumo debe ser continuamente actualizado.

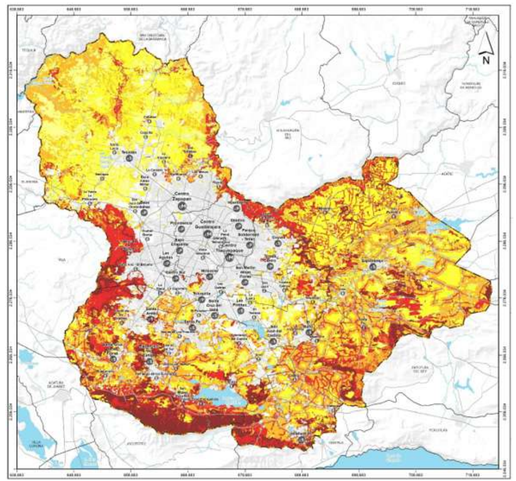
Accesibilidad como exposición

En los diversos análisis sobre las causales de los incendios forestales, la presencia humana suele considerarse un factor fundamental para explicar la frecuencia, distribución y variabilidad de los incendios. Si bien la evidencia en distintos lugares aborda factores distintos, como la densidad de población, el cambio de uso de suelo, las actividades de explotación agrícola y forestal, como mecanismos para definir la presencia humana, la gran mayoría de los modelos considera la cercanía con las actividades sociales como un factor relevante a considerar en la dinámica de los incendios forestales. En lugares que conservan su vocación rural, el cambio de uso de suelo a actividades agrícolas se considera un factor de peso, mientras que la presencia de caminos se asocia más bien al control más rápido del fuego (Pérez-Verdín et al., 2013). Por el contrario, en las zonas forestales denominadas ‘de interfaz’, es decir, cercanas o colindantes con las ciudades, la accesibilidad se considera un factor clave para explicar la frecuencia de ignición (Castillo S. et al., 2009). A partir de esta evidencia, el modelo utiliza como proxy para definir la influencia humana hacia las áreas forestadas, la información geográfica sobre las diferentes vías de comunicación, desde carreteras y autopistas hasta los caminos rurales existentes en el Área Metropolitana, actualizados al año 2021; se excluyeron las vías de comunicación en los polígonos de zonas urbanas. A partir de caminos se calculó la distancia euclidiana a 50m, 100, 500, mil y más de 5 mil metros de distancia; la menor distancia se considera un factor de mayor exposición, por lo cual entre más cerca estén las áreas forestales a los caminos, éstas se consideran áreas críticas de accesibilidad a las actividades humanas, tanto las de carácter legal como ilegal.

Sequía meteorológica como peligro

El peligro es considerado como la probabilidad de condiciones atmosféricas que faciliten la propagación de incendios forestales. El elemento más relevante para identificar este peligro es la sequía meteorológica[14], la cual puede cuantificar de diversas formas. La forma más común es a partir de las anomalías negativas de precipitación. Una forma de referirse a dichos déficit de lluvia es en términos de desviaciones estándar con respecto de la media esperada. El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, por sus siglas en inglés) al que ya hemos hecho referencia, se construye a partir de las desviaciones estándar en la lluvia acumulada por periodos de uno a varios meses (McKee et al., 1993). El SPI brinda información sobre la persistencia de la sequía dependiendo de la escala temporal para la que se calcule. La sequía meteorológica (o climatológica) es expresada únicamente sobre la base del grado de disminución de las precipitaciones y la duración del período seco

Figura 52 . Riesgo de incendios forestales por amenaza climática al 2021
Fuente: elaboración propia con base en datos de IMEPLAN, CONAFOR, SEMADET, CONAGUA y LANDSAT



14 En la siguiente sección se abundará sobre la definición y medición de la sequía meteorológica y su diferencia con otros tipos de sequía.

Para el cálculo en el Atlas Metropolitano de Riesgos del AMG, se consideraron los valores extremos de SPI como peligro, es decir, como factores detonantes. Se tomó el valor de cada mes (si se encuentra por encima o debajo de la media climatológica); se calculó el porcentaje de veces que estuvo por debajo de la media climatológica, a partir de la información de cada estación del AMG. En algunos casos se consideró desde el año 1950 hasta 2017, aunque la mayoría están desde 1980.

En el procedimiento utilizado, se normaliza el contenido de cada una de las tres capas de 0 a 1 mediante álgebra de mapas; el resultado clasificó por cortes naturales. Este producto se multiplica por el valor del SPI de cada estación meteorológica, el cual se interpola en spline (ESRI, 2021), para definir el riesgo. Como se mencionó anteriormente, éste se emplea como factor detonante del evento, ya que las zonas más propensas de tener estrés hídrico son las más susceptibles a generar biomasa combustible.

El ejercicio en que se sustenta el riesgo de incendios forestales establece las características más relevantes de información climática, de la vegetación y de la exposición a actividades humanas, como un medio para definir el riesgo ante incendios forestales. El objetivo final es facilitar la toma de decisiones a nivel forestal para disminuir este problema, sobre todo cuando las condiciones de sequía meteorológica son adversas. El modelo de riesgo no sólo constituye una referencia de zonas delAMG en donde aumenta la probabilidad de que se presenten incendios forestales, sino que muestra la importancia de factores humanos que originan estos eventos. Cabe señalar que, para validar la capacidad predictiva de este modelo, se cotejó con el comportamiento espacio-temporal de los eventos registrados en años recientes, lo cual muestra que el modelo explica en lo general la frecuencia y distribución de eventos.

Es importante señalar en este punto que las limitaciones del modelo radican, sobre todo, en la resolución de los insumos utilizadas (de 30 metros para el caso del NVDI, y 1:75,000 en el caso de las capas vectoriales de cobertura y uso de suelo). Tal resolución es adecuada para el análisis regional metropolitano propio de este producto, aunque puede tener limitaciones para la identificación de eventos que ocurren en áreas muy específicas, que abarcan áreas menores a la resolución utilizada. Asimismo, la actividad humana ocurre en áreas que van más allá del parámetro estimado para la influencia por caminos (100 m), con lo cual actividades como la tala ilegal, el campismo, u otras que puedan representar una intervención humana menos convencional, constituyen también un punto de incertidumbre del modelo.

Sequía socioeconómica

Conceptos básicos: sequía meteorológica, hidrológica y socioeconómica

La crisis hídrica que vive México se considera un problema de gestión inadecuada del recurso hídrico. Garantizar el abasto en todas las regiones y sectores no es tarea fácil, y el reto de variaciones climáticas, como la sequía meteorológica hacen del problema uno de grandes dimensiones, principalmente en las zonas áridas y semi-áridas del país.

En un mundo de cambios globales importantes, el manejo de los recursos hídricos es uno de los grandes retos de la agenda ambiental, social y económica, particularmente en periodos en que se presentan las sequías meteorológicas. A nivel urbano, el crecimiento de la demanda de agua, la contaminación de este recurso, un clima cambiante y las alteraciones en los ecosistemas que regulan el ciclo hidrológico son algunos de los factores que resultan en riesgo de sequía socioeconómica. Pero para hablar de ésta, hay que diferenciar entre varios tipos de sequía (Magaña, 2016).

- Sequía meteorológica: Proceso natural que se convierte en peligro cuando alcanza niveles de intensidad superiores a los que pueden resistir diversos socio-ecosistemas.
- Sequía hidrológica: Proceso natural pero cuya magnitud depende en buena medida de los esquemas de uso de agua que se tengan. El manejo del agua puede hacer caer en sequía hidrológica aun y cuando no haya sequía meteorológica.
- Sequía agrícola: Cuando el agua es insuficiente para mantener cultivos. Se puede presentar aun sin ocurrir sequía meteorológica si se cultivan variedades muy demandantes de agua.
- Sequía socioeconómica: Cuando el agua no alcanza para las actividades humanas esenciales, por ejemplo, para satisfacer el consumo en las ciudades. Ocurre cuando el agua disminuye hasta generar daños económicos o personales en la zona afectada por la escasez de lluvias. En general se presenta después de una sequía hidrológica. Las sequías, por tanto, se entienden como periodos en los que hay ausencia de agua en un período que normalmente el recurso es suficiente.

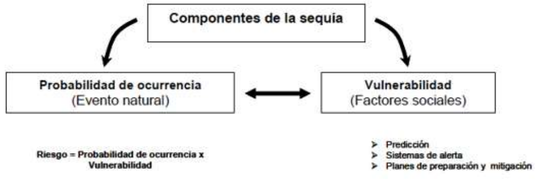
La diferencia entre la sequía meteorológica y las otras tres se encuentra en el hecho de que la primera es un proceso natural de variaciones climáticas. Las otras tres involucran el manejo del recurso hídrico. Un mal manejo del agua puede resultar en déficits que terminan generando insuficiencia para diversos sectores, aun y cuando la temporada de lluvias haya sido normal. Existen situaciones en que el manejo del agua o las demandas crecen a tal nivel que el abasto se vuelve insuficiente y se habla de sequía, aun y cuando las lluvias están en un rango normal. Sin embargo, las crisis del agua en ciertos años están por lo general relacionadas con la ocurrencia de sequías intensas y prolongadas.

Es de esta manera que las sequías soocioeconómicas se vuelven un problema de riesgo, pues si bien una condición climática las puede disparar, el contexto de vulnerabilidad del sector agua de un país o una metrópoli es fundamental para entenderlas. Es en ese contexto donde se debe trabajar para reducir los factores que resultan en riesgo, y en ocasiones en sequías socioeconómicas.

La sequía meteorológica: Condición de peligro

Las sequías meteorológicas se vuelven un peligro natural, con grandes costos sociales, ambientales y económicos. A pesar de ello, en la mayor parte del mundo sólo se atienden los impactos más que prevenirlos. En México, la sequía meteorológica con frecuencia se convierte en desastre, es decir en sequía agrícola, hidrológica o socioeconómica, por el contexto de crisis hídrica que se vive. Sequías meteorológicas recientes, como las ocurridas entre 2000 y 2002, o entre 2011 y 2013, se convirtieron en grandes desastres económicos y ambientales (Neri & Magaña, 2016). La alta vulnerabilidad del país ante condiciones climáticas adversas se debe, entre otras cosas, a que muchos aun consideran que una condición como la sequía meteorológica es impredecible por lo que sólo queda responder, dominando así el paradigma naturalista en el que los desastres se explican sólo por la ocurrencia del fenómeno. El concepto de riesgo ante la sequía meteorológica aún no se vuelve guía para cambios en el manejo del agua.

Figura 53 Componentes del riesgo de impactos de la sequía.
Fuente: Elaboración propia



Desde una perspectiva de riesgo es posible prepararse frente a la sequía para evitar, o al menos disminuir, la magnitud de sus impactos. Las acciones antes, durante y después del evento deben partir de reconocer y reducir los factores de vulnerabilidad más importantes. Algunos pasos para implantar una política pública con el fin de gestionar el riesgo ante la sequía meteorológica se dieron con el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE) de la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). Una de las acciones propuestas en PRONACOSE fue mejorar el monitoreo de la sequía meteorológica y sus impactos con el fin de establecer esquemas de prevención o mitigación. Dicha iniciativa requirió cambiar la forma tradicional en que se analizaba la sequía, para pasar a ver la sequía en una perspectiva de riesgo. Los avances en el conocimiento de la variabilidad del clima regional han llevado a proponer esquemas de monitoreo de la sequía meteorológica y sus causas (Hayes et al., 2012).

En México, como en otras partes del mundo, el peligro de sequía meteorológica aumenta cuando la variabilidad climática natural del clima genera circulaciones atmosféricas que inhiben el desarrollo de actividad convectiva importante que resulte en lluvias. Condiciones como El Niño o ciertas fases de la llamada Oscilación Multidecadal del Atlántico en su fase positiva, incrementan el peligro de sequía meteorológica prolongada en el norte y centro de México (Méndez & Magaña, 2010) al intensificar la subsidencia y modificar los flujos de humedad. Por lo anterior, se considera que la sequía meteorológica en México es predecible y diversos desarrollos a partir de modelos climáticos han resultado en efectos positivos sobre la predecibilidad de esta condición, incluso a escala regional. Entendida esta condición como la capacidad de predecir estados futuros de un sistema, basándose en el conocimiento de estados históricos y actuales (AMS, 2012).

La magnitud de la sequía meteorológica se puede cuantificar de diversas formas. La forma más común es a partir de las anomalías negativas de precipitación. Una forma de referirse a dichos déficit de lluvia es en términos de desviaciones estándar con respecto de la media esperada. El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, por sus siglas en inglés) hace referencia a desviaciones estándar en la lluvia acumulada por periodos de uno a varios meses (McKee et al., 1993). Si la lluvia en una estación o año particular está una o dos desviaciones estándar por debajo de la media, se considera un SPI de -1 o de -2 respectivamente. El rango de SPI va de -3 (extremadamente seco) a +3, (extremadamente húmedo). El SPI brinda información sobre la persistencia de la sequía dependiendo de la escala temporal para la que se calcule: 1, 3, 6, 12 o 24 meses. El SPI-6 (de seis meses) es útil cuando se trata de caracterizar el peligro para el sector agrícola.

La sequía meteorológica (o climatológica) es expresada únicamente sobre la base del grado de disminución de las precipitaciones y la duración del período seco. Así, la intensidad y la duración son las características claves de estas definiciones. Las agencias encargadas de la información meteorológica mantienen un monitoreo de las condiciones de sequía meteorológica. Tal es el caso del monitor de sequía de Norteamérica, construido a partir de información de precipitación obtenida en las estaciones meteorológicas del país. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) reporta periódicamente las condiciones de la sequía en México.

Por otro lado, la sequía hidrológica se asocia con los efectos de los períodos de déficit de precipitación sobre la disponibilidad de agua superficial o subterránea (caudales en ríos, niveles en embalses, lagos y acuíferos) más que con déficit de precipitación. La CONAGUA mantiene un monitoreo de las condiciones de ríos y embalses (cuerpos de agua superficial), así como de las condiciones de los acuíferos. El Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)[15], mantiene desde al menos hace diez años hace muchos años un registro de las condiciones meteorológicas, climáticas e hidrológicas de los principales cuerpos de agua de México. Por ejemplo, desde mediados de los años 1930 se tienen registros de niveles del Lago de Chapala y de las condiciones climáticas en la zona, dada la importancia que este cuerpo de agua tiene para Guadalajara y zonas vecinas.

15 http://sina.conagua.gob.mx/sina/

En el caso de la sequía socioeconómica, los organismos y agencias encargados de la distribución de este bien, se encargan de los registros relacionados con la oferta y la demanda, así como de los aspectos de infraestructura o financieros relacionados con el abasto del agua a las ciudades. En el caso del AMG, el organismo encargado de asegurar el abasto al AMG es el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA). A ellos corresponde dotar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en cantidad y calidad suficiente a los habitantes del AMG, contribuyendo a su salud y bienestar. Aunque existen en la comunidad científica diversas propuestas de índices para medir sequía socioeconómica, ninguno se ha implementado como medida oficial de dicha condición.

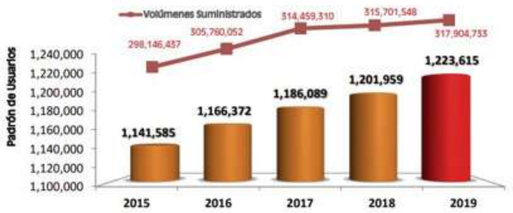
De esta manera, 1) el clima y 2) los procesos de oferta y demanda son dos elementos básicos que deben ser incluidos en una definición objetiva de sequía socioeconómica, e involucra principalmente entidades de Gobierno Federal y Estatal. Las obras necesarias para garantizar el abasto de agua a una ciudad no son responsabilidad de una sola agencia, sino que surgen por lo general de acuerdos en diferentes niveles de gobierno. Según datos de CONAGUA (2018), en México, se privilegia el abasto de agua hacia el sector agrícola, siguiendo el abastecimiento público. La demanda de un bien aumenta como consecuencia del crecimiento de la población y/o del consumo per cápita. Por lo tanto, la sequía socioeconómica puede ser definida de manera similar a lo que ocurre cuando la demanda de un bien excede el suministro.

El concepto de sequía socioeconómica sustenta la fuerte simbiosis que existe entre agua y actividades humanas. La ocurrencia de sequía socioeconómica podría aumentar debido a un cambio de la frecuencia la sequía meteorológica o por un cambio de la vulnerabilidad social ante la escasez de agua, o ambos. En el AMG, el crecimiento en el padrón de usuarios es más rápido que el de la población misma, lo que implica que se atiende a un número cada vez mayor de consumidores, privilegiando el crecimiento de la oferta por sobre la reducción de la demanda.

El contexto (vulnerabilidad) del sector hídrico en el AMG

El rápido crecimiento demográfico en el AMG en décadas recientes ha incrementado la demanda por servicios básicos. El AMG ha seguido la tendencia de gran parte del país de tratar de garantizar el abasto de agua explotando al máximo los recursos hídricos disponibles, en las cuales las estrategias institucionales de ahorro o de re-uso de agua son limitadas (CONAGUA, 2018). El consumo en el AMG es relativamente bajo, alrededor de 209 litros por persona al día (l/hab/día) (SIAPA, 2019), principalmente cuando se le compara con otras grandes metrópolis de México. En el periodo 2001-2012 el número de usuarios se incrementó en 27%, es decir a una tasa aproximada de 2% anual. En años más recientes, entre 2015 y 2019, según los datos del padrón de usuarios, el agua que se entrega al AMG aumenta a una tasa de aproximadamente 1% anual mientras que los usuarios aumentan a una tasa del 1.8% aproximadamente (Figura 54).

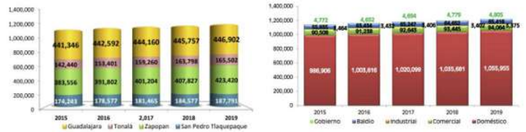
Figura 54 Evolución del padrón de usuario y volúmenes suministrados por SIAPA para el AMG entre 2015 y 2019
Fuente: SIAPA (2019, p. 19)



AÑO	2015	2016	2017	2018	2019
ALTA DE CUENTAS	22,616	24,787	19,717	15,870	21,656
% crecimiento	2.0%	2.2%	1.7%	1.3%	1.80%

La mayor parte de los usuarios es del sector habitacional (86%), y en mucho menor medida el sector industrial y comercial (Figura 55). La tasa de crecimiento poblacional del AMG es de alrededor del 1.7% anual (IIEG, 2015), que puede dividirse en aumentos de usuarios de alrededor de 0.5% anual pensando en familias de cuatro personas. En otras palabras, la demanda de agua seguirá creciendo, pero a tasas menores que las que se tienen en la actualidad.

Figura 55 Porcentaje de usuarios de agua por municipio y por sector en el AMG.
Fuente: SIAPA, (2019, pp. 19-20).



Durante los años 2013 a 2014 (Figura 56), se entregaba al AMG en promedio 9.5 m3/s, pero en años más recientes esa tasa se ha incrementado a cerca de 10 m3/s (Figura 57). Desde el punto de vista climático, el reto es entregar más agua en los meses más calurosos cuando la disponibilidad de agua tiende a ser menor que, por ejemplo, en los meses de verano.

Figura 56 Agua suministrada al AMG en el año 2013 y 2014.
Fuente: Informe SIAPA, (2014, p. 6).



Figura 57 Agua suministrada al AMG para los años 2016, 2017 y 2018
Fuente: Informe SIAPA, (2018, p. 6).



La principal fuente de abastecimiento de agua ha sido y seguirá siendo el Lago de Chapala, seguido del abasto con agua subterránea, y en menor medida la Presa Elías González Chávez y algunos manantiales (Figura 58 y Figura 59). Con el tiempo, la dependencia en el recurso hídrico del Lago de Chapala aumentó pasando del 56% en el 2006, a casi el 68% en el 2014, y a alrededor del 60% en el 2018. Esto está muy relacionado con la condición (nivel de agua) del lago. Al reducirse el consumo del agua de Chapala, se opta por agua subterránea.

Figura 58 Fuentes de abastecimiento de agua suministrada para el año 2014.
Fuente: Informe SIAPA, (2014, p. 5).

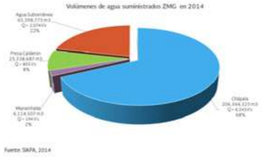


Figura 59 Fuentes de abastecimiento de agua suministrada para el año 2018.
Fuente: Informe SIAPA, (2018, p. 5).



Así, el volumen de agua en el Lago de Chapala ha disminuido pasando de alrededor de 6400 l/s entre 2013-2014(Figura 60) a alrededor de 6000 l/s en 2016-2018 (Figura 61).

Figura 60 Volúmenes mensuales de agua suministrados al AMG (litros/segundo) desde el Lago de Chapala en los años 2013 y 2014
Fuente: Informe SIAPA, (2014, p. 6).



Figura 61 Volúmenes mensuales de agua suministrada al AMG (litros/segundo) desde el Lago de Chapala entre 2016 y 2018.
Fuente: Informe SIAPA, (2018, p. 6).

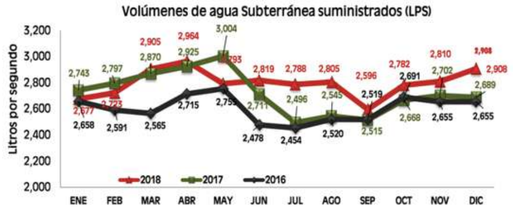


En años recientes se extrae una mayor cantidad de agua subterránea (alrededor de 240 millones de metros cúbicos anuales), con un significativo aumento en los meses más cálidos. La extracción de agua subterránea o de agua del Lago de Chapala aumenta cuando se presentan condiciones de sequía meteorológica (Figura 63). Así, por un lado, se tiene menor recuperación en los cuerpos de agua, pero por otro, la extracción se incrementa, pues en periodos cálidos las demandas por agua crecen por encima de lo que ocurre en un año considerado normal.

Figura 62 Volúmenes extraídos de fuentes de abastecimiento por mes para el periodo 2016 a 2018.
Fuente: Informe SIAPA, (2018, p. 9).



Figura 63 Volúmenes de agua extraídos para suministro del AMG en años recientes por mes, mostrando el aumento en la extracción en los meses cálidos.
Fuente Informe SIAPA, (2018, p. 7).

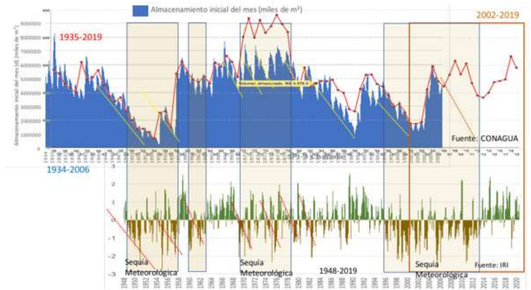


Por lo anterior, existe riesgo de que las condiciones de las fuentes de agua superficial o subterráneas sean afectadas por una sequía meteorológica intensa y la situación pueda derivar en una sequía socioeconómica. Las variaciones en el almacenamiento del Lago de Chapala son función, principalmente del clima, pero también del manejo. Los registros históricos de CONAGUA sobre el almacenamiento en Chapala muestran con claridad que, en el pasado, las sequías intensas han reducido críticamente los niveles en el lago.

El peligro de la sequía meteorológica

En periodos de sequía prolongada, como en la década de los 1950, o más recientemente, a principios del s. XXI, las sequías de SPI < -2 causaron fuertes reducciones en los almacenamientos en Chapala haciendo que se llegara volúmenes de 1000 millones de metros cúbicos (Figura 64). Tal situación puede considerarse como extremadamente grave si se piensa que cada año se extraen cerca de 200 millones de metros cúbicos de Chapala. En los años 1950 afortunadamente, las demandas de agua eran mucho menores que lo que son en la actualidad, por lo que el contexto de riesgo no era tan adverso para que se produjera una sequía hidrológica y socioeconómica. Sin embargo, en la actualidad, una situación como la descrita generaría un grave riesgo de sequía socioeconómica para el AMG. Es por ello, que se ha ido disminuyendo en años recientes la dependencia en la disponibilidad de agua en Chapala.

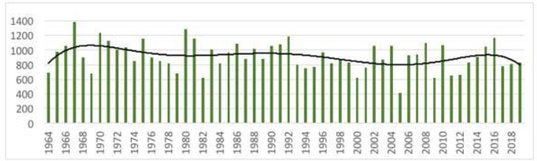
Figura 64 Almacenamiento (miles de m3) en el Lago de Chapala, en relación con periodos de sequía (SPI-12) en la región occidente de México[16].
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IRI y CONAGUA.



16 Los periodos de sequías severas y prolongadas se enmarcan en un rectángulo crema). Las tendencias de decrecimiento en la disponibilidad de agua y la intensificación de la sequía meteorológica se indican con líneas punteadas amarillas y rojas respectivamente.

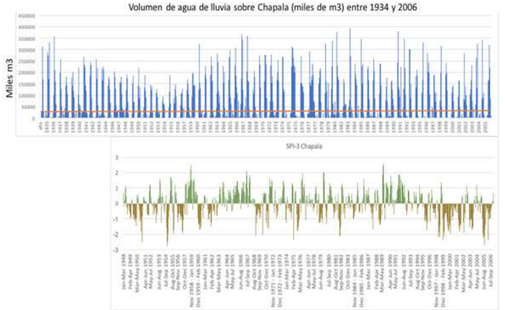
Un análisis de la tendencia de la precipitación sobre la zona del Lago de Chapala indica que entre 1964 y 2019 hay una ligera tendencia a la baja (Figura 65), aunque con una fuerte influencia de factores naturales de variabilidad de baja frecuencia. Méndez y Magaña (2010) han mostrado que las variaciones de muy baja frecuencia (decadales) en la precipitación están relacionadas con oscilaciones de baja y muy baja frecuencia en las condiciones de los océanos Pacífico y Atlántico en los trópicos.

Figura 65 Precipitación anual (mm/año) en la zona de Chapala entre 1964 y 2019
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA.



Los volúmenes de agua en la zona de Chapala, resultado de lluvia y escurrimiento reflejan la disminución en la recuperación cuando se entra en periodos de sequía meteorológica severa y prolongada. En años críticos, la disponibilidad se acerca de forma crítica a la cantidad de agua que se requiere para el abasto al AMG (Figura 66).

Figura 66 Volumen de agua que llueve en la zona del Lago de Chapala (miles de m3) y variaciones del SPI que reflejan condiciones de sequía[17].
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IRI y CONAGUA



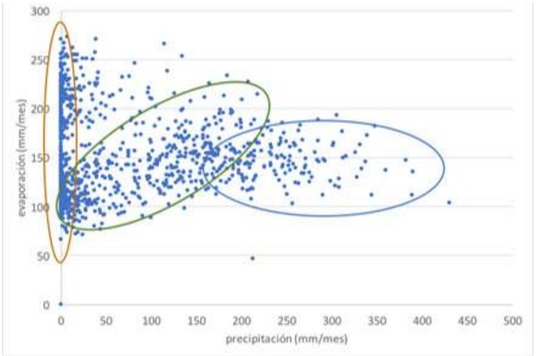
17 La Línea roja indica el nivel de consumo de agua actual en el AMG

El problema que relaciona el volumen de agua disponible en Chapala con la condición climática involucra también el efecto de la evaporación: periodos de lluvia deficitaria, con baja humedad atmosféricas y temperaturas elevadas incrementa las tasas de evaporación (Figura 67). De esta manera, la disminución de volumen por extracción y factores climáticos resulta en periodos de disminución marcada de la disponibilidad de agua. La relación evaporación – precipitación en el Lago de Chapala muestra tres regímenes principalmente:

- Nula precipitación y gran evaporación (círculo rojo)
- Precipitación proporcional a evaporación (circulo verde)
- Precipitación mayor que evaporación (círculo azul)

El análisis anterior muestra que, en condiciones de sequía meteorológica o tendencia a menos lluvias, el efecto de la evaporación aumentaría y la recuperación de volúmenes de agua en Chapala se vuelve más difícil.

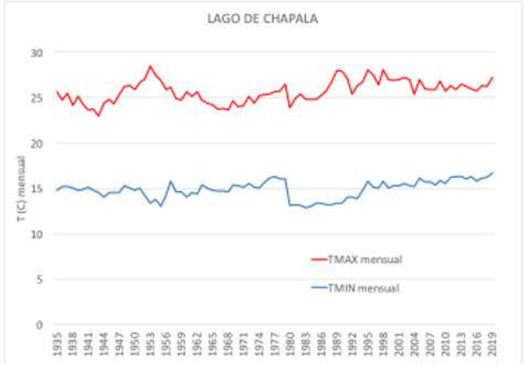
Figura 67 Relaciones entre evaporación y precipitación en el Lago de Chapala entre 1934 y 2006[18].
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA.



Las tendencias de la temperatura máxima en la zona de Chapala indican un incremento lo que favorecerá la tendencia a mayor evaporación en el lago y disminución del volumen almacenado (Figura 68).

18 Círculo naranja: evaporación no precipitación. Círculo verde: evaporación aumenta con precipitación. Círculo azul: evaporación plana por aumento de humedad para precipitación.

Figura 68 Tendencias (1935-2019) de la temperatura máxima anual (°C) y temperatura mínima anual (°C) sobre el Lago de Chapala.
Fuente: elaboración propia con datos del Servicio Meteorológico Nacional



La variabilidad climática resulta en periodos en que la evaporación es mayor que la precipitación y otros en que la precipitación supera la evaporación. La década de los años cincuenta es un ejemplo claro de condición de sequía en que la evaporación supera significativamente la precipitación, situación que llevó a uno de los periodos de disminución en el Lago de Chapala más críticos del siglo XX. Por el contrario, la época de los setenta y noventa, resultó en un periodo de lluvias intensas que superaron la evaporación en Chapala.

La relación evaporación – precipitación serviría para explicar el comportamiento de los niveles de agua en Chapala si se tratara de un sistema natural sin intervención humana (Figura 70). Sin embargo, el uso intensivo de agua de esta fuente, principalmente desde la segunda mitad del s. XX lleva a periodos de niveles extremadamente bajos, aun y cuando la relación precipitación – evaporación no es tan contrastante. Por ejemplo, a principios de los noventas o en los dos mil se presentaron tasas importantes de reducción en el nivel del lago que hacen referencia explotación severa del recurso (Figura 70).

En años recientes, se han presentado grandes variaciones en la relación lluvia evaporación para la recuperación de almacenamientos. Años de sequía (como 2011), muestran que el descenso domina sobre la recuperación, mientras que en otros como el 2003, la recuperación es claramente superior al descenso. Los periodos prolongados en que el descenso domina son de alrededor de tres años (Figura 71)

Figura 69 Evaporación mensual (línea amarilla) y precipitación mensual (línea azul) mm/mes entre 1934 y 2019 sobre el Lago de Chapala.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA.

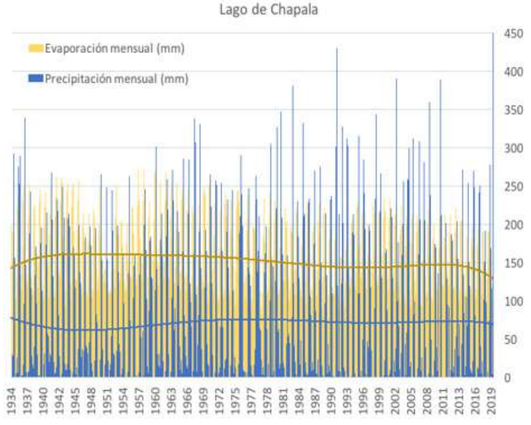


Figura 70 Cota del nivel de agua en el Lago de Chapala (m) entre 1900 y 2019
Fuente: Comisión Estatal de Agua de Jalisco, a partir de datos de CONAGUA.

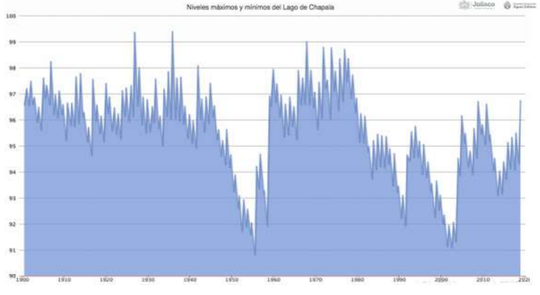
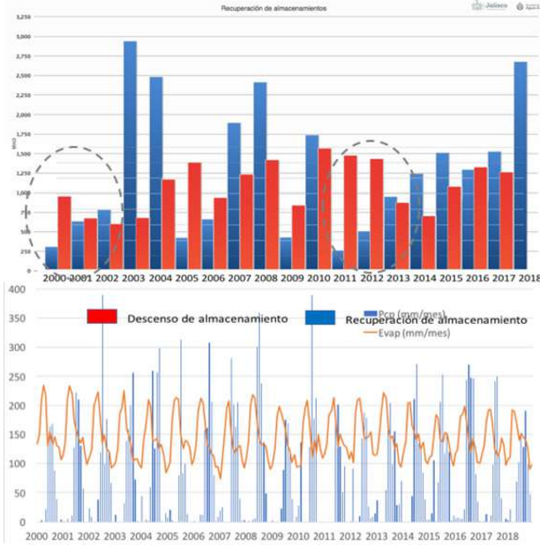


Figura 71 Relación descensos – recuperación en los niveles del Lago de Chapala entre 2000 y 2018.
Fuente: Comisión Estatal del Agua de Jalisco y datos de CONAGUA.

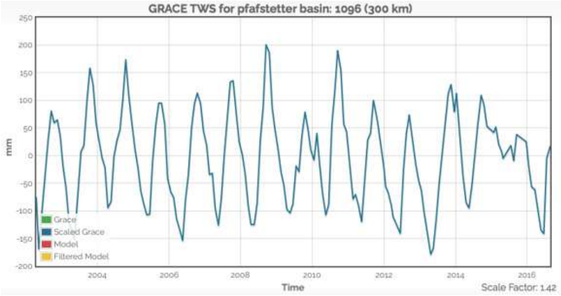


De esta manera, son las sequías prolongadas las que afectan la disponibilidad de agua del AMG al afectar de forma importante la disponibilidad en el Lago de Chapala. En años recientes, las sequías con SPI-6 < -2 por periodos de dos años o más se convierten en peligro crítico en la disponibilidad de agua. Es por ello, que en periodos de sequía como entre 2011 y 2013 se recurre a cumplir con el abasto de agua al AMG mediante mayores extracciones de agua subterránea.

La condición de los acuíferos en México no es monitoreada con frecuencia por lo que se tiene solamente referencia a ciertos periodos. El diagnóstico de la CONAGUA (2018) indica que prácticamente todos los acuíferos que pueden abastecer al AMG están sobreexplotados. Existe la posibilidad, en años recientes, de analizar los cambios en la disponibilidad de agua subterránea mediante el uso de satélites que, a través de gravimetría, pueden estimar las fluctuaciones en la disponibilidad de agua, cuya mayor parte corresponde a agua subterránea. Tal es el caso del satélite GRACE[19], (resolución espacial de 300 km) que publica periódicamente los datos para todo el planeta. En el caso de la zona sobre el AMG, la información de estimación de agua subterránea indica que en el periodo 2006 a 2009, la tendencia mostraba un comportamiento positivo, pero durante, y después de la sequía del periodo 2011-2013, el recurso disminuyó significativamente hasta que, gracias a precipitaciones anómalamente intensas en el 2013 (Figura 72), los niveles de agua subterránea se recuperaron. Sin embargo, un nuevo déficit de precipitación en 2017 llevó a una disminución marcada en la disponibilidad de este recurso. Seguir este tipo de monitoreo es importante y refleja en gran medida el impacto del clima y los patrones de lluvia, sobre la disponibilidad de agua.

Ello no significa que el clima es el único elemento para considerar en la gestión del recurso agua. El incremento en la oferta que mantiene SIAPA depende de dos fuentes que están siendo significativamente explotadas: i) el Lago de Chapala, y ii) el agua subterránea. El AMG ha sorteado la sequía meteorológica recurriendo a estas dos fuentes de abastecimiento cuando la situación climática es adversa. Las sequías meteorológicas afectan la disponibilidad en ambas fuentes y con ello hacen que se produzca sobreexplotación.

Figura 72 Estimaciones de variación de las aguas subterráneas en el AMG y sus alrededores.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GRACE.



19 Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), disponible en el sitio https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/g/grace y https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/

El riesgo de sequía socioeconómica en el AMG

Hasta ahora, es difícil hablar de sequía socioeconómica en el AMG ya que se ha mantenido el abasto y la oferta de forma tal no se ha resentido a un nivel crítico de desabasto. Sin embargo, es necesario reconocer que las sequías meteorológicas ponen en serias dificultades la provisión del recurso hídrico para la metrópoli. La ocurrencia de grandes sequías en periodos del siglo XX muestra que la disminución en la disponibilidad en Chapala podría llegar a hacer a esta fuente inaccesible. Más de tres años de sequía con SPI-6 < -3 puede resultar en niveles en el Lago de Chapala en los que se vuelva imposible la extracción (cercanos a los 1,000 millones de metros cúbicos en un contexto donde se extraen 200 millones de m3 por año para la zona urbana). Recurrir a fuentes de agua subterránea tiene consecuencias en abatimiento de los acuíferos que son detectables con claridad (con reducciones de 25 a 30% de acuerdo con estimaciones del satélite GRACE). Eso significaría grandes dificultades para abastecer una demanda creciente, que puede llegar a más de 300 millones de m3 por año.

A pesar de que las demandas no son tan altas, el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) (CONAGUA et al., 2015) para el AMG propone que, en caso de sequías meteorológicas intensas, se reduzca la oferta de agua de forma proporcional a los déficits de precipitación o disponibilidad de agua. Así, una reducción del 20% en las lluvias debiera traducirse en reducciones de 20% en el abasto para los usuarios. Si la reducción llega al 40% entonces se debe reducir en proporción semejante el abasto. Tal situación volvería crítico el abasto para el agua, pues con reducciones cercanas al 30% se tendría suministros de alrededor de 120 l/per/día, lo que está casi por debajo de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), pero que definitivamente harían que el AMG entrara a una situación de sequía socioeconómica.

Hasta ahora, tal situación no parece ocurrir y se salva mediante explotación de acuíferos. Sin embargo, como señalan Neri y Magaña (2016), dicha situación vuelve aún más vulnerable al sector hídrico de sufrir una sequía, por lo que mantener la oferta a costa de sobreexplotación resulta inadecuado. De acuerdo con el Sistema Nacional de Información sobre Agua de la CONAGUA[20], en la entidad se tenían un total de 149 plantas de tratamiento de aguas residuales en el año 2019, las cuales procesaron un caudal de 10.7 m3/seg. Si se considera que puede tratarse un alto porcentaje de aguas residuales, y con ello acceder al re-uso, es necesario pensar en esquemas que aumenten la capacidad del AMG de tratar sus aguas residuales para aprovecharse con fines industriales o agrícolas, en un intercambio del recurso. De esa manera, se podría recuperar hasta un 10 o 15% del agua.

En síntesis, la precipitación varía de forma natural con recurrencias de entre 5 y 20 años, y en ciertos periodos resulta en déficits que producen sequías meteorológicas severas y prolongadas. Las sequías en 2000-2002 y en 2011-2013 alcanzaron valores cercanos a SPI-6 < -3 en al menos un año y alrededor de -2 por dos años. Sequías SPI < -2 significa reducciones en los niveles del Lago de Chapala de alrededor de 6%, lo que implica reducciones de hasta 200 a 400 millones de m3 de agua. Tal reducción es de entre un 20 y un 40% del agua que se suministra a la AMG cada año. El PMPMS para el AMG propone reducciones equivalentes al suministro (de entre 20 y 40% dependiendo de la severidad de la sequía). Pero una reducción de 20 a 40% en la disponibilidad de agua pondría a las personas muy cerca del límite recomendado por la OMS para mantener la salud (suponiendo que se dispone en condiciones normales de 200 l/p/d). En pocas palabras, una sequía meteorológica con SPI-6 entre -2 y -3 (peligro) tiene probabilidad de alrededor del 15%, lo que afectaría de forma recurrente a la población con reducciones de 20 a 40% en un contexto de vulnerabilidad donde el reúso y la cultura del agua no se han traducido en acciones concretas.

Hasta ahora, la respuesta durante periodos de sequía es extraer más agua de los acuíferos, lo que reduce su disponibilidad entre 20 y 25% en un episodio de sequía intensa. Un reto adicional es proveer agua en periodos muy cálidos, ya que con temperaturas elevadas (Tmax > 30ºC) los consumos aumentan y el agua disponible disminuye. En periodos de calor de este tipo hacen que los consumos de agua en el AMG aumenten en alrededor de 10%. Sin embargo, sólo alrededor del 7% del agua usada en el AMG es tratada para su reúso, lo que, si bien es un factor de vulnerabilidad, abre la posibilidad de mayores tratamientos con y con ello intercambios de agua de calidad con otros sectores como el industrial o el agrícola.

Políticas públicas como los PMPMS pueden representar un punto de partida en que la gestión de riesgo de sequía socioeconómica disminuya. Ello implica que se debe generar una combinación de medidas de reducción de consumo puede favorecer la recuperación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, para enfrentar sequías meteorológicas severas y prolongadas. En el caso del AMG, debe garantizarse un abasto de por lo menos 120 l/per/día bajo condiciones de sequía severa. Si no se logra un nivel básico de acceso al servicio, no se podrá asegurar la higiene y se podrían poner en riesgo la salud de las personas. Por lo tanto, proveer un nivel básico de acceso es la más alta prioridad para los sectores de agua y de salud.

20 http://sina.conagua.gob.mx/sina/anexos.html. Último acceso, 9 de abril de 2021



Información Complementaria

Fuentes de datos

NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems and U.S./Japan ASTER Science Team (2019). ASTER Global Digital Elevation Model V003 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. https://doi.org/10.5067/ASTER/ASTGTM.003

Censo de Población y Vivienda 2020. Disponible en el sitio: https://censo2020.mx/

Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS). Disponible en varios de los servidores enlistados en el siguiente vínculo: https://chc.ucsb.edu/data/chirps

IRI (International Research Institute for Climate and Society) bases de datos globales de precipitación. Disponible en el sitio: https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IRI/.Analyses/.SPI/

Comisión Estatal de Aguas de Jalisco. Sistema Estatal de Información del Agua. Disponible en el sitio: https://www.ceajalisco.gob.mx/sites/sia/

Comisión Nacional del Agua, Sistema Nacional de Información sobre el Agua. Disponible en el sitio: http://sina.conagua.gob.mx/sina/anexos.html

Comisión Nacional del Agua, base de datos de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS). Disponible en el sitio: https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Carta de edafología, a partir de la unión de 32 coberturas: 17 a escala 1:250000 y 15 a 1:1000000 (1995). Disponible en el sitio: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/eda251mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

INEGI, Uso de suelo y vegetación Serie VI (2017). Disponible en el sitio: https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Descargas

INEGI, Modelo digital de elevación tipo superficie con 5m de resolución derivado de sensores remotos satelitales y aerotransportados, con escala 1:10,000, datum ITRF08 (época 2010.0). Modelos comprendidos en las cartas 1:50,000 F13D55, F13D56, F13D65, F13D66, F13D67, F13D75 y F13D76.

INEGI, Cuerpos de agua, escala 1:50,000. Tema hidrología, colección zona hidrogeológica, Estados Unidos Mexicanos (2009). Disponible en el sitio https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598435

Fideicomiso Riesgo Compartido (FIRCO) Delimitación Nacional de Microcuencas. Cartografía 1:20,000.

Fire Information for Resource Management System (FIRMS), NASA. Disponible en el sitio: https://firms2.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:2021-04-03..2021-04-05;@0.0,0.0,3z

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Disponible en el sitio: https://modis.gsfc.nasa.gov/data/

European Space Agency (ESA). Land Cover CCI Product User Guide Version 2. Tech. Rep. (2017). Disponible en el sitio: https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf

Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) (cartografía del campo gravitatorio terrestre). Disponible en el sitio: https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/

Instituto Metropolitano de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara. Capas POTMET D-5.1, D-5.3, D5.4, E-7.5B, E7.7, E-7.8. Disponibles en el sitio: https://sigmetro.imeplan.mx/mapa

Software de modelo hidráulico1D: HEC-RAS, (Hydrologic Engineering River Analysis System) HEC-RAS. Disponible en el sitio: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/

Software de modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Hydrologic Modelling System) HEC-HMS Disponible en el sitio: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/

Imágenes Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). Disponibles en el sitio: https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/download-nrt-data/viirs-nrt

Imágenes LANDSAT 8, PATH/ROW 29/46 del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Disponibles en el sitio: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-shapefiles-and-kml-files

Glosario

Este glosario proviene de diferentes fuentes oficiales a nivel nacional e internacional, las cuales se han adaptado para propósitos de este Atlas (CENAPRED, 2017; Flores Corona, 2006; UNISDR, 2009, 2015b). También hemos hecho uso de diferentes fuentes científicas (Narváez et al., 2009; Sheppard & McMaster, 2004). Las definiciones relativas al diseño, focalización y segmentación del Atlas de Riesgos son de elaboración propia en el marco de este proyecto.

Alerta: Es el tiempo previo al posible impacto de un evento adverso sobre una población o un sistema determinado. Se llama alerta al período anterior a la ocurrencia de un desastre, declarado con el fin de tomar precauciones generales.

Amenaza: Es una expresión activa (o materialización) del peligro, en un plazo corto. Refiere a un evento con una expresión geográfica y temporal específica, del cual se analiza su intensidad. Los valores de la amenaza usualmente se utilizan para diseñar acciones a corto plazo ante el riesgo (particularmente en los procesos clave 3. Reducir el riesgo existente y 4. Preparar la respuesta). Es decir, nos referimos a cualquier factor externo con potencial para provocar daños sociales, ambientales y económicos en una comunidad vulnerable durante determinado periodo de tiempo. Se puede considerar la expresión activa del peligro.

Capacidad: La combinación de todas las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles dentro de una comunidad u organización para llevar a cabo acciones de gestión y reducción de los riesgos de desastre.

Cartografía probabilística: Producto que muestra la probabilidad de ocurrencia o excedencia de un determinado fenómeno (peligro) o daño (riesgo) en un periodo de tiempo. Siempre tiene un componente de incertidumbre y es un cálculo dinámico de varios escenarios. Suele representarse a través de mapas de propósito especial o de mapas temáticos cuantitativos continuos.

Cartografía determinística: Producto que muestra el cálculo de las características de un fenómeno a partir de parámetros conocidos, bajo supuestos previos. No incluye el componente de incertidumbre; representa los fenómenos de manera estática y se construye a partir de un solo escenario. Suele representarse a través de mapas temáticos cuantitativos discretos o mapas cualitativos.

Emergencia: Estado directamente relacionado con la ocurrencia de un fenómeno físico peligroso o por la inminencia del mismo, que requiere de una reacción inmediata y exige la atención de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general. Constituye una fase o componente de una condición de desastre, pero no es, per se, una noción sustitutiva de desastre. Puede haber condiciones de emergencia sin un desastre.

Escala: Es el nivel lógico de observación y expresión de un fenómeno en el espacio geográfico. Se compone por la resolución (granularidad de los datos), la extensión (amplitud espacial que abarca el fenómeno geográfico), la agregación (unidades de agrupación de los datos disponibles) y las falacias (limitaciones en la inferencia espacial).

Focalización: Es la identificación de los objetivos específicos que cumple un Atlas en una escala operacional específica (en este caso, metropolitana). Se define a partir de las facultades y atribuciones que tienen los diferentes actores, a la luz de los seis procesos clave de gestión de riesgos

Peligro: Probabilidad de ocurrencia, analizada en una escala temporal de mediano y largo plazo, de que un fenómeno rebase los umbrales en donde el impacto negativo es significativo; es decir, una probabilidad de un evento de alta magnitud. Los valores de peligro usualmente se utilizan para diseñar acciones a mediano y largo plazo ante el riesgo, en los cuales se busca corregir las condiciones de vulnerabilidad física y social aun y cuando no esté ocurriendo el fenómeno que causa daño.

Procesos clave de gestión de riesgo: Son los 'hitos' o fases del proceso riesgo-desastre. Estos procesos inciden en la en gestión reactiva (acciones tendientes a atender las emergencias en el momento en que éstas ocurren), gestión correctiva (acciones tendientes a reducir el riesgo ya existente) y gestión prospectiva (acciones que se abocan a atender a la creación del riesgo futuro).

Reducción del Riesgo de Desastres: Proceso de la gestión del riesgo de desastres enfocado en minimizar vulnerabilidades y riesgos en una sociedad, para evitar (prevención) o limitar (mitigación y preparación) el impacto adverso de amenazas, dentro del amplio contexto del desarrollo sostenible.

Riesgo:
En su sentido más general, es la probabilidad de daño. Esta probabilidad se calcula en función de la interacción de diferentes elementos, particularmente la amenaza (materialización de un peligro) a la cual están expuestos diferentes elementos sociales (personas, bienes e infraestructura crítica). Los diferentes tipos de vulnerabilidad (elementos físicos, ambientales y sociales) son los reguladores del daño, de manera que es posible reducir el riesgo (probabilidad de daño) incidiendo en los diferentes factores o procesos de vulnerabilidad.

Segmentación: Es el proceso de diseñado de productos cartográficos orientados a las necesidades y características de los diferentes usuarios, para que la información que el instrumento contiene sea adecuada a sus conocimientos, necesidades y atribuciones, y para el adecuado ejercicio del derecho a entender.

Usuarios: Son grupos de personas definidas a partir de sus diferentes perfiles e intereses, que comparten un conjunto de creencias, normas y principios que generan una base de valores para la acción social. Se definen particularmente a través de su área de competencia profesional, funciones y/o atribuciones (para el caso de actores cuyo eje es el servicio público), o bien, en términos de sus intereses y competencias informacionales y digitales (para el caso de comunidades y ciudadanos en general).

Vulnerabilidad: Las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos o ambientales, que incrementan la susceptibilidad a los impactos de una amenaza.

Referencias

Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., García, I. G., Araujo, R. M., Santos, A. R., Valle, V. E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J. J., … Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. Journal of Geophysical Research, 110(D23), D23107. https://doi.org/10.1029/2005JD006119

Aldrich, D. P. (2019). Black wave: How networks and governance shaped Japan's 3/11 disasters. The University of Chicago Press.

AMS. (2012). Climate change. An information statemente of the American Meteorological Society. American Meteorological Society. https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/about-ams/ams-statements/archive-statements-of-the-ams/climate-change1/

Anderson, L. O., Marchezini, V., Morello, T. F., & Cunningham, C. A. (2019). Modelo conceitual de sistema de alerta e de gestão de riscos e desastres associados a incêndios florestais e desafios para políticas públicas no Brasil. Territorium, 26(I), 43-61. https://doi.org/10.14195/1647-7723_26-1_4

Ansari, T. A., Katpatal, Y. B., & Rishma, C. (2020). A Historical Review of Slope Based SCS Method and its Effect on CN and Runoff Potential Globally [Preprint]. ENGINEERING. https://doi.org/10.20944/preprints202010.0024.v1

Bell, M. L., O'Neill, M. S., Ranjit, N., Borja-Aburto, V. H., Cifuentes, L. A., & Gouveia, N. C. (2008). Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: A case-crossover study in São Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico. International Journal of Epidemiology, 37(4), 796-804. https://doi.org/10.1093/ije/dyn094

Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. Hydrological Sciences Bulletin, 24(1), 43-69. https://doi.org/10.1080/02626667909491834

Blake, R., Grimm, A., Ichinose, R., Horton, S., Gaffin, S., Jiong, S., Bader, D., & Cecil, L. (2011). Urban climate: Processes, trends and projections. En C. Rosenzweig, W. Solecki, S. Hammer, & S. Mehrotra (Eds.), Climate change and cities: First assessment report of the Urban Climate Change Research Network. Cambridge University Press.

Brewer, C. A. (1994). Color Use Guidelines for Mapping and Visualization. En Modern Cartography Series (Vol. 2, pp. 123-147). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-042415-6.50014-4

Brewer, C. A. (2008). Designed maps: A sourcebook for GIS users (1st ed). ESRI Press. Bürkner, H.-J., & Ochoa García, H. (Eds.). (2012). Gobernanza y gestión del agua en el occidente de México: La metrópoli de Guadalajara (1a. edición). ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara.

Calera, A., Sánchez, J., & Meliá, J. (1999). Comparación entre imágenes LANDSAT-TM y NOAA-AVHRR síncronas. Teledetección. Avances y aplicaciones., 335-338. http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb77.pdf

Castillo S., M., Quintanilla P., V., & Julio A., G. (2009). Análisis del riesgo y vulnerabilidad contra incendios forestales en áreas de interfaz, provincia de Valparaíso. Territorium, 16, 131-138. https://doi.org/10.14195/1647-7723_16_12

CENAPRED. (2017). Glosario del Índice de Gobernabilidad y Políticas Públicas en la Gestión Integral del Riesgo (GIR) en México. Atlas Nacional de Riesgos. http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/IGOPP/glosario.php

Colegio de México (Ed.). (2018). Desigualdades en México, 2018 (Primera edición). El Colegio de México, Red de Estudios sobre Desigualdades de El Colegio de México : : Fundación Colmex : BBVA Bancomer, BBVA Research.

CONABIO. (2007). Susceptibilidad a los incendios de la vegetación natural. Categorías de susceptibilidad a los incendios de las comunidades vegetales. http://conabio.gob.mx/mapaservidor/incendios/modis/tablas2007/tablas2007/vegetacion.html

CONAFOR. (2010). Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores. Comisión Nacional Forestal. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf

CONAGUA. (2015). PMPMS para usuarios urbanos de agua potable y saneamiento. Informe parcial. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. Consejo de Cuenca del Río Santiago. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99855/PMPMS_ZM_Guadalajara_Jal.pdf

CONAGUA. (2018). Atlas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/AAM_2018.pdf

CONAGUA, PRONACOSE, & COCURS. (2015). PMPS para usuarios urbanos de agua potable y saneamiento. Informe parcial. Consejo de Cuenca del Río Santiago. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99855/PMPMS_ZM_Guadalajara_Jal.pdf

Costafreda-Aumedes, S., Comas, C., & Vega-Garcia, C. (2017). Human-caused fire occurrence modelling in perspective: A review. International Journal of Wildland Fire, 26(12), 983. https://doi.org/10.1071/WF17026

Cressman, G. (1959). An Operational Objective Analysis System. Monthly Weather Review, 87(10), 367-374.

de la Sala, S., Maldonado, M., & Alterman, R. (2019). Políticas de Suelo, Derecho Urbanístico y Cambio Climático: Instrumentos Urbanísticos-Tributarios como Medidas para Enfrentar al Cambio Climático. Working Paper WP19SD1SP. Lincoln Institute of Land Policy.

Eslava, H., Jiménez, M., Baeza, C., Monroy, V., & Cordero, D. A. (2016). Alertamiento hidrometeorológico 2015. Centro Nacional de Prevención de Desastres. https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION_XLI_A/35.pdf

ESRI. (2021). Interpolación por spline. En Diccionario SIG. https://support.esri.com/es/other-resources/gis-dictionary/term/ff678a7a-74aa-49e2-93b4-42090e37c3fb

Estrada, G. (2018). Los sistemas urbanos de drenaje sustentable: Una estrategia adaptativa para incrementar la resiliencia en las zonas urbanas. Revista RUA. Red Universitaria de Urbanismo y Arquitectura. Resiliencia, 20, 1-14.

Fleta, J., González, G., Muñoz, E., Faci, E., & Aurensanz, E. (2013). Golpe de calor. Boletín de la Sociedad de Pediatría de Aragón, La Rioja y Soria, 43(2), 53-59.

Flores Corona, L. (2006). Guía básica para elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: Evaluación de la vulnerabilidad física y social. Secretaría de Gobernación : Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Flores, J. G., Benavides, J. de D., Valdez, C., Vega, D. G., & Casillas, U. D. (2016). Descripción de variables para definición de riesgo de incendios forestales en México. INIFAP SAGARPA. https://snigf.cnf.gob.mx/wp-content/uploads/Incendios/Insumos%20Manejo%20Fuego/Areas%20prioritarias/Definicion%20de%20riesgo.pdf

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. Scientific Data, 2(1), 150066. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66

Galván, L., & Magaña, V. (2020). Forest fires in Mexico: An approach to estimate fire probabilities. International Journal of Wildland Fire, 29(9), 753. https://doi.org/10.1071/WF19057

Gleason, J. A. (2016a). Gestión y planeación del sistema hidrosanitario del Área Metropolitana de Guadalajara. Un reto hacia la sustentabilidad. CUAAD UDG. https://docplayer.es/75433364-Gestion-y-planeacion-del-sistema-hidrosanitario-del-area-metropolitana-de-guadalajara.html

Gleason, J. A. (2016b). Historia del deterioro del ciclo del agua en el Área Metropolitana de Guadalajara. En Aportaciones teóricas en torno al estudio del arte, la arquitectura y la ciudad (pp. 96-112). CUAAD UDG. https://riudg.udg.mx/bitstream/20.500.12104/73633/1/BCUAAD00020.pdf#page=95

González, M. G., & Asprilla, Y. (2016). la habitabilidad del espacio periurbano en el Área Metropolitana de Guadalajara: Entropías en la provisión de servicios hidrosanitarios. Tecnogestión: Una mirada al ambiente, 13(1). https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/12130

Griffin, A. L. (2020). Trustworthy maps. Journal of Spatial Information Science, 20, 5-19. https://doi.org/10.5311/JOSIS.2020.20.654

Grundstein, A. J., & Williams, C. A. (2018). Heat Exposure and the General Public: Health Impacts, Risk Communication, and Mitigation Measures. En Y. Hosokawa (Ed.), Human Health and Physical Activity During Heat Exposure (pp. 29-43). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75889-3_3

Guevara, E., Quaas, R., Fernández, G., Zepeda, O., Muñoz, E., & Torres, L. (2006). Guia básica para elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica. Secretaría de Gobernación : Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Gutiérrez, H., Portilla, R., & Martínez, J. (2016). El programa de desarrollo de las regiones del Estado de Jalisco (México), 1994-2013. En M. J. Mantulak Stachuk, J. C. Michalus Jusczyszczyn, & N. C. Tański (Eds.), Hacia un desarrollo local y regional sostenible: Contribuciones desde la academia: En la América Latina fraterna (pp. 253-278). Editorial Universitaria, Universidad Nacional de Misiones.

Hales, S., Kovats, S., Lloyd, S., & Campbell-Lendrum, D. (2014). Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/134014/1/9789241507691_eng.pdf

Harlan, S. L., Brazel, A. J., Prashad, L., Stefanov, W. L., & Larsen, L. (2006). Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. Social Science & Medicine, 63(11), 2847-2863. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2006.07.030

Hayes, M., Svoboda, M., Wardlow, B., Anderson, M., & Kogan, F. (2012). Drought Monitoring: Historical and Current Perspectives. Drought Mitigation Center Faculty Publications, 94. https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1095&context=droughtfacpub

Illera, P., Fernández, A., & Delgado, J. A. (1996). Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest fire danger. International Journal of Remote Sensing, 17(6), 1093-1105. https://doi.org/10.1080/01431169608949072

IPCC. (2001). Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Informe síntesis. Volumen 4. Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Grupo de Trabajo I, II y III. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_es.pdf

Jáuregui, E. (2005). Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. Atmósfera, 18, 249-252.

Jiménez, M., Baeza, C., & Monroy, V. (2016). Metodología para elaborar mapas de riesgo por temperaturas máximas (1° Estapa Ondas de Calor). Centro Nacional de Prevención de Desastres. https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION_XLI_A/33.pdf

Klinenberg, E. (2015). Heat Wave: A Social Autopsy of Disaster in Chicago. University of Chicago Press.

Krygier, J., & Wood, D. (2011). Making maps: A visual guide to map design for GIS (2nd ed). Guilford Press.

Kuhn, N., & Zu, H. (2008). GIS-based modeling of runoff source areas and pathways. Geographica Helvetica, 63(1), 48-57.

Leblon, B. (2005). Monitoring Forest Fire Danger with Remote Sensing. Natural Hazards, 35(3), 343-359. https://doi.org/10.1007/s11069-004-1796-3

Lefevre, C. E., Bruine de Bruin, W., Taylor, A. L., Dessai, S., Kovats, S., & Fischhoff, B. (2015). Heat protection behaviors and positive affect about heat during the 2013 heat wave in the United Kingdom. Social Science & Medicine, 128, 282-289. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.01.029

Lenihan, J., Daly, C., Bachelet, D., & Neilson, R. (1998). Simulating broad-scale fire severity in a Dynamic Global Vegetation Model. Northwest Science, 72(Special Issue), 91-103.

Lowe, D., Ebi, K. L., & Forsberg, B. (2011). Heatwave Early Warning Systems and Adaptation Advice to Reduce Human Health Consequences of Heatwaves. International Journal of Environmental Research and Public Health, 8(12). https://doi.org/10.3390/ijerph8124623

Lozano, F. J., Suárez-Seoane, S., & de Luis, E. (2007). Assessment of several spectral indices derived from multi-temporal Landsat data for fire occurrence probability modelling. Remote Sensing of Environment, 107(4), 533-544. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.10.001

Magaña, V. (2013). Guía Metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. https://mapserver.sgm.gob.mx/errorGobMx/404.html

Magaña, V. (2016). Considerations for a research program on drought in Mexico. Tecnología y Ciencias del Agua, VII(5), 115-133.

Magaña, V., & Galván, L. M. (2010). Detección y atribución de cambio climático a escala regional. Realidad, datos y espacio, 1(1), 59-66.

Magrin, G. (2015). Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas. https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/39842/S1501318_es.pdf

Maldonado, J., Rodríguez, J. M., & Llaguno, O. (2017). Urban Growth Breaks with Natural Rainfall Run-Off Processes. SSRN Electronic Journal, 1-8. https://doi.org/10.2139/ssrn.3112914

Maldonado, M., Pérez, S., Alterman, R., Pérez, G. A., & Arazo, R. (2020). Cambio Climático Etapa 2: Análisis de casos. Working Paper WP20MM1SP. Lincoln Institute of Land Policy.

Manoli, G., Fatichi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T. W., Meili, N., Burlando, P., Katul, G. G., & Bou-Zeid, E. (2019). Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. Nature, 573(7772), 55-60. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1512-9

Matías, L. G., Fuentes, O., & García, F. (2014). Heladas. Centro Nacional de Prevención de Desastres. http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/122-FASCCULOHELADAS.PDF

McGregor, G. R., & Bessemoulin, P. (2015). Heatwaves and health guidance on warning-system development. World Meteorological Organization, World Health Organization. https://www.who.int/globalchange/publications/WMO_WHO_Heat_Health_Guidance_2015.pdf?ua=1

McKee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. 179-186. https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf

McKenzie, D. (2004). La historia del fuego y su relación con el clima. En L. Villers Ruiz & J. López Blanco (Eds.), Incendios forestales en México: Métodos de evaluación (pp. 13-28). Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Medina, M. de la P., Olguín, M., Solorio, A. R., & Sansón, L. (2017). Inventario de Atlas de Riesgos en México. Informe del Estado Actual. Academia de Ingeniería, México; Comisión Federal de Electricidad, Unión Mexicana de Asociaciones de Ingenieros. http://www.ai.org.mx/sites/default/files/atlas_riesgo.pdf

Méndez, M., & Magaña, V. (2010). Regional Aspects of Prolonged Meteorological Droughts over Mexico and Central America. Journal of Climate, 23(5), 1175-1188. https://doi.org/10.1175/2009JCLI3080.1

Moore, I. D., Norton, T. W., & Williams, J. E. (1993). Modelling environmental heterogeneity in forested landscapes. Journal of Hydrology, 150(2-4), 717-747. https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90133-T

Narváez, L., Lavell, A., & Pérez Ortega, G. (2009). La Gestión del Riesgo de Desastres: Un enfoque basado en procesos. CEBEM. http://www.cebem.org/cmsfiles/publicaciones/gestion_riesgo_desastres.pdf

Natenzon, C. (2015). Vulnerabilidad social, amenaza y riesgo frente al cambio climático. En Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (pp. 1-79). Jefatura de Gabinete de Ministros, Presidencia de la Nación,Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Banco Mundial.

Neri, C., & Magaña, V. (2016). Estimation of Vulnerability and Risk to Meteorological Drought in Mexico. Weather, Climate, and Society, 8(2), 95-110. https://doi.org/10.1175/WCAS-D-15-0005.1

NRCS. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55. United Sates Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf

OPS. (2019). Olas de calor y salud. Medidas a tomar. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud/Américas. https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=download&slug=ola-de-calor-y-medidas-a-tomar-revision-preliminar&Itemid=270&lang=es

Padilla, M., & Vega-García, C. (2011). On the comparative importance of fire danger rating indices and their integration with spatial and temporal variables for predicting daily human-caused fire occurrences in Spain. International Journal of Wildland Fire, 20(1), 46. https://doi.org/10.1071/WF09139

Paredes Salido, F., & Roca Fernández, J. J. (2004). Infecciones gastrointestinales. Offarm, 23(5), 100-106.

Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M. A., Cortés-Ortiz, A., & Salmerón-Macías, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. Madera y bosques, 19, 37-58.

Pfannenstein, B., Martínes Jaramillo, J. O., Anacleto Herrera, E. E., & Sevilla Villalobos, S. (2018). Planificación urbana y la influencia de las urbanizaciones cerradas: El Área Metropolitana de Guadalajara, México. Economía Sociedad y Territorio, 1087-1117. https://doi.org/10.22136/est20191278

Rouse, D. C., & Bunster-Ossa, I. (2013). Green Infrastructure: A landscape approach. American Planning Association.

Ruiz, Naxhelli. (2012). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. Investigaciones Geográficas, 77, 63-74.

Schloss, K. B., Gramazio, C. C., Silverman, A. T., Parker, M. L., & Wang, A. S. (2019). Mapping Color to Meaning in Colormap Data Visualizations. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 25(1), 810-819. https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2865147

Schmoldt, D., Peterson, D., Keane, R., Lenihan, J., McKenzie, D., Weise, D., & Sandberg, D. (1999). Assessing the Effects of Fire Disturbance on Ecosystems: A Scientific Agenda for Research and Management. USDA Forest Service General Technical Report PNW GTR-455. https://www.researchgate.net/publication/2312859_Assessing_the_Effects_of_Fire_Disturbance_on_Ecosystems_A_Scientific_Agenda_for_Research_and_Management

Secretaría de Salud de Jalisco. (2013). Infecciones respiratorias agudas. https://ssj.jalisco.gob.mx/enfermedades/2264

SEDATU. (2017). Términos de Referencia para la Elaboración del Atlas de Peligros y/o Riesgos 2017. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Subsecretaría de Ordenamiento Territorial. http://www1.cenapred.unam.mx/DIR_SERVICIOS_TECNICOS/SANI/PAT/2017/2o%20trimestre/2362%20DI/10729/DS/06%20Junio/Revisi%C3%B3n%20T%C3%A9rminos%20SEDATU/TR_AR_DGOTAZR_17-05-17.pdf

SEDATU. (2020). Guía metodológica para la elaboración y/o adecuación de Programas de Zonas Metropolitanas o Conurbaciones. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano; Banco Interamericano de Desarrollo. https://sistemas.sedatu.gob.mx/repositorio/s/x1CbTcbATzuoE6vD8dRweQ

Sheppard, E. S., & McMaster, R. B. (Eds.). (2004). Scale and geographic inquiry: Nature, society, and method. Blackwell Pub.

SIAPA. (2014). Informe de actividades y resultados. Enero-diciembre 2014. Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado, Gobierno del Estado de Jalisco. https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/informe_anual_2014_0.pdf
SIAPA. (2016). Programa de Manejo Integral de Aguas Pluviales (PROMIAP). Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/promiap_version_publica_070416.pdf

SIAPA. (2017). Antecedentes del Programa de Manejo Integral de Agua Pluvial (PROMIAP) y Plan Integral de Manejo de Inundaciones (PIMI). Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/1.-_antecedentes-promiap-pimi.p

SIAPA. (2018). Informe de actividades y resultados. Enero-diciembre 2018. Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado, Gobierno del Estado de Jalisco. https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/informe_anual_2018.pdf

SIAPA. (2019). Informe de actividades y resultados. Enero-diciembre 2019. Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado, Gobierno del Estado de Jalisco. https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/informe_anual_2019.pdf

Sørensen, R., & Seibert, J. (2007). Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components. Journal of Hydrology, 347(1-2), 79-89. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.001

Soria, J., & Granados, R. (2005). Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA y TM del Landsat. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 12(2), 167-174. Redalyc.

SSA. (2013). Programa de Acción Específico en Prevención y Control de las Enfermedades Respiratorias e Influenza, 2013-2018. Programa Sectorial de Salud. Secretaría de Salud. http://www.cenaprece.salud.gob.mx/descargas/pdf/PAE_PrevencionControlEnfermedadesRespiratoriasInfluenza2013_2018.pdf

Torres, A. (2013). Infraestructura hidráulica en Guadalajara para el abastecimiento de agua potable: El caso de sustentabilidad en las galerías filtrantes de Guadalajara. Relaciones. Estudios de historia y sociedad, 34, 317-357.

Tyner, J. A. (2005). Elements of Cartography: Tracing Fifty Years of Academic Cartography. Cartographic Perspectives, 51, 4-13. https://doi.org/10.14714/CP51.392

Ulloa Godínez, H., García-Guadalupe, M. E., Pérez, A., Meulenert Peña, Á., & Ávila Ramírez, D. (2011). Clima y radiación solar en las grandes ciudades: Zona Metropolitana de Guadalajara (Estado de Jalisco, México). Investigaciones Geográficas, 56, 165. https://doi.org/10.14198/INGEO2011.56.09

UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Estrategia de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres. https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

UNISDR. (2015a). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf

UNISDR. (2015b). Proposed updated terminology on Disaster Risk Reduction: A Technical Review. Background paper. https://www.unisdr.org/files/45462_backgoundpaperonterminologyaugust20.pdf

Vargas, N., & Magaña, V. (2020). Climatic risk in the Mexico city metropolitan area due to urbanization. Urban Climate, 33, 100644. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100644

Vásquez, A., Giannotti, E., Galdámez, E., Velásquez, P., & Devoto, C. (2019). Green Infrastructure Planning to Tackle Climate Change in Latin American Cities. En C. Henríquez & H. Romero (Eds.), Urban Climates in Latin America (pp. 329-354). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97013-4_13

Velázquez, O. (2006). Programa Temporada de Calor 2006. https://www.slideserve.com/purity/presentaci

WSDOT. (2019). Highway Runoff Manual. Washington State Department of Transportation. https://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M31-16/highwayrunoff.pdf

Anexo 1. Distribución anual de reportes de enfermedades diarreicas agudas

Figura 73 Reportes de EDAS año 2000
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011

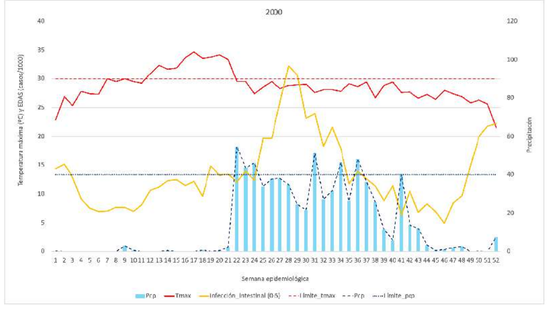


Figura 74 Reportes de EDAS año 2000
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011

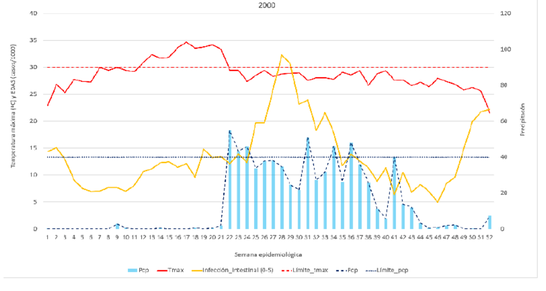


Figura 75 Reportes de EDAS año 2001
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011



Figura 76 Reportes de EDAS año 2002
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011

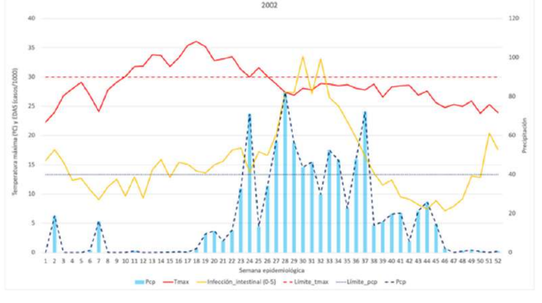


Figura 77 Reportes de EDAS año 2003
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011

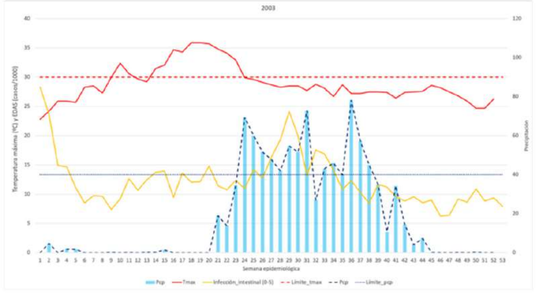


Figura 78 Reportes de EDAS año 2004
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011



Figura 79 Reportes de EDAS año 2005
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011

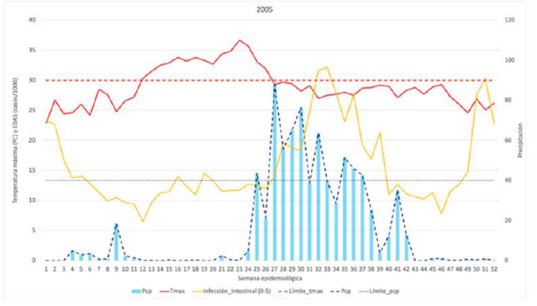


Figura 80 Reportes de EDAS año 2006
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011



Figura 81 Reportes de EDAS año 2007
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011



Figura 82 Reportes de EDAS año 2008
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011



Figura 83 Reportes de EDAS año 2009
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011

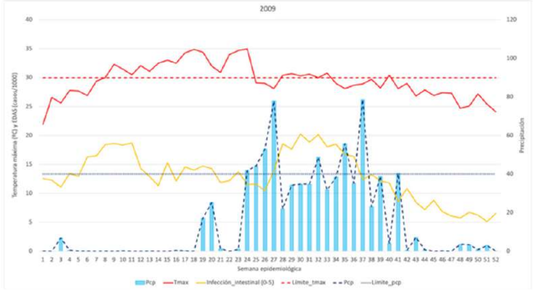


Figura 84 Reportes de EDAS año 2010
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011

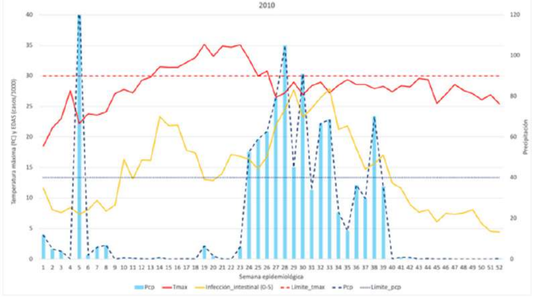


Figura 85 Reportes de EDAS año 2011
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS, 2011

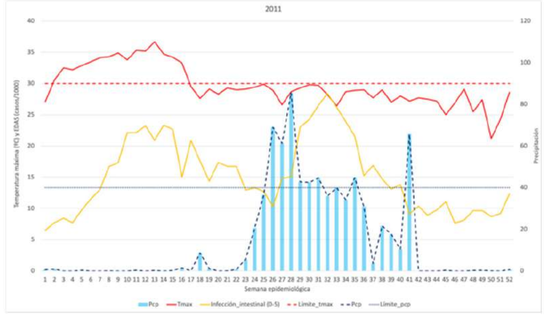
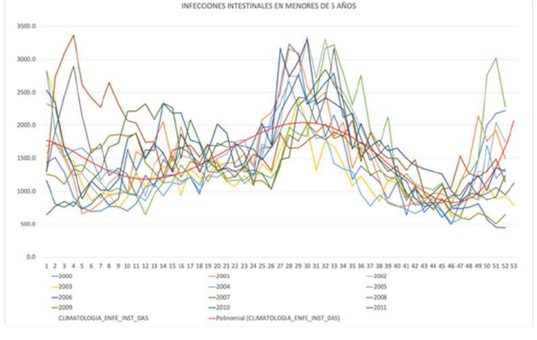


Figura 86 Casos de egresos hospitalarios por EDA entre niños menores de cinco años (casos / 100,000 personas)
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de COFEPRIS



Anexo 2. Distribución anual de infecciones respiratorias agudas

Figura 87 Egresos hospitalarios de IRAS año 2005

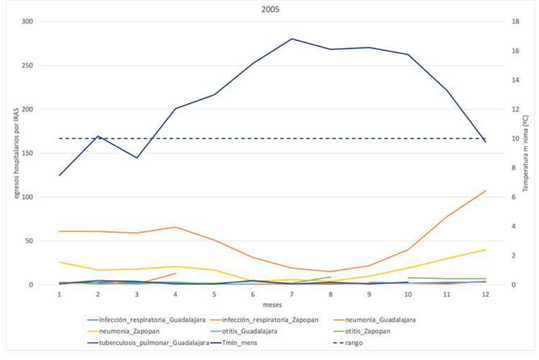


Figura 88 Egresos hospitalarios de IRAS año 2010
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Salud

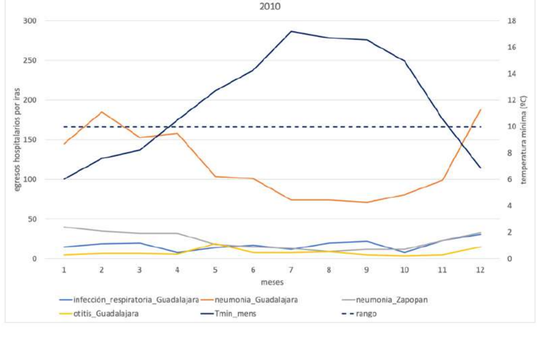


Figura 89 Egresos hospitalarios de IRAS año 2011
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Salud

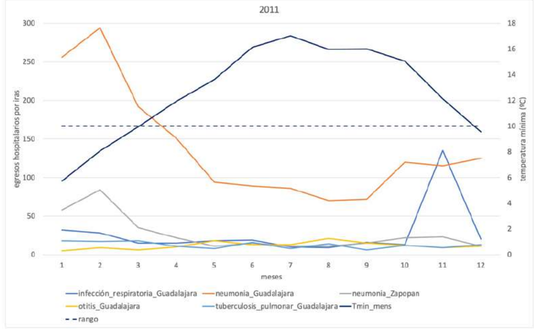
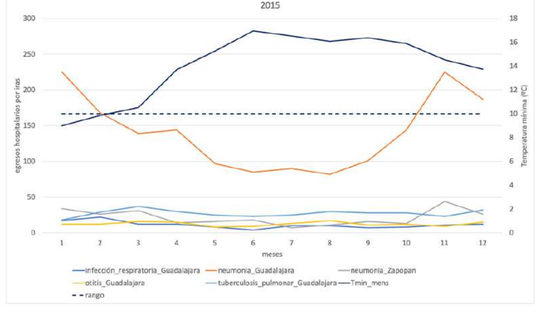


Figura90 Egresos hospitalarios de IRAS año 2015
Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Salud



ANEXO 3: Cartografía en plantilla simplificada para divulgación

Cartografía de inundaciones y encharcamientos

FICHA TÉCNICA (DIV-LL)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Peligro por lluvias** muestra las zonas con diferentes niveles de probabilidad que se presenten precipitaciones mayores a 30 mm por día. Esta medida significa calcular qué tan posible es que un área específica llueva más de lo requerido para juntar 30 milímetros de agua, en cada metro cuadrado de superficie, cada 24 horas.

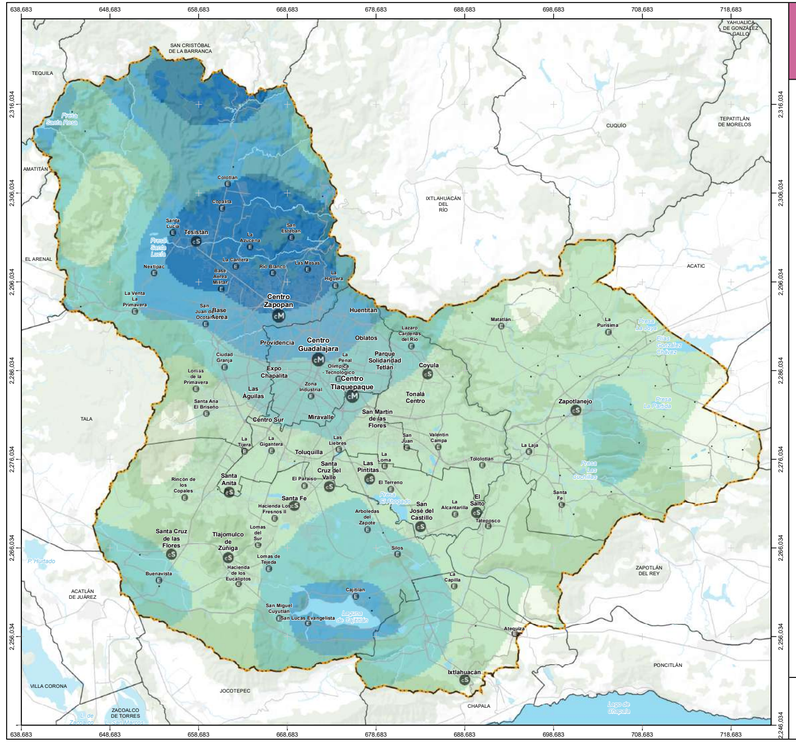
Con esta referencia, se calcula la probabilidad de que la lluvia sea muy abundante, al punto de ser peligrosa. A partir de eso, se identifican las zonas del AMG en donde el peligro es mayor, es decir, las zonas en las cuales es más probable que esta precipitación rebase el umbral de los 30 mm/día, ya que la tendencia es que valores mayores a este umbral generan consecuencias negativas relevantes.

Los rangos del 1 al 5 muestran estos diferentes niveles de probabilidad de lluvia extrema en cada parte del AMG. Entre más alto el nivel, más probable es que llueva con esa intensidad o más (90 de cada 100 eventos de lluvia).

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• El peligro por lluvia muestra las zonas con probabilidades más altas de presentar lluvias que rebasen los 30 mm/día. Ello no quiere decir que solo ahí pueda llover con esa intensidad; significa que es más probable.
• Las lluvias caen en tiempos cortos, se concentran y acumulan rápidamente, y pueden escurrir hacia zonas bajas del AMG. El cálculo de peligro ayuda a identificar las áreas de mayor probabilidad de lluvias intensas y ver hacia dónde circulan. Esto permite tomar previsiones en materia de infiltración, infraestructura de mitigación y alertamiento temprano.
• En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Peligro por lluvias, clave DIV-LL.

I-995.006



PELIGRO POR LLUVIAS (REFERENCIA PERCENTIL 95)

Atlas Metropolitano de Riesgos

El peligro mide la **posibilidad de que se dé una lluvia muy intensa** en una zona del AMG. Se modela a partir de los registros de lluvia de las últimas décadas.

Estas lluvias caen en tiempos cortos. El agua se concentra y acumula rápido, y puede escurrir a las zonas bajas del Área Metropolitana. **Es un factor importante para considerar en las inundaciones.**

En toda el AMG puede ocurrir esta lluvia intensa. **El mapa representa los lugares donde es más probable que se concentre.**

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Probabilidad de precipitación > 40 mm/día para el periodo 2000 - 2018

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

Probabilidad de que por lo menos 5 de cada 100 eventos de lluvias rebasen los 40 mm/día para el periodo 2000 - 2018.

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CeM Centralidad Metropolitana
- CeP Centralidad Periférica
- CeS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de inundaciones (UNAM) 1950-2018, SMN-CONAGUA; Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IGimeplan
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo

NÚMERO DE MAPA
I-995.006
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-LL

FICHA TÉCNICA (DIV-V-IN)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Zonas de mayor vulnerabilidad física ante inundaciones** por la condición del terreno muestra los aspectos del terreno (como las pendientes y los tipos de suelos) que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias.

El mapa reúne información de varias fuentes que modelan por donde escurre el agua y cómo se acumula en ciertos lugares, de tal manera que podemos calcular qué tan probable es que en esas zonas se presenten problemas de inundación debido a sus características físicas. A estos aspectos los llamamos vulnerabilidad física.

Entre los aspectos que consideramos está si el agua se puede infiltrar en el suelo cuando llueve; o bien, si no es así y escurre sobre la superficie, identificar por dónde fluye siguiendo segmentos de la traza urbana. Donde existen condiciones locales propicias, tales como vados, se forman encharcamientos (inundaciones estáticas).

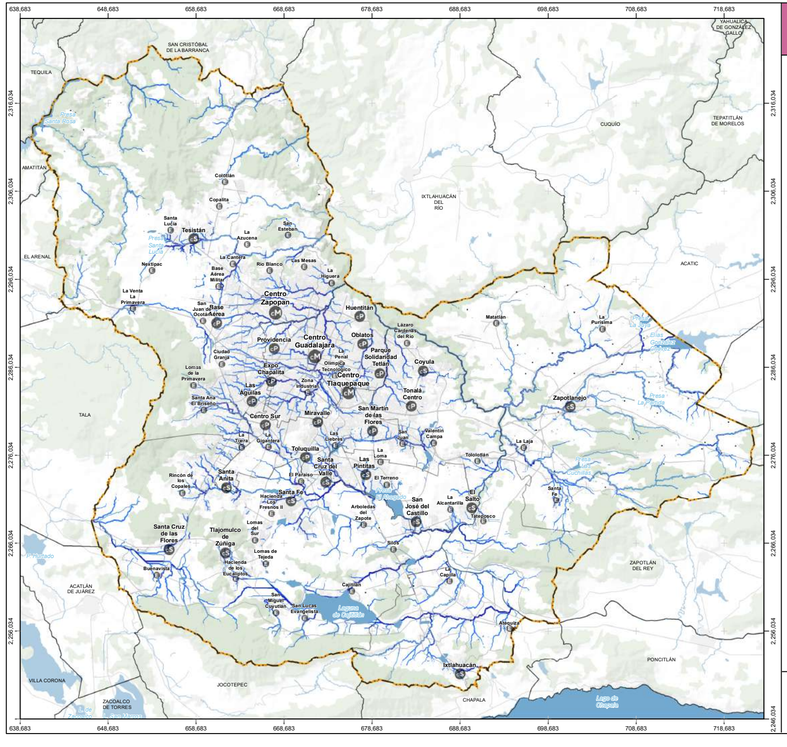
En algunos de estos cauces urbanos, en cambio, el agua puede fluir de manera abundante, dando lugar a corrientes de agua o crecidas (inundaciones dinámicas).

En este mapa aún no se considera el papel de la lluvia. Para ver cómo se distribuye la lluvia intensa en el AMG, ver el mapa 'Peligro por lluvia'. Para ver el efecto combinado de la lluvia y la vulnerabilidad física, ver la serie de mapas 'Niveles de riesgo de inundaciones'.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa es una herramienta para poder identificar las zonas que tienen las características de un área inundable o aquellas en las cuales circula el agua cuando se da un evento intenso de lluvia.
- El mapa nos sirve para observar, de manera general, las condiciones del terreno en toda el AMG y ver cómo las condiciones de las pendientes y el suelo en algunas áreas generan una susceptibilidad a inundación.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad física ante inundaciones, clave DIV-V-IN.

I-995.010



ZONAS DE MAYOR VULNERABILIDAD FÍSICA ANTE INUNDACIONES POR LA CONDICIÓN DEL TERRENO
Atlas Metropolitano de Riesgos

El mapa de **Vulnerabilidad física ante inundaciones** reúne información sobre los aspectos del terreno (como las pendientes y qué tan impermeable es el suelo). Mide la mayor susceptibilidad del territorio a escurrimientos y acumulación de flujos de agua.

Aquí se observa qué tan **probable es que en esas zonas se presenten problemas de inundación** debido a sus características físicas. A estos aspectos los llamamos **vulnerabilidad física**.

El mapa da información de los lugares donde sería más probable que el **agua tenga flujos o crecidas, o que se acumule**. Se valoran tanto las condiciones fuera de la ciudad, y las que se dan dentro de la ciudad (por ejemplo, el trazo de las calles y la infraestructura).

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Vulnerabilidad física del terreno ante inundaciones
- Muy alto
- Alto

SIMBOLOGÍA BASE
- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa
- Centralidad Metropolitana
- Centralidad Periférica
- Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI tipo superficie con 5m de resolución escala 1:10,000, datum ITRF08 (2010). Cartas 1:50,000 F13D55, F13D56, F13D65, F13D66, F13D67, F13D75 y F13D76; Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250,000. Serie II INEGI; MDE ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) resolución de 30 m. Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) /Japan Space Systems, Japan and United States National Aeronautics and Space Administration (NASA); Serie de tiempo sobre vegetación y usos de suelo de la Agencia Espacial Europea resolución 300 m, 100 m y 10 m, para 1992 a 2018, 2015 a 2018 y 2019, respectivamente.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo

NÚMERO DE MAPA
I.995.010
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-V-IN

FICHA TÉCNICA (DIV-R-IN)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Zonas con el mayor nivel de riesgo de inundaciones** muestra las zonas con la mayor probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del efecto combinado de dos aspectos:

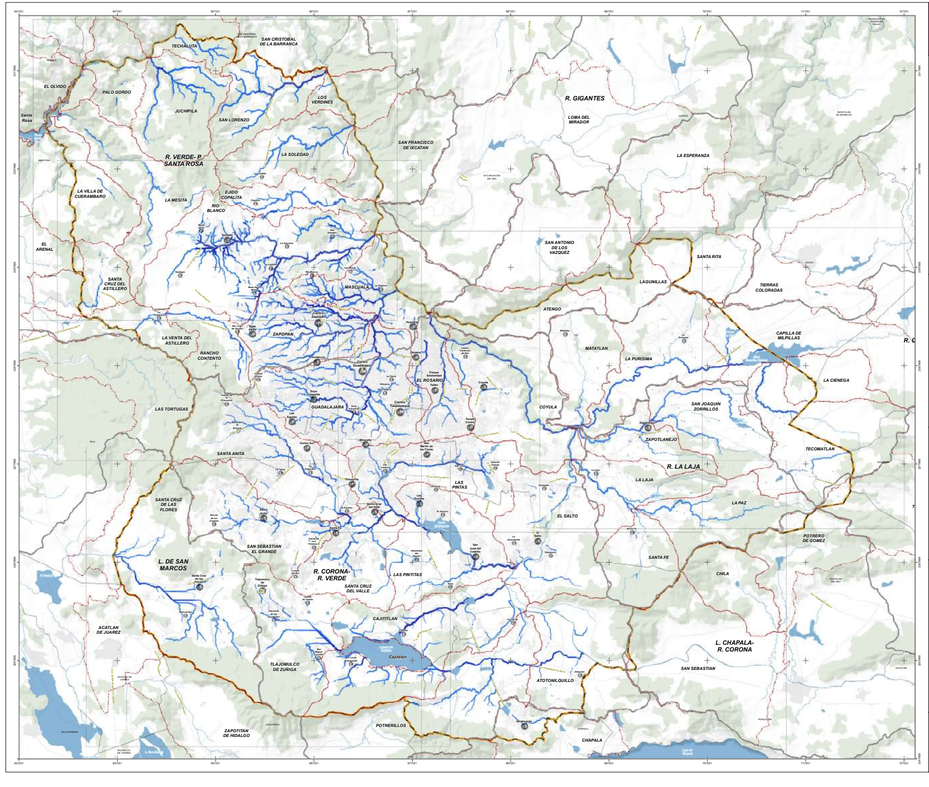
1) la vulnerabilidad física del terreno: (como las pendientes y los tipos de suelos) que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias; y
2) lo que se conoce como peligro por lluvias: la distribución en el AMG de la probabilidad de que se den lluvias muy intensas, tan fuertes que sólo ocurren en menos del 5% de los días lluviosos.

El mapa reúne información de diversas fuentes que representan las condiciones del terreno, lo que permite modelar por donde escurre el agua, cómo se acumula en ciertos lugares, y la capacidad del suelo de infiltrar el agua cuando llueve, en lugar de que se convierta en un río urbano que fluye siguiendo segmentos de la traza urbana.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- El mapa facilita identificar los componentes generales de las condiciones de hidrología del AMG y es un auxiliar para ver qué tan posible es que se susciten eventos en ciertas áreas, marcadas en color oscuro, que reúnen las características y circunstancias que se asocian a la ocurrencia de inundaciones por lluvia ('pluviales').
- El riesgo de inundación evidencia un peso muy importante de la urbanización sobre las condiciones del terreno, ya que crea áreas muy susceptibles cuando se dan condiciones de lluvia intensa. Esto ocurre porque la ciudad hace que el suelo sea impermeable creando condiciones para encauzar la circulación del agua en las zonas habitadas.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Riesgo de inundaciones, clave DIV-R-IN.

I-995.008



ZONAS CON EL MAYOR NIVEL DE RIESGO DE INUNDACIONES
Atlas Metropolitano de Riesgos

NÚMERO DE MAPA: I-995.008
NÚMERO HISTÓRICO: 01
INSTRUMENTO: AMR

El mapa de **Zonas con el mayor nivel de riesgo de inundaciones** muestra las zonas donde hay más probabilidad de que se susciten inundaciones derivadas de las lluvias. Esto resulta del **efecto combinado** de dos aspectos:

1) la **vulnerabilidad física** del terreno (como las pendientes y los tipos de suelos) que generan una mayor susceptibilidad a que se produzcan inundaciones derivadas de las lluvias; y

2) lo que llamamos **peligro por lluvias**: la distribución en el AMG de la probabilidad de que se den lluvias muy intensas y potencialmente dañinas, tan fuertes que sólo ocurren en una proporción muy pequeña de los días lluviosos.

Se notan en color oscuro las zonas en las que circula o se acumula el agua. No siempre se inundará toda el área marcada. El mapa representa las **zonas donde es más probable que ocurra**, no el área total del evento. Esto es útil para planear la infraestructura y las acciones preventivas.

Esas zonas pueden resultar de los **cauces naturales** (ríos o arroyos), o de un **cauce artificial** dentro de la ciudad (calles y avenidas), debido a su pendiente, el trazo y el drenaje.

Para su fácil consulta, este mapa se puede imprimir en gran formato, en un **tamaño de 90x60 cm**. Se puede ver con detalle su relación con la traza urbana.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Nivel de riesgo de inundaciones
- Muy alto
- Alto
- Subcuencas
- Microcuencas
- Índice de hojas

SIMBOLOGÍA BASE
- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad
- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- CE Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN. Dirección de Planeación Metropolitana

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
- PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Modelo Digital de Elevación Modelo Digital de Elevación ASTER GDEM V2. Fecha de publicación: 17 de octubre de 2011 con 30 m de resolución derivado de sensores remotos satelitales y aerotransportados", con escala 1:10,000, datum ITRF08 época 2010, Proyección Universal Transversa de Mercator 13N. F13D54, F13D55, F13D56, F13D64, F13D65, F13D66, F13D74, F13D75, Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250,000. Serie 3 INEGI, Modelo Digital de Elevación ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) con resolución espacial de 30 m. Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) Japan Space Systems, Japan and United States National Aeronautics and Space Administration (NASA) United States, Modelo digital de elevación uso de suelo de la Agencia Espacial Europea de con resolución espacial de 300 m. 100 m y 10 m, para 1992 a 2015 y 2016 a 2019, respectivamente.

ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA:
GUADALAJARA **(GDL) / 39**
IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS **(IXT) / 42**
JUANACATLÁN **(JNC) / 51**
EL SALTO **(SLT) / 70**
TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA **(TLJ) / 97**
TLAQUEPAQUE **(TLQ) / 98**
TONALÁ **(TON) / 101**
ZAPOPAN **(ZPN) / 120**
ZAPOTLANEJO **(ZPT) / 124**

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
PROYECCIÓN: UTM ZC 13N WGS84.
ELIPSOIDE: GRS80.
DATUM: ITRF08 EPOCA 2010.



ESCALA 1:135,000
0 5 10 Km

IG imeplan
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA UNAM
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
UNA CASA REPRESENTATIVA DE GUADALAJARA

DIV-R-IN

Cartografía de ondas de calor

FICHA TÉCNICA (DIV-OC.A)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Áreas del AMG con mayor probabilidad de rebasar condiciones de confort (temperatura de referencia 30°C),** a partir del Índice de Confort Humano.

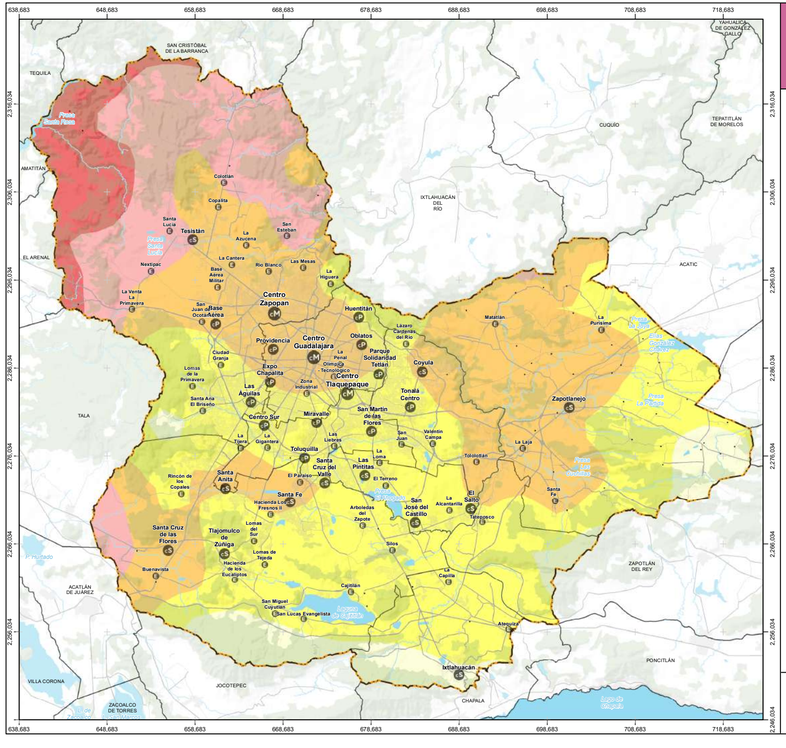
El Índice de Confort Humano se refiere a la combinación de la temperatura y la humedad en la atmósfera. Algunas combinaciones de temperatura/humedad hacen que el cuerpo humano tenga condiciones difíciles en su ambiente, lo cual puede llevar a las personas vulnerables o expuestas (por ejemplo, personas previamente enfermas o personas que trabajan al aire libre) a tener una posible afectación a su salud.

El mapa muestra la distribución en el AMG de las áreas que tienen más probabilidad de eventos de esta combinación de circunstancias de temperatura/humedad, en los cuales se rebasa el Índice de Confort Humano.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• La distribución espacial de esta probabilidad ayuda a conocer las zonas donde puede haber mayor frecuencia de eventos en los cuales la condición de humedad y temperatura pueda afectar a poblaciones vulnerables.
• Esta distribución debe ser considerada para atender poblaciones altamente expuestas (por ejemplo, trabajadores de la construcción o que se desempeñan en la vía pública) o personas que tengan menor tolerancia a este umbral; por ejemplo, quienes tengan estados de salud precarios, piel más clara o más cantidad de grasa corporal.
• Este mapa puede ser auxiliar en el diseño de normas técnicas complementarias metropolitanas para proyectos de construcción e instalaciones que consideren el confort térmico y las instalaciones refrigerantes eficientes como una medida de reducción de vulnerabilidad.
• En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Probabilidad de rebasar el IC (referencia 30°C) clave DIV-OC.A.

I-995.003



ÁREAS DEL AMG CON MAYOR PROBABILIDAD DE REBASAR CONDICIONES DE CONFORT (TEMPERATURA DE REFERENCIA 30°C)

Atlas Metropolitano de Riesgos

El índice de confort humano combina el efecto de la temperatura y la humedad.

Este mapa muestra **qué tan probable es llegar a un punto más allá del confort humano** en las diferentes áreas del AMG.

El punto de referencia de este mapa son 30°C. **Las personas vulnerables deben tener precaución a la exposición.**

La fuente de estos datos son las tendencias de temperatura y humedad de las últimas dos décadas.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Probabilidad de rebasar el índice de Confort (30°C)

- Más probable (entre 66% y 85% de los días podría rebasarse)
- 46% - 65%
- 31% - 45%
- 16% - 30%
- Menos probable (en menos de un 15% de los días podría rebasarse)

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- cM Centralidad Metropolitana
- cP Centralidad Periférica
- cS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de calor (UNAM)1950-2018 SMN-CONAGUA; Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico del POTmet (2016).

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG imeplan
Instituto de Geografía UNAM
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara

NÚMERO DE MAPA
I-995.003
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-OC.A

FICHA TÉCNICA (DIV-OC.B)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Áreas del AMG con mayor probabilidad de rebasar condiciones de confort (temperatura de referencia 35°C),** a partir del Índice de Confort Humano.

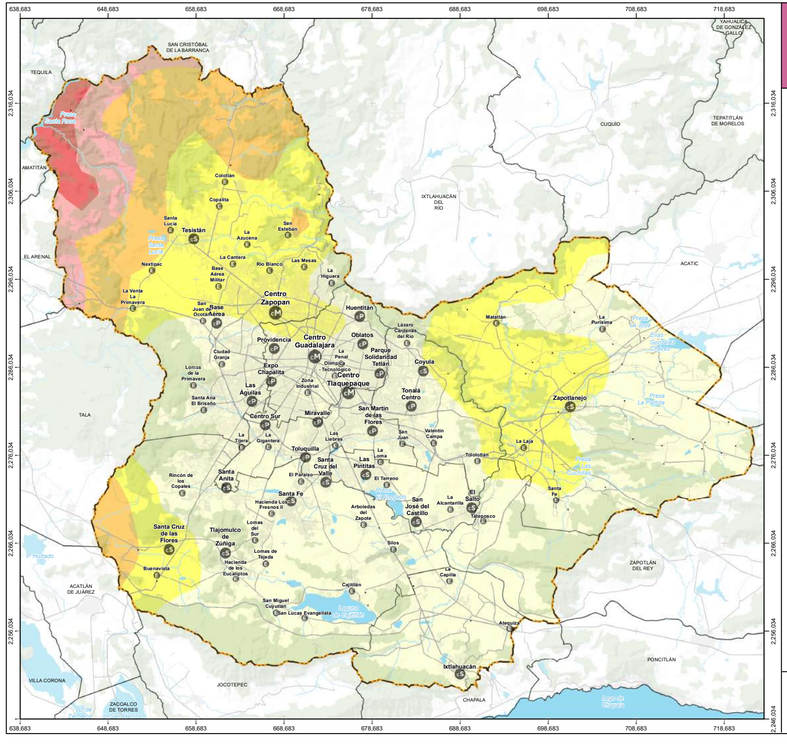
El Índice de Confort Humano se refiere a la combinación de la temperatura y la humedad en la atmósfera. Algunas combinaciones de temperatura/ humedad hacen que el cuerpo humano tenga condiciones difíciles en su ambiente.

La diferencia entre el mapa anterior (30°C) y el actual (35°C) es el umbral. Los efectos en un umbral de Índice de Confort a 35°C son mucho más intensos y peligrosos. Las ondas de calor que rebasan este umbral son poco frecuentes, pero muy peligrosas para la salud, por lo cual se debe planear cómo prevenir sus efectos y reducir sus daños. El mapa muestra la distribución en el AMG de las áreas que tienen más probabilidad de tener eventos en los cuales se rebase el Índice de Confort Humano a 35°C.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• La distribución espacial de la probabilidad ayuda a identificar las zonas donde puede haber mayor frecuencia de eventos en los cuales la condición de humedad y temperatura puede afectar a poblaciones vulnerables.
• Esta distribución debe ser considerada para atender poblaciones que tengan menor tolerancia a este umbral; por ejemplo, quienes tengan estados de salud precarios o viviendas sin condiciones adecuadas de habitabilidad.
• Este mapa puede ser auxiliar en el diseño de normas técnicas complementarias metropolitanas para proyectos de construcción e instalaciones, que consideren el confort térmico y las instalaciones refrigerantes eficientes como una medida de reducción de vulnerabilidad.
• En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Probabilidad de rebasar el IC (referencia 35°C), clave DIV-OC.B.

I-995.004


638.683
648.683
658.683
668.683
678.683
688.683
698.683
708.683
718.683
2,316,034
2,306,034
2,296,034
2,286,034
2,276,034
2,266,034
2,256,034
SAN CRISTÓBAL DE LA BARRANCA
TEQUILA
AMATITÁN
EL ARENAL
TALA
ACATLÁN DE JUÁREZ
VILLA CORONA
ZACOALCO DE TORRES
JOCOTEPEC
CHAPALA
PONCITLÁN
ZAPOTLÁN DEL REY
ATOTONILCO EL ALTO
CUQUÍO
TEPATITLÁN DE MORELOS
XIXLAHUACÁN DEL RÍO
ACATIC
Cocolan
Copalita
Santa Lucia
Tesistán
La Azucena
San Esteban
La Cantera
Nextipac
Base Aérea Militar
Rio Blanco
Los Mesas
La Higuera
La Venta La Primavera
San Juan de Ocotán
Base Aérea
Centro Zapopan
Huentitán
Providencia
Centro Guadalajara
Olímpica
Parque Solidaridad Tetlán
Oblatos
Lázaro Cardenas del Río
Mariscal
La Purísima
Ciudad Granja
Expo Chapalita
Centro Tlaquepaque
Coyula
Tonalá Centro
Zapotlanejo
Las Águilas
Miravalle
Centro Sur
San Martín de las Flores
Santa Ana El Briseño
Tololquilla
Santa Cruz del Valle
Las Pintitas
Santa Ana
Santa Fe
Santa Cruz de las Flores
Tlajomulco de Zúñiga
Buenavista
Hacienda de los Eucaliptos
San Miguel Cuyutlán
San Lucas Evangelista
Atequiza
Matatlán
Mirador
Presa La Vega
Presa La Primavera
Presa Santa Rosa
Presa El Salto
Presa Calderón
Presa Las Pintas
Presa Trojes
Presa Las Piedras
Presa Las Pilas
Presa Las Juntas
Presa Las Cruces
Presa Las Tortugas
Presa Las Tortugas
Presa Las Tortugas

FICHA TÉCNICA (DIV-OC.V)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Vulnerabilidad social ante ondas de calor (2020)** muestra cómo se distribuyen en el AMG los diferentes factores que generan mayor susceptibilidad al daño cuando se presentan condiciones de temperaturas muy altas. Las diferentes divisiones corresponden a AGEBs urbanas (Áreas Geoestadísticas Básicas, utilizada por el INEGI), ya que así se obtienen los datos estadísticos utilizados.

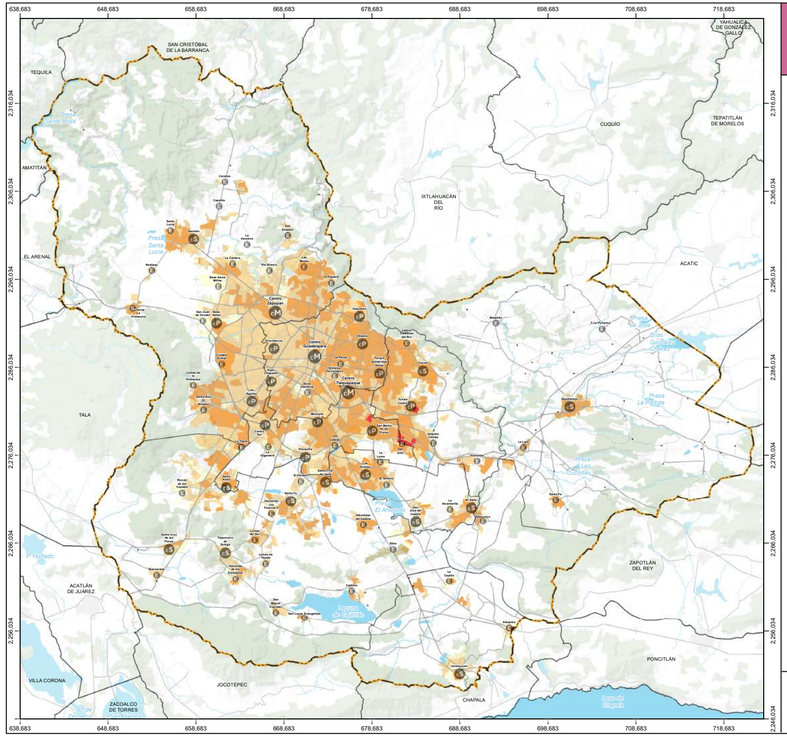
El valor que se muestra tiene que ver con la distribución y la concentración de todas las siguientes características de la población y las viviendas, reunidas en un solo índice: 1) extremos de edad (menores de 5 años y mayores de 65 años); 2) población sin derechohabiencia a servicios de salud; 3) viviendas con carencias de agua; y 4) viviendas sin refrigerador. Las características que conforman el índice se pueden encontrar en el apartado científico.

Así mismo, en SIGmetro se incluye también la información de las localidades menores a 2,500 habitantes del AMG.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- La distribución de población vulnerable permite identificar zonas del AMG en las cuales es prioritario establecer estrategias de reducción de exposición ante ondas de calor, tanto a través de medidas como las brigadas de salud comunitaria; o bien, otro tipo de medidas como la intervención arquitectónica y en materia de instalaciones en viviendas con deficiencias en habitabilidad.
- Esta distribución debe ser considerada para establecer mecanismos de atención comunitarios y protocolos de atención a personas previamente enfermas, niños o personas mayores. También es útil para el diseño de estrategias de mejoramiento de vivienda.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad social ante ondas de calor (2020), clave DIV-OC.V.

I-995.013



VULNERABILIDAD SOCIAL ANTE ONDAS DE CALOR

Atlas Metropolitano de Riesgos

El mapa de Vulnerabilidad social ante ondas de calor muestra cómo se distribuyen en el AMG los diferentes **factores que generan mayor susceptibilidad al daño**, cuando se presentan condiciones de temperatura muy altas.
Las diferentes divisiones corresponden a Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs), ya que así se obtienen los datos estadísticos utilizados.
El mapa muestra un índice que contiene **información** sobre: 1) extremos de edad (menores de 5 años y mayores de 65 años); 2) población sin derechohabiencia, 3) viviendas con carencias de agua; y 4) viviendas sin refrigerador.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Concentración de la población con mayor propensión a sufrir daños

- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Censo de Población y Vivienda, 2020, INEGI.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF08 EPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IGIMEPLAN Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo

NÚMERO DE MAPA
I-995.013
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-OC.V

FICHA TÉCNICA (DIV-R-OC.1)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Zonas con el mayor riesgo ante ondas de calor (umbral 30°C)** expresa cuáles son las zonas del AMG en las que es más probable que se presenten las mayores condiciones de calor y humedad que tengan consecuencias importantes para las personas.

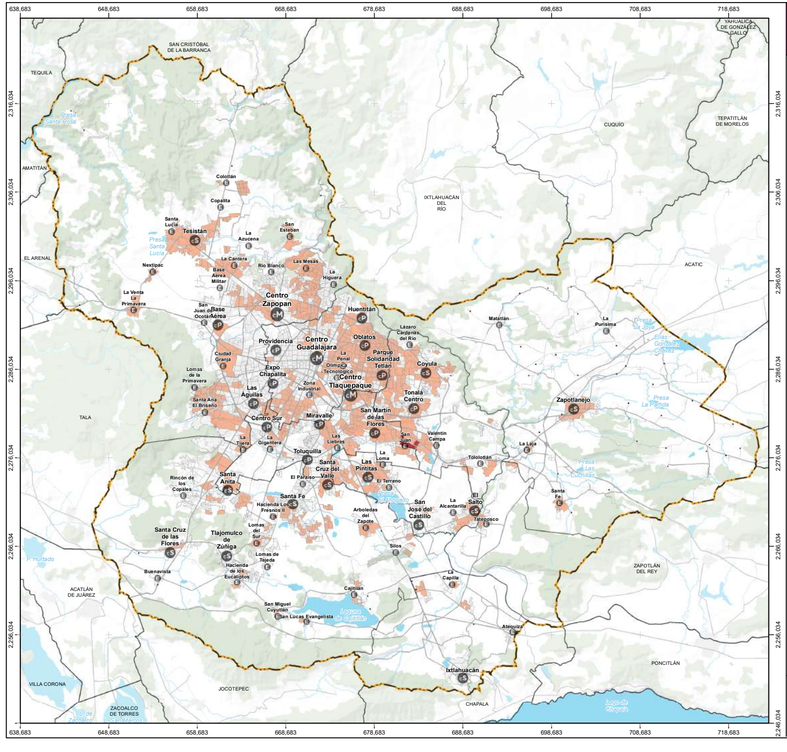
El mapa reúne información de varias décadas de la temperatura, así como de las condiciones que tiene la población respecto a los aspectos que la hacen susceptible a daño (individuales, sociales o de la vivienda), cuando hay este tipo de condiciones extremas. A eso le llamamos vulnerabilidad.

El mapa sintetiza todos esos diferentes factores, para mostrar en dónde es más probable que se presenten problemas por la combinación de los aspectos climáticos extremos y algunas condiciones sociales o individuales desventajosas. Eso ayuda a que se puedan atender sus causas y reducir sus consecuencias.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Un riesgo mayor significa que, por las condiciones existentes, es más probable que se combinen eventos intensos de calor, en lugares con una población más susceptible y con menos recursos para reducir los efectos difíciles del calor extremo.
- El mapa ayuda a evaluar los puntos del AMG que tienen más probabilidades de sufrir un daño cuando se rebase un umbral de temperatura que, se sabe, puede ser peligroso, especialmente para personas con condiciones médicas preexistentes y/o expuestas.
- Es útil para planear a mediano y largo plazo intervenciones de mejoramiento en vivienda y su confort térmico
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Riesgo de ondas de calor (referencia 30°C), clave DIV-R-OC.1.

I-995.001



ZONAS CON EL MAYOR RIESGO ANTE ONDAS DE CALOR (UMBRAL 30°C)
Atlas Metropolitano de Riesgos

El **Riesgo ante ondas de calor** expresa cuáles son las zonas del AMG en las que es más probable que se presenten condiciones de calor que tengan consecuencias importantes para las personas.

El mapa presenta el **efecto conjunto** entre las tendencias de la temperatura y las condiciones que tiene la población respecto a los aspectos que la hacen susceptible a daño (individuales, sociales o de la vivienda), cuando hay este tipo de condiciones extremas. A esto último se le llama **vulnerabilidad**.

El punto de referencia de este mapa son 30°C. **Las personas vulnerables deben tener precaución a la exposición**.

Un riesgo mayor significa que, por las condiciones existentes, **es más probable que se combinen eventos intensos de calor, en lugares con una población más susceptible y con menos recursos** para reducir los efectos difíciles del calor extremo.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Riesgo ante ondas de calor (30°C)
- Alto
- Medio

SIMBOLOGÍA BASE
- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad
- (CM) Centralidad Metropolitana
- (CP) Centralidad Periférica
- (CS) Centralidad Satélite
- Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de calor (UNAM) 1950-2018 SMN-CONAGUA; Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016; Censo de Población y Vivienda, 2020, INEGI.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IGimeplan — Instituto de Geografía UNAM — Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo

NÚMERO DE MAPA
I.995.001
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-R-OC.1

FICHA TÉCNICA (DIV-R-OC.2)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Zonas con el mayor riesgo ante ondas de calor (umbral 35°C)** muestra cuáles son las zonas del AMG en las que es más probable que se presenten las condiciones de calor más intensas, que tengan consecuencias importantes para las personas.

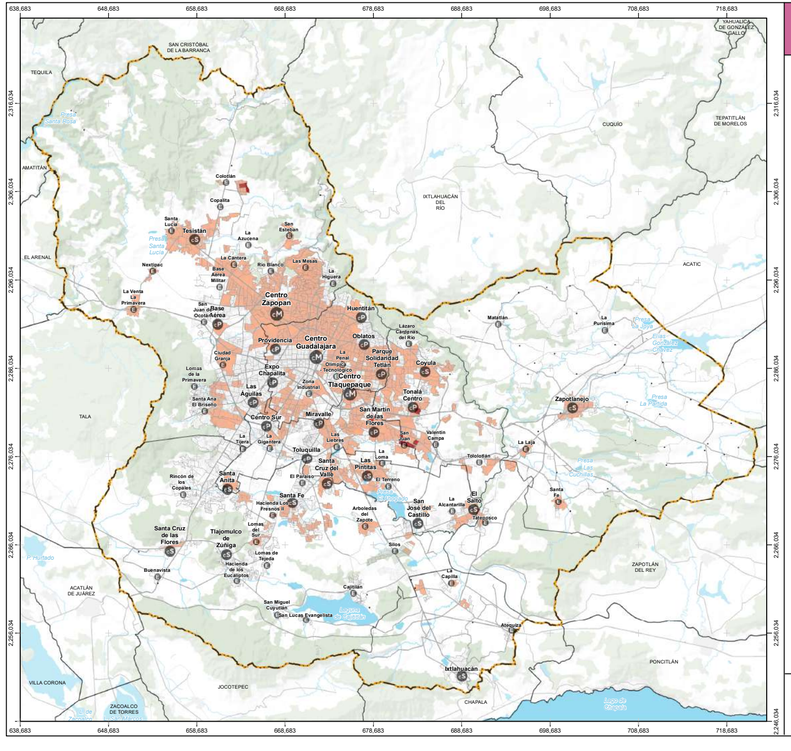
El mapa reúne información de varias décadas de la temperatura, así como de las condiciones que tiene la población respecto a los aspectos que la hacen susceptible a daño (individuales, sociales o de la vivienda), cuando hay este tipo de condiciones extremas. A eso se le llama vulnerabilidad.

En el umbral que se utiliza para este mapa (35°C), los impactos pueden ser más agudos. Un ejemplo de estos efectos negativos (riesgo) son las diferentes afectaciones a causa del estrés térmico en el cuerpo humano (por ejemplo, deshidratación, taquicardia o síncope), especialmente de personas con condiciones preexistentes de enfermedad.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Un riesgo mayor significa que, por las condiciones existentes, es más probable que se combinen eventos intensos de calor, en lugares con una población más susceptible y con menos recursos para reducir los efectos difíciles del calor extremo.
- Esto puede ser útil para acciones de atención a la salud comunitaria, especialmente hacia los enfermos crónicos, niños y personas adultas mayores.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Riesgo de ondas de calor (referencia 35°C), clave DIV-R-OC.2.

I-995.002



ZONAS CON EL MAYOR RIESGO ANTE ONDAS DE CALOR (UMBRAL 35°C)
Atlas Metropolitano de Riesgos

El **Riesgo ante ondas de calor** muestra cuáles son las zonas del AMG en las que es más probable que se presenten condiciones de calor que tengan consecuencias importantes para las personas.

El mapa presenta el **efecto conjunto** entre las tendencias de la temperatura y las condiciones que tiene la población respecto a los aspectos que la hacen susceptible a daño (individuales, sociales o de la vivienda), cuando hay este tipo de condiciones extremas. A esto último le llamamos **vulnerabilidad**.

El punto de referencia de este mapa son 35°C. A esta temperatura hay que poner atención a **efectos de estrés térmico en el cuerpo humano** (por ejemplo, deshidratación, taquicardia o síncope).

Un riesgo mayor significa que, por las condiciones existentes, **es más probable que se combinen eventos intensos de calor, en lugares con una población más susceptible y con menos recursos** para reducir los efectos difíciles del calor extremo.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Riesgo ante ondas de calor (35°C)
- Alto
- Medio

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad
- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de calor (UNAM) 1950-2018 SMN-CONAGUA; Mapa general del Estado de Jalisco; Componente estratégico POTmet 2016; Censo de Población y Vivienda, 2020, INEGI.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF'08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IGimeplan — Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara

NÚMERO DE MAPA
I.995.002
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-R-OC.2

Cartografía de ondas de frio

FICHA TÉCNICA (DIV-OF)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Áreas del AMG con más probabilidad de presentar bajas temperaturas (referencia 10°C)** es un cálculo del peligro (eventos de temperatura baja o muy baja) en el AMG.

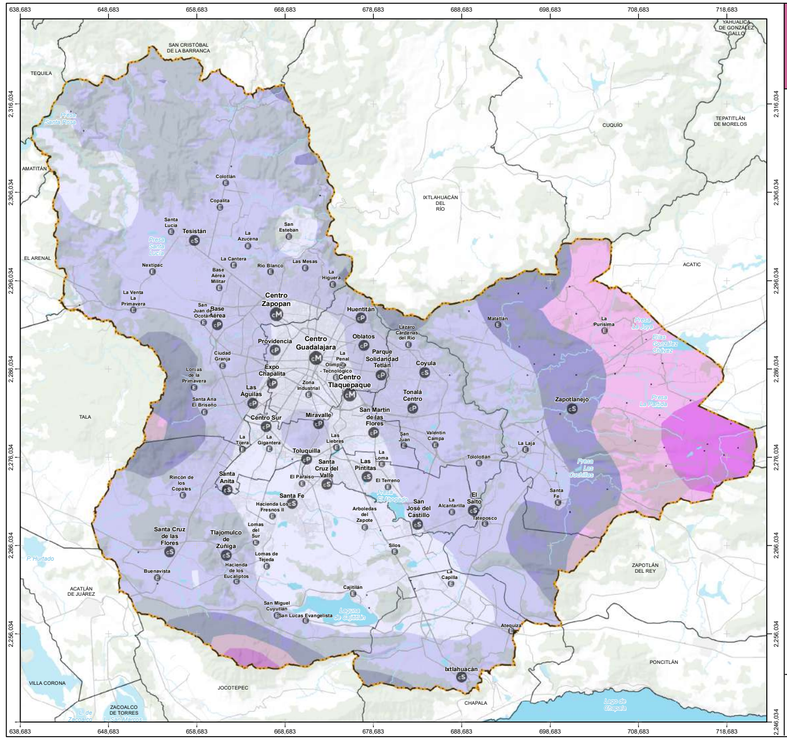
Para las temperaturas de referencia en esta zona del país, cuando se presentan episodios menores de 10°C, se consideran temperaturas bajas. El mapa muestra la distribución de las zonas del AMG con una mayor probabilidad de presentar eventos de temperatura de este tipo.

Esto se relaciona con la aparición de algunas enfermedades respiratorias agudas, particularmente las de origen viral.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Esta distribución y frecuencia probable debe ser considerada desde el punto de vista de la planeación del sector salud, para establecer protocolos y mecanismos de atención comunitarios y municipales que atiendan tanto las infecciones respiratorias agudas, como aspectos sociales asociados al frío, tales como la intoxicación por uso de combustibles que generan concentraciones de CO2 (y otros gases tóxicos) dentro de los hogares.
- Este mapa puede ser auxiliar en el diseño de normas técnicas complementarias metropolitanas para proyectos de construcción e instalaciones, que consideren el aislamiento térmico en las áreas de mayor incidencia de estas temperaturas, como una medida de reducción de vulnerabilidad y exposición a gases de combustión utilizados para calefaccionar las viviendas.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Probabilidad de presentar temperaturas <10°C, clave DIV-OF.

I-995.005



ÁREAS DEL AMG CON MÁS PROBABILIDAD DE PRESENTAR BAJAS TEMPERATURAS (REFERENCIA 10°C)

Atlas Metropolitano de Riesgos

Las temperaturas mínimas menores a 10°C son extremas para el AMG y se relacionan con la aparición de algunas enfermedades respiratorias agudas.

A partir de las tendencias de las últimas décadas, este mapa muestra **qué tan probable es que se presenten estas temperaturas** en diferentes áreas del AMG.

En promedio, entre el 10 y el 15% de los días del año presentan esta, o menores temperaturas.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Probabilidad de presentar una temperatura menor a 10°C

- Más probable (entre 41% y 55% de los días podrían bajar a menos de 10°C)
- 31% - 40%
- 21% - 30%
- 11% - 20%
- Menos probable (entre el 5 y el 10% de los días podría bajar a menos de 10°C)

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- cM Centralidad Metropolitana
- cP Centralidad Periférica
- cS Centralidad Satélite
- e Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Análisis de ondas de frío (UNAM) 1950-2018
SMN-CONAGUA; Mapa general del Estado de Jalisco. Componente estratégico POTmet 2016.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG UNAM | imeplan Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo

NÚMERO DE MAPA
I-995.005
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-OF

FICHA TÉCNICA (DIV-OF.V)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Vulnerabilidad social ante ondas de frío (2010)** muestra cómo se distribuyen en el AMG los diferentes factores que generan mayor susceptibilidad al daño cuando se presentan condiciones de temperaturas bajas. Las diferentes divisiones corresponden a AGEBs urbanas (Áreas Geoestadísticas Básicas, utilizada por el INEGI), del año 2010, ya que así se obtienen los datos estadísticos utilizados y algunos no han sido actualizados al año 2020.

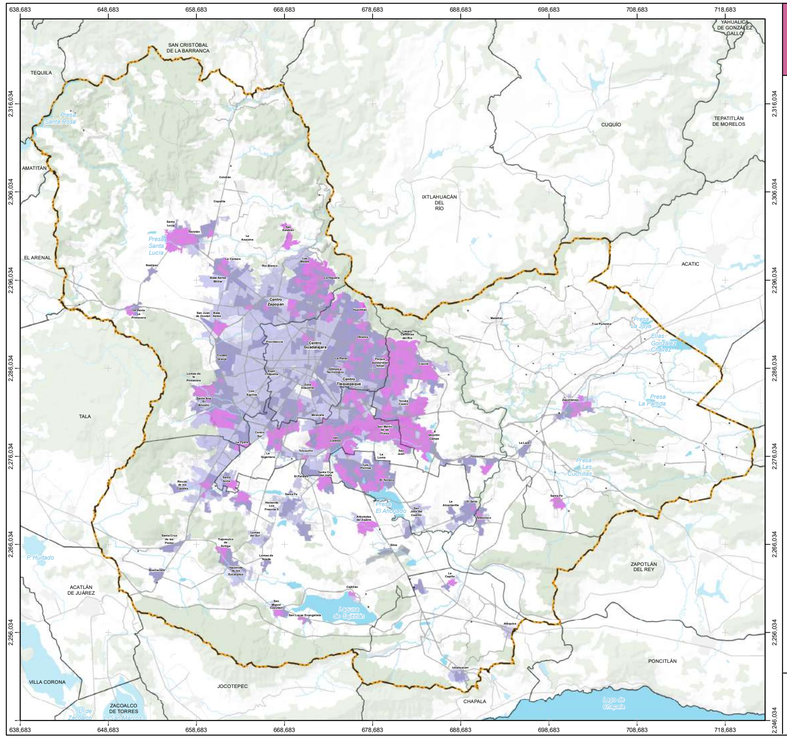
El valor que se muestra tiene que ver con la distribución y la concentración de la población y las viviendas de las siguientes características, reunidas en un solo índice: 1) extremos de edad (menores de 14 años y mayores de 65 años); 2) población sin derechohabiencia; e 3) índice de marginación. Las características que conforman el índice se pueden encontrar en el apartado científico.

Así mismo, en SIGmetro se incluye también la información de las localidades menores a 2,500 habitantes del AMG.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

• La distribución de población vulnerable permite identificar zonas del AMG en las cuales es prioritario establecer estrategias de protección ante el frío, tanto a través de medidas como las brigadas de salud comunitaria y el acceso a combustibles domésticos eficientes; así como el diseño de normas técnicas para que las viviendas se construyan con medidas de confort térmico ante el frío.
• Esta distribución debe ser considerada para establecer mecanismos de atención comunitarios y protocolos de atención a infecciones respiratorias agudas; y a urgencias respiratorias relacionadas con combustibles para calefacción y cocina altamente tóxicos. También es útil para el diseño de estrategias de mejoramiento de vivienda.
• En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad social ante ondas de frío (2010), clave DIV-OF.V.

I-995.026



VULNERABILIDAD SOCIAL ANTE ONDAS DE FRÍO

Atlas Metropolitano de Riesgos

El mapa de Vulnerabilidad social ante ondas de frío muestra cómo se distribuyen en el AMG los diferentes **factores que generan mayor susceptibilidad al daño**, cuando se presentan condiciones de temperatura muy bajas.
Las diferentes divisiones corresponden a Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs), ya que así se obtienen los datos estadísticos utilizados.
El mapa muestra un índice que contiene **información** sobre:
1) extremos de edad (menores de 14 años y mayores de 65 años);
2) población sin derechohabiencia, 3) valores del índice de marginación.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Vulnerabilidad ante ondas de frío
- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad
- cM Centralidad Metropolitana
- cP Centralidad Periférica
- cS Centralidad Satélite
- E Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Censo de Población y Vivienda, 2010, INEGI; Índice de marginación CONAPO, 2010.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF08 ÉPOCA 2010.

ESCALA 1:320,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IGimeplan
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo

NÚMERO DE MAPA
I-995.026
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-OF.V

Cartografía de incendios forestales

FICHA TÉCNICA (DIV-V-IF)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Vulnerabilidad física ante incendios forestales** muestra la distribución en las áreas no urbanas del AMG de la vegetación que, de acuerdo con una clasificación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) se identifica qué tan fácil o difícil es que se pueda quemar; y si se quema, qué posibilidades tiene de recuperarse.

Esta vegetación, dependiendo de si el año presenta mayor o menor cantidad de lluvia, puede sufrir. A ello se le llama 'estrés hídrico'. Y eso sirve también para saber si está más o menos susceptible a quemarse. La combinación de ambos aspectos (clasificación de vegetación y estrés hídrico) representa su vulnerabilidad física.

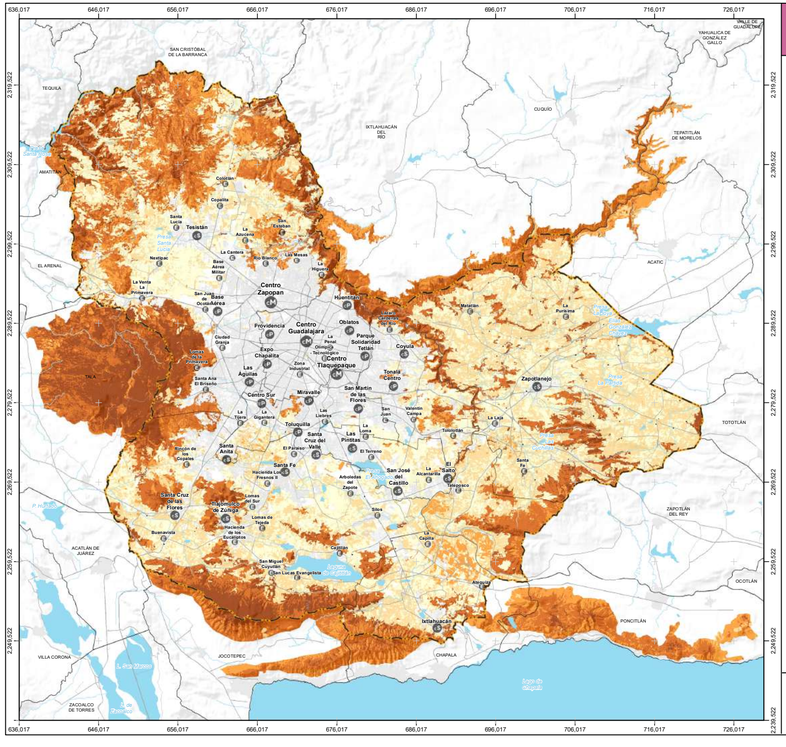
Los indicadores son propios del año 2021, pero se pueden actualizar en los siguientes años.

En este mapa aún no se considera la exposición dada por la influencia humana (responsable de la mayor parte del comienzo de los incendios forestales). Para ver el efecto combinado de la vulnerabilidad física de la vegetación, la exposición y el factor sequía, por favor consulte el mapa 'Nivel de riesgo ante incendios forestales en el AMG'.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Este mapa es una herramienta para poder identificar dónde están las comunidades vegetales más susceptibles de quemarse, y que, además, serán difíciles de recuperar si se queman.
- Con esa información se pueden diseñar mejores estrategias para cuidar las áreas forestales y otros tipos de vegetación secundaria, dependiendo de su estado de conservación y de su cercanía a las zonas de frontera agrícola y urbana.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Vulnerabilidad física ante incendios forestales, clave DIV-V-IF.

I-995.009



VULNERABILIDAD FÍSICA ANTE INCENDIOS (CONDICIÓN DE LA VEGETACIÓN)
Atlas Metropolitano de Riesgos

La **Vulnerabilidad física ante incendios forestales** nos dice qué tan fácil o difícil es que la vegetación del AMG y sus Áreas Naturales Protegidas se pueda quemar; y si se quema, qué posibilidades tiene de recuperarse.

Esta vegetación, dependiendo de si el año presenta mayor o menor cantidad de lluvia, puede sufrir. A esto le llamamos **'estrés hídrico'**. Y eso nos sirve también para saber si está más o menos susceptible a quemarse.

La combinación de ambos aspectos (clasificación de vegetación y estrés hídrico) representa su **vulnerabilidad física**.

Con esta información se pueden diseñar mejores estrategias para cuidar las áreas forestales, dependiendo de su estado de conservación y de su cercanía a la frontera agrícola y urbana.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Vulnerabilidad física ante incendios forestales
- Muy alta
- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja

SIMBOLOGÍA BASE
- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad
- CM Centralidad Metropolitana
- CP Centralidad Periférica
- CS Centralidad Satélite
- CE Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Cobertura del suelo CONAFOR, SEMADET, 2020; LANSAT 8 al 28 de marzo 2021. CoNABIO 2007; LANSAT 8, bandas 4 y 5, al 28 de marzo de 2021.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF08 EPOCA 2010.

ESCALA 1:355,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IG imeplan
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo

NÚMERO DE MAPA
I.995.009
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-V-IF

FICHA TÉCNICA (DIV-IF)
MAPA PARA DIVULGACIÓN

El **mapa de Zonas con el nivel de riesgo más alto de incendios forestales** es un mapa que ayuda a localizar las áreas alrededor de las zonas urbanas del AMG, en las cuales hay más probabilidades de que se presenten incendios.

Eso es porque en esas áreas se combinan ciertos factores: los tipos de árboles y vegetación son más susceptibles a quemarse; y, por otro lado, en la temporada de sequía meteorológica, en ciertas zonas las plantas sufren mayor estrés debido a la carencia de agua.

Si, además, esta vegetación -de por sí susceptible-, está expuesta a la presencia de actividades humanas, se generan mayores condiciones de riesgo porque es más fácil que las actividades humanas inicien la combustión.

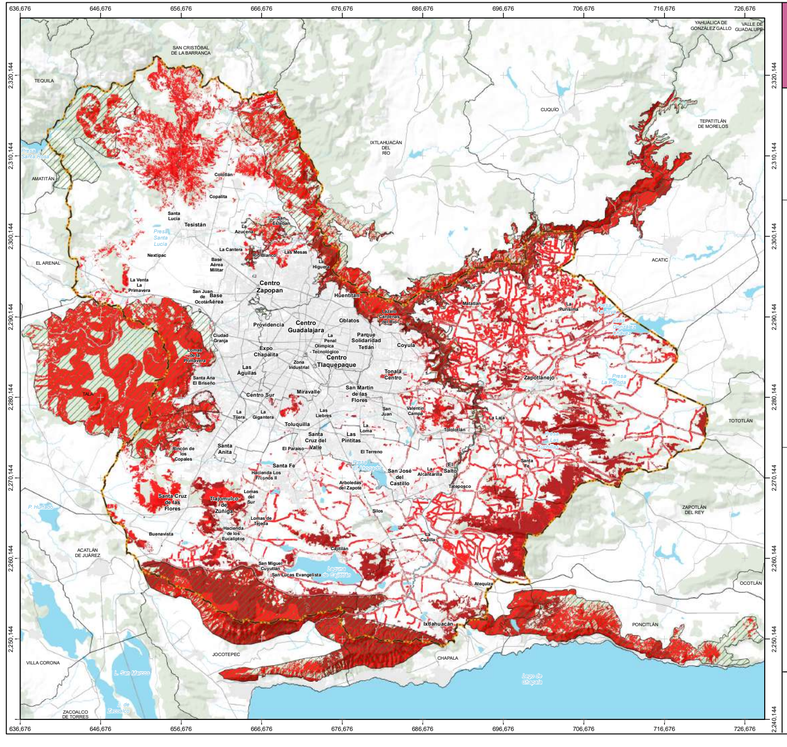
La presencia humana se mide a través de la red de caminos que facilitan su acceso. Entre más cercanía a las vías, más exposición existe.

El mapa muestra las zonas de riesgo más alto para el año 2021. Debido a que las condiciones de vegetación y clima varían, se recomienda que este mapa sea actualizado cada año para valorar los cambios en la distribución de las áreas que son de riesgo alto.

Ideas fuerza y utilidad de este mapa

- Este mapa se construyó a partir de combinar diferentes factores, como las altas temperaturas, la facilidad o dificultad con la que se recupera una vegetación quemada, y la accesibilidad al área forestal, incluyendo a las Áreas Naturales Protegidas.
- Es un mapa que refleja las áreas de más alto riesgo, de tal manera que se puedan identificar fácilmente, y se puedan priorizar y tomar acciones para su protección.
- En SIGmetro podrás consultar este mapa dentro del Subsistema de Gestión de Riesgos y Resiliencia con el nombre de Riesgo de incendios forestales, clave DIV-IF.

I-995.017



ZONAS CON EL NIVEL DE RIESGO MÁS ALTO DE INCENDIOS FORESTALES

Atlas Metropolitano de Riesgos

Los **incendios forestales** que se dan en ciertas áreas no urbanas del AMG, en las cuales la vegetación es **más susceptible a quemarse** y **sufre mayor estrés hídrico** por las condiciones climáticas. Si esta vegetación está expuesta a una **alta influencia humana**, especialmente através de los caminos que facilitan su acceso, se generan condiciones de riesgo.
El mapa muestra las **zonas de riesgo más alto para el año 2021**. Debido a que las condiciones de vegetación y clima cambian, se recomienda que el mapa sea actualizado anualmente para valorar los distintos niveles de riesgo.

SIMBOLOGÍA TEMÁTICA

Áreas Naturales Protegidas

Índice de riesgo ante incendios forestales

- Muy alto (más probable)
- Alto

SIMBOLOGÍA BASE

- Límite metropolitano
- Límite municipal
- Traza urbana
- Localidad rural
- Vialidad principal
- Camino
- Área urbana colindante
- Cauce principal
- Cuerpo de agua
- Vegetación densa

Tipo de centralidad

- (CM) Centralidad Metropolitana
- (CP) Centralidad Periférica
- (CS) Centralidad Satélite
- (E) Centralidad Emergente

REFERENCIA DEL PROYECTO

DIRECCIÓN:
DIPLAN: Dirección de Planeación Metropolitana.

GERENCIA TÉCNICA:
GTGIR: Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo.

Desarrollado en Convenio con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

INSTRUMENTO O PROYECTO:
AMR: Atlas Metropolitano de Riesgos del Área Metropolitana de Guadalajara.

TIPO DE ANÁLISIS:
D: Diagnóstico.

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
Proyección: UTM ZC 13N WGS84.
Elipsoide: GRS80.
Datum: ITRF08 ÉPOCA 2010.

TEMÁTICA SEGÚN LGAHOTDU (ART. 34):
PMR: Prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático.

FUENTES:
Simbología temática: Cobertura del suelo CONAFOR, SEMADET, 2020. clasifición CONABIO 2007; LANSAT 8 al 28 de marzo 2021; Red vial, IMEPLAN 2021; Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) de CONAGUA, 1980-2017. INEGI.
Simbología base: Elaboración propia a partir de INEGI.
Límites municipales: Mapa General del Estado de Jalisco, IITEJ 2012. Componente estratégico POTmet 2016.

ESCALA 1:350,000
Producto para impresión a 11 x 17 pulgadas

0 5 10 15 Km

IGimeplan
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA U N A M
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo

NÚMERO DE MAPA
I-995.017
NÚMERO HISTÓRICO
01

DIV-IF

Anexo 4: Punto de acuerdo sobre predios con registro de incendios forestales

Junta de Coordinación Metropolitana AMG

Guadalajara, Jalisco a 05 de mayo de 2021

Sesión del 05 de mayo de 2021 de la Junta de Coordinación Metropolitana del Área Metropolitana de Guadalajara.

ACUERDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

La Junta de Coordinación Metropolitana del Área Metropolitana de Guadalajara en mérito de sus facultades, tiene a bien emitir el presente acuerdo con base en los siguientes:

CONSIDERANDOS

Que la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en sus artículos 1 y 4 que todas las autoridades en el ámbito de sus competencias tienen la obligación de promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos reconocidos en la propia Constitución y en los tratados internacionales; entre los cuales reconoce que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para un adecuado desarrollo y bienestar.

Que el aumento en la concentración de contaminantes en la atmosfera, el desequilibrio en la flora y fauna ubicada en predios forestales, así como la disminución en la producción de oxígeno, son solo algunas de las causas que impactan la calidad de vida de los ciudadanos derivado del alto índice de incendios forestales que se han suscitado en el Estado y principalmente en el Área Metropolitana de Guadalajara.

Que según datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial[1] tan solo en el periodo comprendido de 2015 a 2018 acontecieron 2,640 incendios forestales con una superficie afectada aproximada de 309 mil hectáreas, adicionalmente, bajo un contexto nacional durante dicho periodo Jalisco se ha situado entre los primeros diez Estados con mayor número de incendios forestales[2].

Que del 2001 al 2020 se han registrado un total de 558 incendios puntualmente en el Área Natural Protegida Bosque La Primavera, Bajío y el Cerro del Tajo, con una superficie total afectada de 70.22 km²

Que en gran medida, la principal causa de incendios forestales en el Estado es derivado de la ejecución de actividades agrícolas, entre ellas, las quemas agropecuarias, las cuales cabe mencionar se encuentran prohibidas en el territorio de los municipios que integran el Área Metropolitana de Guadalajara derivado de la publicación en el Periódico Oficial "El Estado de Jalisco" del Decreto 27870/LXII/20, que reforma y adiciona los artículos 94 A y 94 B a la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Que el artículo tercero transitorio del Decreto mencionado en el párrafo anterior, faculta a todos los municipios del Estado para que, en un plazo de 90 días naturales posteriores al inicio de la vigencia de la reforma antes expuesta, realicen las modificaciones reglamentarias a su normativa, así como para presentar al Congreso del Estado la iniciativa de reforma a la Ley de Ingresos correspondiente.

Que los incendios forestales impactan considerablemente no solo al medio ambiente del AMG, si no que llaman a tomar medidas adicionales dentro de la Planeación y Ordenamiento del territorio metropolitano que abonen desde su perspectiva a mitigar el impacto de estos.

[1] https://www.jalisco.gob.mx/es/gobierno/comunicados/sin-incendios-jalisco-respira
[2] Siga.jalisco.gob.mx/webincendios/

Junta de Coordinación Metropolitana AMG

Guadalajara, Jalisco a 05 de mayo de 2021

Por lo anteriormente expuesto, y considerando los efectos positivos que la medida conlleva se emiten los siguientes:

ACUERDOS

PRIMERO. –La Junta de Coordinación Metropolitana, ordena a la Instancia Técnica, se integre a los mecanismos de gestión del desarrollo e instrumentos de planeación de escala metropolitana, considerándose de forma puntual en la actualización del POTmet y en el acompañamiento que brinde a los municipios metropolitanos en la construcción, desarrollo y actualización de sus instrumentos de planeación, para que en su conjunto reflejen lo dispuesto en el artículo 97 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, respecto al uso del suelo en terrenos que hubiesen sufrido un incendio sin que hayan pasado 20 años.

SEGUNDO. - Se instruye a la Instancia Técnica para que en el Atlas de Riesgos Metropolitano / Inventario de Peligros Metropolitano se identifiquen los predios que han presentado incendios forestales y por tanto queden inhabilitados. El mapa estará conformado a partir de la información oficial de SEMADET, IIEG, SEMARNAT, Protección Civil, CONAFOR, CONANP, Catastro municipal y Registro Agrario.

TERCERO. - Tomando como referencia lo dispuesto en la Ley General de Desarrollo Forestal, misma que en el artículo señalado en el acuerdo primero refiere que:

> "No se podrá otorgar autorización de cambio de uso del suelo en terrenos forestales donde la pérdida de cubierta forestal fue ocasionada por incendio, tala o desmonte sin que hayan pasado 20 años y que se acredite a la Secretaría que la vegetación forestal afectada se ha regenerado, mediante los mecanismos que, para tal efecto, **se establezcan en el Reglamento de esta Ley.**"

Y los artículos 155 y 156 que señalan las infracciones y las sanciones respectivamente en materia forestal, las cuales serán sancionadas por SEMARNAT, enunciando puntualmente las siguientes:

XX. Evitar prevenir, combatir o controlar, estando legalmente obligado para ello, las plagas, enfermedades o incendios forestales;

XXI. Negarse, sin causa justificada, a prevenir o combatir las plagas, enfermedades o incendios forestales que afecten la vegetación forestal, en desacato de mandato legítimo de autoridad;

XXIV. Provocar incendios forestales; y

XXV. Realizar en terrenos incendiados, cualquier actividad o uso distintos a la restauración o al manejo forestal sustentable, dentro de los 20 años siguientes a que haya ocurrido un incendio;

La Junta de Coordinación Metropolitana emite un atento exhorto a las instancias federales, principalmente a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la

Junta de Coordinación Metropolitana AMG

Guadalajara, Jalisco a 05 de mayo de 2021

Comisión Nacional Forestal, para que en el ámbito de su competencia ejecuten lo señalado por la Ley mencionada con antelación, asimismo se les solicita compartan información respecto a los antecedentes de incendios forestales en territorio metropolitano y el estado que guardan actualmente los predios.

CUARTO. - Se instruye al IMEPLAN para que ejecute y de seguimiento al presente punto de acuerdo y mantenga informado de los avances a este órgano colegiado.

POR "EL GOBIERNO DEL ESTADO"

ENRIQUE ALFARO RAMÍREZ

POR LA SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

ROMÁN GUILLERMO MEYER FALCÓN

POR "LOS MUNICIPIOS"

LA PRESIDENTA MUNICIPAL INTERINA DE EL SALTO

GABRIELA GUADALUPE TORRES OLIDE

EL PRESIDENTE MUNICIPAL INTERINO DE GUADALAJARA

EDUARDO FABIAN MARTÍNEZ LOMELÍ

EL PRESIDENTE MUNICIPAL DE IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS

EDUARDO CERVANTES AGUILAR

LA PRESIDENTA MUNICIPAL DE JUANACATLÁN

ADRIANA CORTÉS GONZÁLEZ

LA PRESIDENTA MUNICIPAL INTERINA DE SAN PEDRO TLAQUEPAQUE

BETSABÉ DOLORES ALMAGUER ESPARZA

EL PRESIDENTE MUNICIPAL INTERINO DE TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA

CÉSAR FRANCISCO PADILLA CHÁVEZ

Junta de Coordinación Metropolitana AMG

Guadalajara, Jalisco a 05 de mayo de 2021

EL PRESIDENTE MUNICIPAL DE TONALÁ

JUAN ANTONIO GONZÁLEZ MORA

LA PRESIDENTA MUNICIPAL INTERINA DE ZAPOPAN

GRACIELA DE OBALDÍA ESCALANTE

EL PRESIDENTE MUNICIPAL DE ZAPOTLANEJO

HÉCTOR ÁLVAREZ CONTRERAS

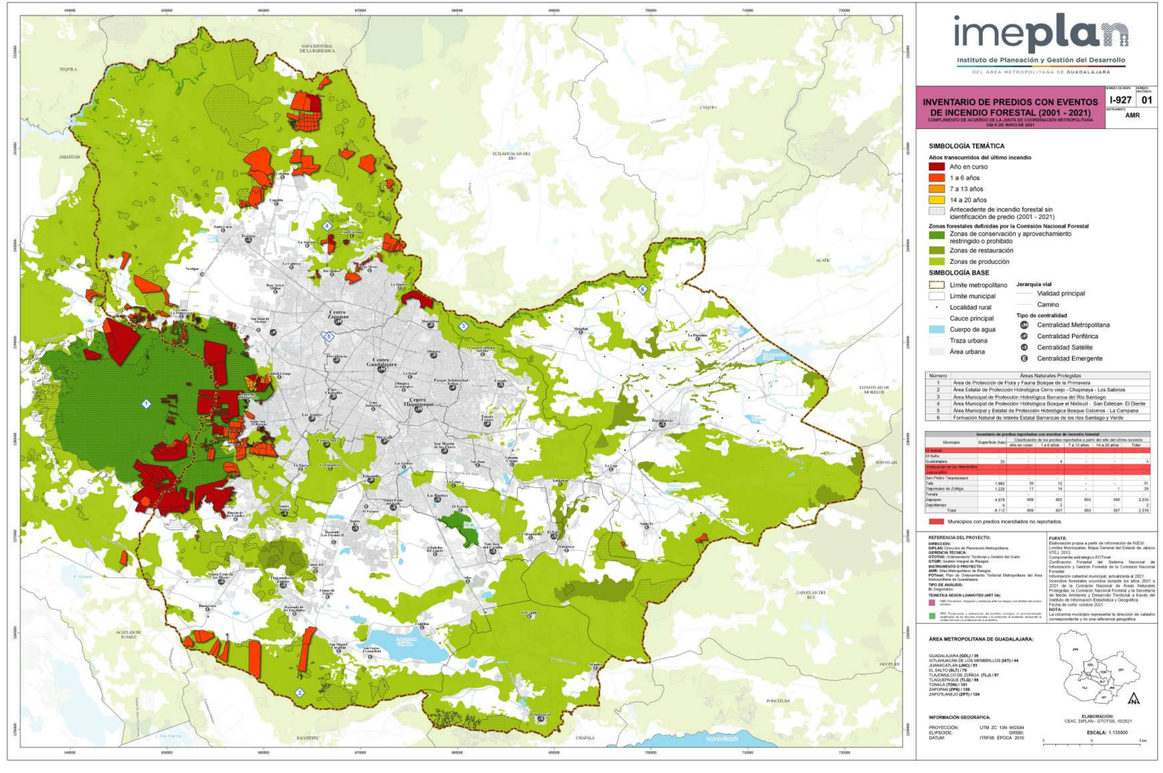
LA PRESIDENTA DEL CONSEJO CIUDADANO METROPOLITANO

CLAUDIA MARIANA CEJA CONTRERAS

EL SECRETARIO TÉCNICO DE LA JUNTA DE COORDINACIÓN METROPOLITANA DEL AMG

MARIO RAMÓN SILVA RODRÍGUEZ

Esta hoja de firmas forma parte del Acuerdo para la prevención y atención de incendios forestales, aprobado en la sesión de la Junta de Coordinación Metropolitana de fecha 05 de mayo de 2021, Guadalajara, Jalisco.



Atlas Metropolitano de Riesgos

Área Metropolitana de Guadalajara

Instituto de Planeación y Gestión
del Desarrollo del Área Metropolitana
de Guadalajara

Dirección de Planeación Metropolitana
Gerencia Técnica de Gestión Integral del Riesgo

Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Informe técnico
Octubre de 2021

imeplan
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
del Área Metropolitana de Guadalajara

IG
Instituto de Geografía
U N A M

Atlas de Riesgos
Informe Técnico 2021

imeplan
Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo
DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Jalisco
GOBIERNO DEL ESTADO