



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE GEOGRAFIA



ANTOLOGÍA: RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS

LICENCIATURA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y RECURSOS HIDRICOS



Dr. José Emilio Baró Suarez
Correo: jebaros@uaemex.mx
Dr. Fernando Carreto Bernal
Correo: fcarrretob@uaemex.mx

Introducción

En el presente programa de estudio: riesgos hidrometeorológicos se estructuran los contenidos sobre los diferentes riesgos hidrometeorológicos tales como, inundaciones, sequías, nevadas, granizadas, huracanes, inundaciones costeras, ciclones tropicales, tormentas, etc., los cuales serán impartidos en 4 unidades las cuales contribuirán a la formación del futuro licenciado en Geología Ambiental y Recursos hídricos, con base al plan de estudio de la licenciatura.

La unidad de aprendizaje se desarrollara en modalidad de curso el cual estará enfocado a establecer las bases legales, conceptuales y prácticas, para los análisis y evaluación de los riesgos hidrometeorológicos estableciendo las medidas de control y reducción de los mismos.

En la unidad de aprendizaje se hará hincapié en aspectos relacionados con la vulnerabilidad, exposición, resiliencia, percepción del riesgo y adaptación social ante estos riesgos. Otro aspecto a tratar es la enseñanza de las metodologías para el análisis del impacto socioeconómico de los desastres: desastres por inundación.

Finalmente se trabajaran en casos de estudios relacionados con inundación y su evaluación a través de los SIG (Sistemas de Información Geográfica)

Índice de Contenido

Unidad 1. Riesgos de Inundación	8
1. Marco legal	
2. Conceptos básicos	
3. Inundaciones. Análisis, clasificación e impactos	
4. Metodología para la valoración económica de los daños potencialmente tangibles por inundación	
5. Medidas de control preventivas	
1.5.1 Estudios de vulnerabilidad.	
1. Resiliencia.	
2. Percepción del riesgo.	
3. Adaptación.	
1.6 Casos de Estudio: Aplicación de la Geo-tecnología en análisis de riesgos hidrometeorológicos	
Actividades de la unidad	
Unidad 2. Sequías	61
1. Definición de sequías y sus puntos de vista desde diferentes ámbitos	
2. Índices de Sequia	
3. Características de las Sequias	
2.3.1 Causas y efectos de las sequias	
2.3.2 Zonas Afectables por las sequias	
4. Aridez	
2.5 Medidas Preventivas y de mitigación	
Actividades de la unidad	
Unidad 3. Riesgos Costeros- Ciclones tropicales	75
1. Ciclón Tropical Conceptualización básica. Estructura	
3.1.1 Génesis (regiones matrices)	
3.1.2 Trayectoria	
3.1.3 Clasificación	
3.1.4 Efecto del fenómeno de El Niño en los ciclones tropicales	
2. Efectos de los Ciclones Tropicales.	
3. Seguimiento, pronóstico y análisis posterior a la ocurrencia de un Ciclón Tropical.	
4. Erosión Costera	
5. Inundación Costera	

6. Tsunamis
7. Medidas Preventivas y de mitigación.

Actividades de la unidad

Unidad 4. Heladas, Granizadas, Tormentas

109

- 4.1 Definición de heladas
- 4.2 Factores meteorológicos que intervienen en la ocurrencia de heladas
 - 4.2.1 Balance regional de la radiación
 - 4.2.2 Circulación general de la atmósfera
- 4.3 Elementos meteorológicos que afectan la formación de heladas
- 4.4 Clasificación de las heladas
- 4.5 Efectos de las heladas en los cultivos
- 4.6 Génesis de las tormentas severas
 - 4.6.1 Formación de tormentas por fuentes de ascenso de aire húmedo
 - 4.6.2 Formación de nubes
 - 4.6.3 Generación de tormentas severas por frentes fríos
- 4.7 Tormentas Eléctricas
- 4.8 Tormentas de Nieve (nevadas)
- 4.9 Tormentas de Granizo (granizadas)
- 4.10 Tornados
- 4.11 Medidas Preventivas y de mitigación.

Actividades de la unidad

Anexos

Bibliografía

Ubicación de la Unidad de Aprendizaje en el Mapa Curricular de la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos

Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos								
Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Periodo 7	Periodo 8	Periodo 9
Geología Física 4 2 6 10	Geomorfología 3 1 4 7	Estratigrafía 2 2 4 6	Geología Estructural 2 2 4 6	Impacto Ambiental y Ordenamiento del Territorio 4 0 4 8	Riesgos Ambientales 2 4 6 8	Gestión Integrada de Recursos Hídricos I 4 2 6 10	Gestión Integrada de Recursos Hídricos II 4 2 6 10	
Hidráulica 3 1 4 7	Hidrología 4 2 6 10	Hidrogeología 4 2 6 10	Geotecnia Aplicada 2 2 4 6	Riesgos Geológicos 2 4 6 8	Riesgos Hidrometeorológicos 2 4 6 8	Metodología de la Investigación I 4 2 6 10	Metodología de la Investigación II 4 2 6 10	
Matemática Aplicada 2 2 4 6	Probabilidad y Estadística 2 2 4 6	Estadística Espacial y Geoestadística 2 4 6 8	Inglés C1 2 2 4 6	Inglés C2 2 2 4 6	Cambio Climático 4 0 4 8	Gestión del Riesgo 2 2 4 6	Conflictos Ambientales y Concentración Social 4 0 4 8	
Medio Ambiente y Sociedad 4 0 4 8	Ecología del Riesgo 4 0 4 8	Climatología 4 0 4 8	Economía Ambiental 4 0 4 8	Sociología 2 2 4 6	Teledetección 2 4 6 8	Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica 3 1 4 7	Ética Ambiental 3 0 3 6	Prácticas Profesionales 30
Química General 2 2 4 6	Mineralogía 2 4 6 8	Petrología Sedimentaria 4 2 6 10	Patrología Ignea y Metamórfica 4 2 6 10	Diseño e Implementación de Bases de Datos 2 4 6 8	Sistemas de Información Geográfica 4 0 4 8			
Fundamentos de Cartografía 2 4 6 8	Topografía e Hidrometría 2 4 6 8	Cartografía Automatizada 2 4 6 8	Cartografía Temática Integral 2 2 4 6					
		Optativa 1 Núcleo Sustantivo 2 2 4 6	Optativa 2 Núcleo Sustantivo 2 2 4 6	Optativa 3 Núcleo Sustantivo 2 2 4 6	Optativa 1 Núcleo Integral 2 2 4 6	Optativa 3 Núcleo Integral 2 2 4 6	Optativa 5 Núcleo Integral 2 2 4 6	
			Optativa 4 Núcleo Sustantivo 2 2 4 6	Optativa 4 Núcleo Sustantivo 2 2 4 6	Optativa 2 Núcleo Integral 2 2 4 6	Optativa 4 Núcleo Integral 2 2 4 6	Optativa 6 Núcleo Integral 2 2 4 6	



Riesgos Hidrometeorológicos	2	Horas Teóricas
	4	Horas Prácticas
	6	Total de horas
	8	Créditos

Objetivos del programa educativo:

- Participar en la toma de decisiones que implique el uso, intervención, manejo, conservación y restauración de los recursos naturales; que son afectados por la acción del hombre y que representen un riesgo a la integridad ambiental, física y patrimonial de la sociedad.
- Proponer soluciones encaminadas al uso sostenible de los recursos naturales que el hombre emplea en beneficio propio; flora y fauna, suelo, minerales y agua.
- Colaborar en la gestión de los recursos naturales encaminada a la mínima alteración de los ecosistemas, a fin de garantizar su permanencia en condiciones ambientalmente adecuadas.
- Asesorar a los órganos públicos, usuarios y empresas privadas en el manejo sostenible de los recursos naturales para lograr su conservación, recuperación, mejoramiento y vigilancia.
- Investigar los elementos de competitividad y de desarrollo económico y social en el ámbito internacional, nacional, estatal y local que permitan disipar la pobreza, y el agotamiento de recursos naturales, utilizando tecnología de punta.
- Proponer proyectos de planeación estratégica eficientes de sostenibilidad aplicando aspectos teóricos y metodológicos de la evaluación multicriterio y multiobjetivo.
- Analizar los problemas jurídicos en el ámbito internacional, nacional y estatal en materia de sostenibilidad y medio ambiente.
- Evaluar el riesgo natural a escala global y regional en términos de probabilidad de ocurrencia y severidad que bajo el soporte del análisis prospectivo y retrospectivo hayan sido identificados como amenazas, haciendo uso de la geotecnología y los Sistemas de Información Geográfica.
- Evaluar el impacto social, económico y ambiental de las acciones y proyectos emprendidos sobre la utilización de los recursos naturales de manera sustentable.

Objetivo del núcleo de formación:

- Promover en el alumno/a el aprendizaje de las bases contextuales, teóricas y filosóficas de sus estudios, la adquisición de una cultura universitaria en las ciencias y las humanidades, y el desarrollo de las capacidades intelectuales indispensables para la preparación y ejercicio profesional, o para diversas situaciones de la vida personal y social.

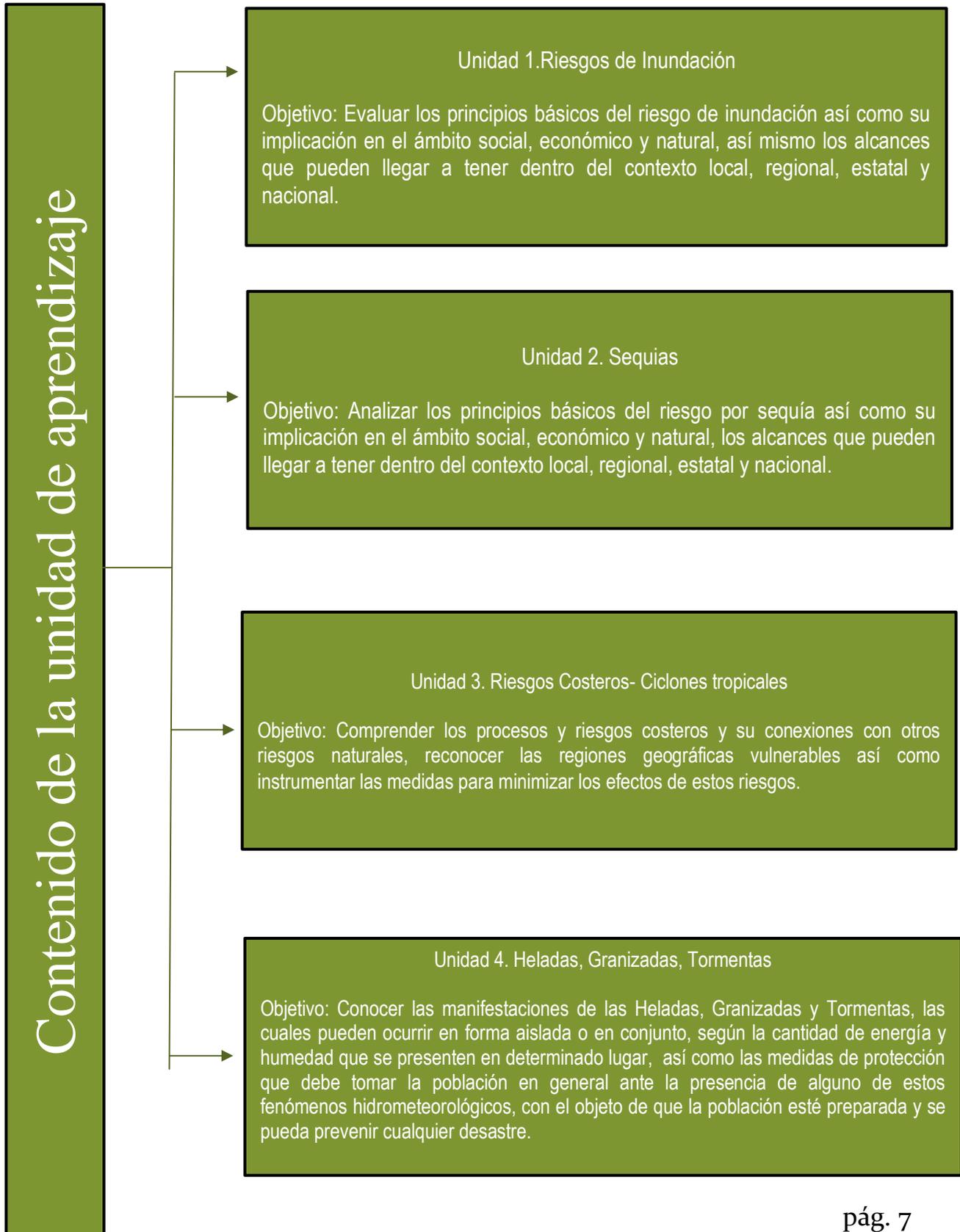
Objetivos del área curricular o disciplinaria: Recursos Hídricos

- Valorar el uso, manejo, monitoreo y calidad ambiental de los recursos hídricos para diseñar, operar y evaluar proyectos encaminados a la recuperación, conservación, mejoramiento y control del agua, en el marco de la planeación estratégica, con apego a la normatividad internacional, nacional, estatal y local vigente.

Objetivos de la unidad de aprendizaje

- Seleccionar las metodologías y técnicas de análisis, comprensión, control preventivo y seguimiento de diferentes peligros y riesgos hidrometeorológicos, partiendo de que las

situaciones de riesgo son construcciones sociales y precisan de un enfoque sistémico de evaluación.



Unidad 1

Riesgos de Inundación.



Introducción

La unidad 1 trata sobre el marco legal que aborda la problemática del riesgo de inundaciones en la república mexicana hasta cada localidad de este país. Otro apartado también de mucha importancia son los conceptos básicos del riesgo de las inundaciones para distinguir y saber cómo se aplican en el territorio.

Una vez que las inundaciones afectan un lugar en específico es importante cuantificar las afectaciones y para ello es importante realizar una valoración económica de los daños potencialmente tangibles por este elemento de la naturaleza que afectan los asentamientos humanos.

Esta problemática del riesgo por inundación se puede prever o mitigar para que no existan tantas pérdidas materiales como humanas siguiendo una serie de protocolos.

Una de las herramientas básicas para enfrentar el riesgo de las inundaciones es la cartografía. En ésta se puede delimitar las zonas de afectación en el pasado para así prevenir o mitigar sus efectos sobre los asentamientos humanos en el futuro.



1.1 Marco legal

El marco legal que tiene que ver con inundaciones y manejo del agua en la república mexicana y en el Estado de México son los siguientes:

Constituciones

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México

Leyes

- Ley de Ingresos de los Municipios del Estado de México para el Ejercicio Fiscal del año 2017
- Ley de Ingresos del Estado de México para el Ejercicio Fiscal del año 2017
- Ley de Planeación del Estado de México y Municipios
- Ley de Responsabilidades de los Servidores Públicos del Estado y Municipios
- Ley para la Coordinación y Control de Organismos Auxiliares del Estado de México
- Ley del Agua del Estado de México y Municipios
- Ley de Fiscalización Superior del Estado de México
- Ley Orgánica del Poder Legislativo del Estado Libre y Soberano de México
- Ley Orgánica del Poder Judicial del Estado de México
- Ley Orgánica de la Procuraduría General de Justicia del Estado de México
- Ley de Asistencia Social del Estado de México
- Ley del Trabajo de los Servidores Públicos del Estado y Municipios
- Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública del Estado de México y Municipios
- Ley de la Comisión de Derechos Humanos del Estado de México
- Ley de Aguas Nacionales

Reglamentos

- Reglamento de la Ley del Agua del Estado de México
- Reglamento Interior de la Comisión del Agua del Estado de México
- Reglamento del Comité de Control y Evaluación (COCOE) de la Comisión del Agua del Estado de México
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales
- Reglamento del Título Quinto del Código Financiero del Estado de México y Municipios denominado "Del Catastro"
- Reglamento del Libro Décimo Segundo del Código Administrativo del Estado de México
- Reglamento de la Ley para la Coordinación y el Control de los Organismos Auxiliares y Fideicomiso del Estado de México
- Reglamento Interior del Tribunal de lo Contencioso Administrativo del Estado de México
- Reglamento Interior de la Secretaría de Finanzas
- Reglamento Interior del Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México
- Reglamento para el cobro y aplicación de honorarios por notificaciones de créditos fiscales y gastos de ejecución



- Reglamento de la Ley Orgánica de la Procuraduría General de Justicia del Estado de México
- Reglamento de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública del Estado de México
- Reglamento para las Entrega y Recepción de las Unidades Administrativas de la Administración Pública del Estado de México

Códigos

- Código Financiero del Estado de México y Municipios
- Código de Procedimientos Administrativos del Estado de México
- Código Administrativo del Estado de México
- Código para la Biodiversidad del Estado de México
- Código de Conducta para la Comisión del Agua del Estado de México
- Comité de Ética y de Prevención de Conflictos de Intereses de la Comisión del Agua del Estado de México
- Manual General de Organización de la CAEM
- Plan de Desarrollo Estatal del Estado de México 2011-2017
- Presupuesto de Egresos del Gobierno del Estado de México para el Ejercicio Fiscal del año 2017
- Reglas de Integridad para el Ejercicio del Empleo, Cargo o Comisión de los Servidores Públicos de la Comisión del Agua del Estado de México
- Comité de Ética y de Prevención de Conflictos de Intereses de la Comisión del Agua del Estado de México (Informe Anual de Actividades)

1.2 Conceptos básicos

Una inundación consiste en la invasión o cubrimiento de agua en áreas que en condiciones normales se mantienen secas, también es considerada como la abundancia excesiva de algo o cosa; por ejemplo, *“hay una inundación de zancudos en la casa”*. Las inundaciones son ocasionadas cuando al no poder absorber el suelo y la vegetación toda el agua cuando llueve, ésta fluye sin que los ríos sean capaces de canalizarla ni los estanques naturales o pantanos artificiales creados por medio de presas puedan retenerla. Las inundaciones fluviales son consecuencia de una lluvia intensa o lluvia torrencial, a las que en ocasiones se suma la nieve del deshielo, con lo que los ríos se desbordan. Las zonas costeras se inundan a causa de mareas inusualmente altas originadas por fuertes vientos en la superficie oceánica, o por un maremoto o tsunami. Gran parte de la superficie terrestre es afectada por las inundaciones, especialmente las zonas ecuatoriales y tropicales. Entre las lluvias que producen grandes inundaciones están las causadas por los vendavales de verano de Asia y Oceanía, los ciclones en el área el Caribe como el fenómeno del Niño, que afecta gran parte de América Central y del Sur (*Concepto definicion.de*, 2014).

Las inundaciones dañan los bienes, amenazan la vida de seres humanos y animales, erosionan el suelo y sedimentan excesivamente, dificultan el drenaje e impiden que los terrenos sean explotados de manera productiva. Otros efectos de las inundaciones en conjunto con las lluvias son que ocasionan derrumbes y deslizamientos de tierra que destruyen casas y vidas humanas, así como también se ven afectados los soportes de los puentes, los peraltes de las vías, y otras estructuras, además la navegación y el abastecimiento de energía hidroeléctrica (*Concepto definicion.de*, 2014).



1.3 Inundaciones. Análisis, clasificación e impactos

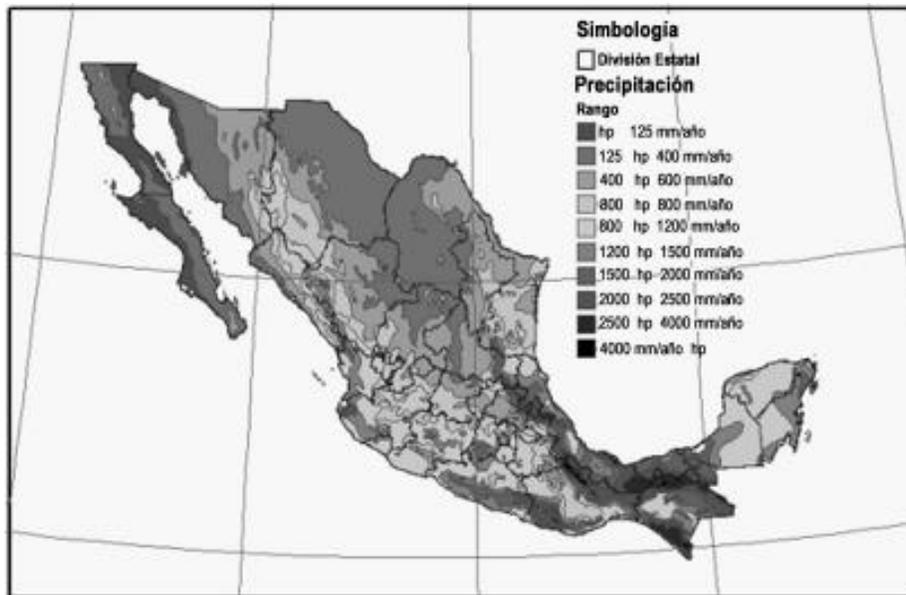
Clasificación de las inundaciones

Las clasificaciones más comunes obedecen a su origen, o bien, al tiempo que tardan en presentarse sus efectos. De acuerdo con su origen. En este punto se trata de identificar la causa de la inundación. Los principales tipos son (Salas y otros, 2014:15):

1. Inundaciones pluviales. Son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días. Su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre esa zona y no la que viene de alguna otra parte (por ejemplo de la parte alta de la cuenca). La República Mexicana es afectada por precipitaciones originadas por diferentes fenómenos hidrometeorológicos. En verano (de junio a octubre) las lluvias más intensas están asociadas con la acción de ciclones tropicales que afectan gran parte del territorio nacional. En cambio, durante el invierno los frentes fríos son la principal fuente de lluvia.

A estos fenómenos se suman el efecto ejercido por las cadenas montañosas (lluvia orográfica), además del convectivo, que ocasiona tormentas de corta duración y poca extensión, pero muy intensas (lluvias convectivas). Igual o más importante aún es considerar la acción conjunta de estos mecanismos productores de lluvia, por ejemplo, en octubre de 1999 como resultado de la interacción de la depresión tropical no. 11 y el frente frío no. 5 ocurrió una tormenta severa en el norte de Veracruz, afectando también los estados de Hidalgo y Puebla; causó inundaciones en la planicie costera del golfo de México, así como deslizamientos de tierra en la sierra norte de Puebla. Estas condiciones climatológicas dan lugar para que los ríos presenten regímenes hidráulicos muy irregulares, alternando estiajes duraderos con periodos de avenidas muy grandes (ver mapa 1).

Mapa 1. Precipitación media anual en el territorio nacional



Fuente: Salas y otros, 2014:15.

- **Causas de la precipitación.** El vapor de agua, al condensarse en las capas altas y frías de la atmósfera, se transforma en nubes que se presentan en diversas formas: cúmulos, cirros, estratos y nimbos; de acuerdo con el contenido de vapor de agua que se condensa, se convierte en gotas de agua. Al estar suficientemente grandes aumenta su peso y velocidad, haciendo que se precipiten hacia el suelo en forma de lluvia. Los principales mecanismos a través de los que se genera la precipitación son (Salas y otros, 2014:15):
 1. **Ciclones tropicales.** Al transportar grandes cantidades de humedad, los ciclones tropicales pueden provocar tormentas de larga duración, del orden de varios días y abarcar grandes extensiones. Por lo que pueden ser causa de inundaciones en las principales cuencas del país, principalmente en aquéllas que vierten hacia el golfo de México o hacia el océano Pacífico.
 2. **Lluvias orográficas.** Se originan con las corrientes de aire húmedo que chocan con las barreras montañosas, provocando su ascenso y consecuente enfriamiento, lo que da lugar para su condensación y, como resultado, la ocurrencia de precipitación en el lado por donde sopla el viento (barlovento) hacia las montañas. El relieve representa un importante factor en la distribución de las lluvias, ya que actúa como una barrera o un modificador de la dirección del viento. Usualmente esta distribución de la precipitación es muy irregular entre las dos vertientes de una misma cadena montañosa, sobre todo cuando su eje es más o menos perpendicular a la dirección de los vientos húmedos dominantes.
 3. **Lluvias invernales (frentes fríos).** Consisten en el desplazamiento de frentes de aire frío procedentes de la zona del Polo Norte. En el país, la zona más afectada por este tipo de fenómenos meteorológicos es la noroeste, donde se originan precipitaciones importantes; sin embargo, también afectan la vertiente del golfo de México y la península



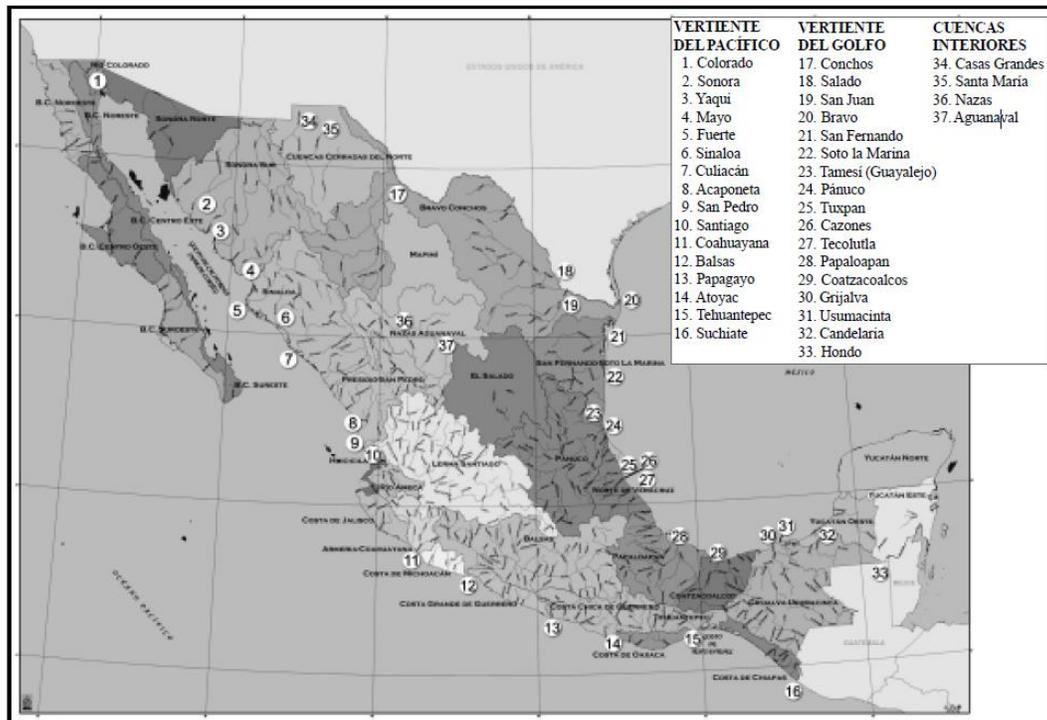
de Yucatán. Las grandes avenidas ocurridas en los ríos Fuerte y Yaqui en Sinaloa y Sonora, son consecuencia de este tipo de fenómenos.

4. Lluvias convectivas. Las lluvias convectivas tienen su origen en el calentamiento de la superficie terrestre, ya que algunas áreas de la superficie de la tierra absorben mejor que otras los rayos solares, por ello, el aire en contacto con esas “zonas cálidas” llega a calentarse más que en los alrededores, lo que da lugar a corrientes verticales con las que asciende el aire caliente húmedo.

Inundaciones fluviales. Se generan cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. A diferencia de las pluviales, en este tipo de inundaciones el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente a lluvia sobre la zona afectada. Es importante observar que el volumen que escurre sobre el terreno a través de los cauces, se va incrementando con el área de aportación de la cuenca, por lo que las inundaciones fluviales más importantes se darán en los ríos con más desarrollo (longitud) o que lleguen hasta las planicies costeras (ver mapa 2) (Salas y otros, 2014:19).



Mapa 2. Hidrografía de la República Mexicana



Fuente: Salas y otros, 2014:15.

2. Inundaciones costeras. Se presentan cuando el nivel medio del mar asciende debido a la marea y permite que éste penetre tierra adentro, en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno. La marea de tormenta es generada por los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar y por la disminución de la presión atmosférica en el centro de estos meteoros. Por su parte, el oleaje en el océano puede ser provocado por diferentes factores; sin embargo, su causa más común es el viento. La suma de los efectos de ambos fenómenos, puede causar importantes estragos. En el fascículo de Ciclones Tropicales, puede encontrarse más información al respecto (Salas y otros, 2014:19).
- Inundaciones por falla de infraestructura hidráulica. Existe una causa que puede generar una inundación, aún más grave que las antes mencionadas: si la capacidad de las obras destinadas para protección es insuficiente, la inundación provocada por la falla de dicha infraestructura será mayor que si no existieran obras. Afortunadamente las inundaciones por insuficiencia de obras de almacenamiento y control han sido poco frecuentes. En 1976, el huracán Liza produjo lluvias extraordinarias que hicieron fallar uno de los bordos del arroyo *El Cajoncito*, afectando la ciudad de La Paz, en el estado de Baja California Sur. Durante el año de 1973, la falla de la presa *El Conejo* y algunas otras represas pequeñas provocaron una inundación en la zona del Bajío. En el año 2003, la falta de mantenimiento, debido a la conclusión de la vida útil de la infraestructura, propició la falla de la presa *Dolores* en San Luis Potosí y la presa *El Capulín* en Zacatecas (Salas y otros, 2014:21).

En el caso de presas de materiales sueltos (tierra y roca), es particularmente importante evitar el desbordamiento de éstas, ya que en caso de que ocurra, en pocas horas, provocaría su propia



destrucción y el gran volumen de agua almacenado en su embalse sería descargado de manera súbita, de modo que esa descarga repentina provocaría considerables fuerzas de arrastre, superando la capacidad del cauce y provocando daños muchas veces mayores a los ocasionados sin la existencia de la obra. Eventualmente, dichas obras pueden presentar fallas en su funcionamiento hidráulico debido a diferentes factores (Salas y otros, 2014:21-24):

1. Diseño Escaso. Algunas causas de un diseño escaso son la falta de información hidrológica en la cuenca o de la climatología es el empleo de criterios o metodologías inapropiadas u obsoletas para el diseño de las obras. Dique del arroyo “*El Cajoncito*” La ciudad de La Paz, periódicamente, sufría problemas de inundaciones por el desbordamiento de los arroyos *El Cajoncito* y *El Piojillo*, generalmente, debido a la ocurrencia de ciclones que pasan por la zona. Por lo anterior, se llevó a cabo la construcción de obras de protección cuya finalidad era desviar la corriente del arroyo *El Cajoncito* hacia el arroyo *El Piojillo*; sin embargo, esto propició el crecimiento de asentamientos humanos en un tramo del cauce de *El Cajoncito* y, el 30 de septiembre de 1976 la presencia del huracán *Liza* produjo una avenida que hizo fallar un bordo que protegía la zona urbanizada, ubicada dentro del antiguo cauce, provocando con ello una inundación de consecuencias graves que ocasionó la pérdida de vidas humanas y daños materiales de consideración. Al parecer, el problema principal fue que la capacidad de los bordos fue rebasada por la creciente generada por el huracán *Liza*, debido a que la información disponible para su diseño era escasa y, en consecuencia, el escurrimiento calculado fue menor que el real.
2. Mala operación. Este caso se refiere, básicamente, a las presas con compuertas. Las posibles alternativas son:
 - Cuando la compuerta de una presa se abre más de lo necesario y las descargas a través del vertedor producen una cantidad de agua mayor a la que puede conducir el cauce aguas abajo, se provoca el desbordamiento del río y, en consecuencia, una inundación.
 - Cuando dicha compuerta no se abre lo suficiente para dejar pasar la crecida, tratando de almacenar el mayor volumen de agua y posteriormente su capacidad es insuficiente, el agua sube de nivel más allá de lo diseñado y pone en peligro la estabilidad de la cortina. Presa “*El Conejo*”, en el estado de Guanajuato El 18 de agosto de 1973 la ciudad de Irapuato fue inundada. Supuestamente, hubo un periodo en el que la presencia de la lluvia fue muy constante, desde finales del mes de junio hasta el 18 de agosto. Las consecuencias fueron grandes volúmenes de escurrimiento que rebasaron la capacidad de varias presas pequeñas y bordos, ubicados aguas arriba de la presa *El Conejo*. Adicionalmente, al darse cuenta que la capacidad del vertedor no era suficiente para desalojar los volúmenes que entraban en el embalse de esta presa, se tomó la decisión de hacer una escotadura sobre uno de los bordos de tierra, para sacar un volumen adicional por el vertedor; sin embargo, esa descarga se salió de control debido a la erosión que causó el agua al pasar sobre el bordo, con lo que esa escotadura fue el inicio para que se abriera un boquete que terminó por hacer fallar el bordo. Aparentemente, y dada la cantidad de precipitación que se registró en la cuenca alta de la presa *El Conejo*, las extracciones debieron ser mayores para contar con una mayor capacidad de regulación para la avenida que venía; no obstante, las compuertas no se abrieron de la manera requerida, para evitar que se inundaran los terrenos ubicados aguas abajo de la misma.

3. Falta de mantenimiento o término de la vida útil de la obra. Este puede ser el caso de muchas estructuras pequeñas, principalmente bordos de protección y algunas presas de principios del siglo pasado. De acuerdo con la información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CNA), las presas *Dolores (La Ventilla)*, en San Luis Potosí y *El Capulín*, en Zacatecas, fueron construidas hace más de 100 años. En ambos casos, las cortinas de las presas tenían deficiencias de operación y defectos estructurales, ya que antes de su falla se encontraban muy azolvadas y con filtraciones en algunas zonas del cuerpo de las cortinas. *Presa "Dolores", en el estado de San Luis Potosí* La cortina fue sobreelevada, por lo menos en tres ocasiones, motivado por la reducción de la capacidad de almacenamiento debida a la acumulación de azolves en su embalse. Se tiene conocimiento que antes de la falla existían filtraciones a través del cuerpo de la cortina, lo que motivaba el crecimiento descontrolado de vegetación en su paramento aguas abajo, además de que los vertedores se encontraban cerrados intencionalmente, impidiendo el derrame de los volúmenes excedentes a la capacidad útil de la presa para aumentar su capacidad de almacenamiento. La cortina de mampostería de la presa *Dolores* fue desbordada debido a la falta de capacidad de almacenamiento del vaso debido a un azolvamiento excesivo, aproximadamente del 100% de su capacidad y a que el vertedor estaba obstruido (ver fotografía 1).

Fotografía 1. Vista aérea de la presa *Dolores*



Fuente: Salas y otros, 2014:24.

- Clasificación de las inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca. La respuesta hidrológica de una cuenca depende de sus características fisiográficas. Básicamente se han definido dos grupos: inundaciones lentas e inundaciones rápidas. Lo anterior significa que en cuencas cuya respuesta hidrológica es lenta se generan avenidas en un tiempo relativamente largo (del orden de varias horas o días); en ellas ocurren principalmente daños materiales. Mientras que cuando la inundación se forma en poco tiempo (desde unos cuantos minutos, hasta un par de horas) se llama inundación súbita, causando, principalmente, la pérdida de vidas humanas en zonas pobladas (Salas y otros, 2014:25):



- Inundaciones lentas. Al ocurrir una precipitación capaz de saturar el terreno, esto es, cuando el suelo no puede seguir absorbiendo más agua de lluvia, el volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno. Conforme el escurrimiento avanza hacia la salida de la cuenca, se incrementa proporcionalmente con el área drenada, si el volumen que fluye por el cauce excede la capacidad de éste, se presentan desbordamientos sobre sus márgenes y el agua desalojada puede permanecer horas o días sobre el terreno inundado. Este efecto se presenta comúnmente en zonas donde la pendiente del cauce es pequeña y, por ende, la capacidad de los ríos disminuye considerablemente provocando desbordamientos que generan inundaciones en las partes aledañas.
- Inundaciones súbitas. Las inundaciones súbitas son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños. Las zonas urbanas son usualmente sitios donde se presenta este tipo de avenidas, como consecuencia de la “cubierta impermeable” formada artificialmente por los edificios y calles, así como por la deforestación. Debido a ello, el agua no puede infiltrarse y prácticamente todo el volumen precipitado se convierte en escurrimiento. Así, donde antes una tormenta humedecía la tierra y regaba la hierba y los árboles, ahora bastan unos cuantos minutos para generar una avenida que arrastra todo lo que encuentra a su paso.

1.4 Metodología para la valoración económica de los daños potencialmente tangibles por inundación

El cálculo de los daños en áreas inundables sólo abarcará, en el presente estudio, los daños tangibles directos e indirectos para zonas habitacionales y agrícolas, tal y como han sido definidos por James y Lee (1971), de forma que los daños tangibles directos son los producidos por contacto con el agua o por sumersión, y los daños indirectos son aquellos daños causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas e incluyen, por ejemplo, la interrupción del tráfico, pérdidas de salarios y beneficios en los negocios, etcétera (Baró y otros, 2012: 87).

Daños tangibles directos. Construcción de curvas de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. En primer lugar se identificaron las AGEBS ubicadas en zonas inundables dentro del área de estudio, en este caso la cuenca Lerma-Chapala (ver mapa 1). En total se identificaron 183 Unidades Geográficas (UG); dentro de las cuales se contabilizaron 125 AGEBS con un IM muy alto, 126 con IM alto, 106 con IM medio, 65 con IM bajo y 29 con IM muy bajo (Tabla 1) (Baró y otros, 2012: 87).

Tabla 1. Número de unidades geográficas, número de AGEB’s urbanas e índice de marginación por entidad federativa localizadas en zonas inundables de la cuenca Lerma-Chapala.

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ESTADO DE MÉXICO		JALISCO		GUANAJUATO		MICHOACÁN		TOTAL	
	UG	AGEB	UG	AGEB	UG	AGEB	UG	AGEB	UG	AGEB
Muy alto	43	60	7	12	20	28	17	25	87	125
Alto	23	57	9	17	14	29	17	23	63	126
Medio	10	32	6	18	7	44	1	12	24	106
Bajo	1	9	1	11	4	39	-	6	7	65
Muy bajo	1	2	-	13	1	23	1	1	4	29

IM, Índice de marginación, UG, Unidad geográfica, AGEB Área geoestadística básica



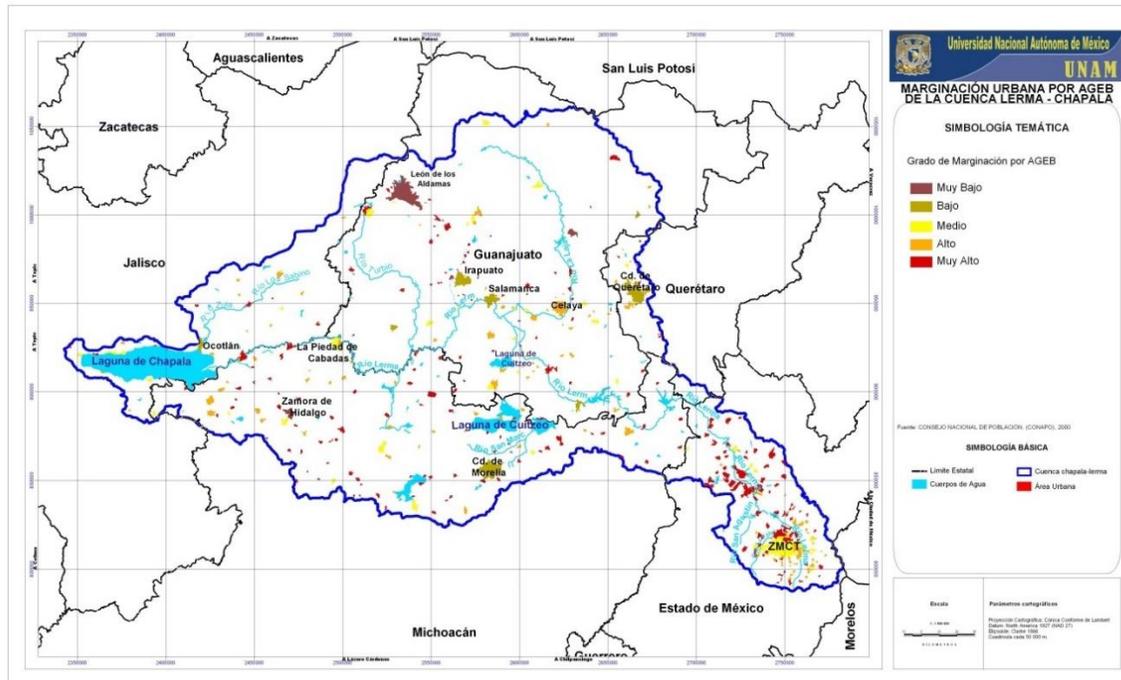
Fuente: Baró y otros, 2012: 87.

Con base en la información anterior, y la contenida en el SCINCE e IRIS-SCINCE II (INEGI, 2002, 2007), se elaboró una base de datos en función del IM, donde se incluyó el número de identificación de la AGEB, el número de viviendas habitadas, así como el número de bienes existentes, concretamente de radio, radiograbadoras, televisiones, videos, licuadoras, refrigeradores, lavadoras, teléfonos, calentadores, automóviles y computadoras. Adicionalmente, en el marco de este trabajo, se incluyeron en la base de datos otros bienes, como son los mobiliarios (cocina, comedor, sala y recámara) y los de ropa y calzado, los cuales no se contemplan en la información del SCINCE (Baró y otros, 2012: 88).

Una vez definidos los bienes existentes en una vivienda para un tipo de AGEB dado, así como su valor monetario, se determinó el porcentaje de afectación de estos bienes en función del nivel que alcance el agua dentro de la vivienda. Este análisis se realizó con el objetivo de tener una cuantificación más realista del valor del daño producido por el contacto directo con el agua. Una vez determinado el porcentaje de afectación, éste se multiplicó al valor de cada uno de los bienes. El valor obtenido de daños para una altura de lámina de agua y para una vivienda ubicada en una AGEB con un IM dado, permitió, en un siguiente paso, calcular el costo máximo, el más probable y el costo mínimo, simplemente identificando el valor más alto y el valor más bajo obtenido (Baró y otros, 2012: 88).

Para la estimación de costo más probable es requerido el cálculo del coeficiente de asimetría, para determinar cuál es su valor ($C_s > 0$, $C_s < 0$, $C_s = 0$) y de este modo elegir la función a emplear para estimar el costo más probable. Posteriormente, se graficaron los costos versus la altura de lámina de agua, lo cual permite obtener tres curvas, la curva de costo mínimo, la curva de costo máximo y la curva de costo más probable, siendo esta última con la que se realizaron los cálculos de daños. A continuación se presenta de forma detallada cómo se obtuvieron los diferentes tipos de curvas para cada tipo de AGEB (Baró y otros, 2012: 88).

Mapa 1. Índice de marginación de las AGEBs urbanas. Cuenca Lerma-Chapala



Fuente: Baró y otros, 2012: 89.

- Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM muy alto

En primer lugar se definió la relación de bienes que como promedio existen en esta clase de vivienda, consistente en: televisión, refrigerador y estufa, en el rubro de electrodomésticos, además de los muebles correspondientes a la sala, comedor y recámaras. También se consideró el rubro de ropa. A cada uno de estos rubros se le hizo corresponder un precio unitario teniendo en cuenta los ingresos y gastos de una familia que habita en este tipo de vivienda, para finalmente obtener el costo total de todos ellos (Tabla 2) (Baró y otros, 2012: 88-89).

El siguiente paso fue establecer los intervalos de altura de lámina de agua, para definir de este modo el porcentaje de afectación que pudiera tener cada uno de estos bienes. Para ello se consideró en el caso de los electrodomésticos a qué altura se encuentra instalado el motor, y en caso de los muebles, cuáles son sus dimensiones promedio. Las alturas de lámina de agua definidas fueron de 0.10 m., 0.20 m., 0.30 m., 0.50 m., 0.70 m., 1.00 m., 2.00 m. y 2.5 m. No se definieron más alturas ya que a esta última, los daños totales alcanzarían un valor del 100% (Baró y otros, 2012: 89).

En el caso de los electrodomésticos tipo refrigerador, el porcentaje de afectación se estableció en función de que altura de la lámina de agua alcanza el sistema de refrigeración, y por lo tanto lo dañe, lo cual corresponde a una altura de lámina de agua de 0.30 m., a partir de ese nivel, un refrigerador quedaría inutilizado en un 90% (Tabla 2) (Baró y otros, 2012: 88-89).

En el caso de una estufa, como los quemadores se encuentran en la parte superior, la afectación se daría en el momento en que el nivel del agua alcanzase ese punto, lo cual equivaldría a unos 0.50 m de altura; ya que las estufas, si no tienen horno, se encuentran sobre alguna superficie, o si tiene horno la altura promedio de la estufa es de medio metro. Con respecto a la televisión, ésta siempre se encuentra sobre algún mueble, por lo cual se considera que se produciría una afectación a partir de los 0.30 m. de altura del nivel del agua (Baró y otros, 2012: 90).



Tabla 2. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy alto (número de unidades entre paréntesis).

IM MUY ALTO	PRECIO UNITARIO	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
		0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
Bienes en la vivienda									
Radio o radiograbadora	3000			90	100	100	100	100	100
TV	4000			90	100	100	100	100	100
Videocasetera	400			90	100	100	100	100	100
Licudadora	700			90	100	100	100	100	100
Refrigerador	4000		70	80	90	100	100	100	100
Lavadora	3000		70	80	90	100	100	100	100
Teléfono	100						100	100	100
Boiler	1500					90	100	100	100
Auto	15000		10	20	50	60	70	100	100
Computadora	6000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	1500				90	100	100	100	100
Sala-Comedor (1)	2000	10	30	50	80	100	100	100	100
Recámaras-colchón (4)	3000			90	100	100	100	100	100
Ropa (1)	4000			50	100	100	100	100	100

Fuente: Baró y otros, 2012: 90.

Una vez asignados los porcentajes de afectación, se calculó el valor del daño correspondiente con base en el costo de cada bien (Tabla 2), de modo que se obtiene el valor en pesos de los daños económicos para cada altura de lámina de agua alcanzada y para cada una de las AGEBs identificadas (Tabla 3). Estos daños totales se convirtieron en número de salarios mínimos, teniendo en cuenta que el salario mínimo promedio a nivel nacional equivale a \$53.19 para el año 2009. El monto obtenido se dividió por el número de viviendas habitadas que existe en cada una de las AGEBs identificadas para de esta forma obtener el valor de los daños para una vivienda. Finalmente, se obtiene, para cada altura de lámina de agua, el monto de los daños económicos en una vivienda ubicada en una AGEB con IM muy alto, valorado en número de salarios mínimos (Baró y otros, 2012: 90-91).

Con estos datos se construyó una gráfica, donde el eje X corresponde a valores de altura de lámina de agua en metros, y en el eje Y los daños económicos en unidades de número de salarios mínimos. Una vez se grafican los datos, se construye un modelo matemático de tipo regresivo y con este ajuste se obtiene una ecuación cuyos parámetros se utilizarán posteriormente para el cálculo de los daños tangibles directos (Figura 1). El ajuste elegido fue aquel con el que se obtuvo el valor más alto del coeficiente de determinación (R^2), que en este caso correspondió a un ajuste logarítmico, con un coeficiente de determinación de 0.82 para el caso del costo máximo, de 0.72 para el costo mínimo y 0.74 para el costo más probable (Tabla 4). La ecuación del modelo logarítmico permite calcular los daños potenciales directos, en número de salarios mínimos, para una altura de lámina dada (Baró y otros, 2012: 91).

Tabla 3. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy alto (en pesos 2009)

IM MUY ALTO	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
Clave UG								
110110054	200	3378	23340	30458	31682	32376	33311	33311



110110006	200	3768	23373	30383	31622	32391	33201	33201
110180035	200	4137	24495	31995	33417	34568	35764	35764
110180001	200	4012	24410	31754	33120	34170	35206	35206
110190068	200	2888	22412	29346	30473	31283	32141	32141
110230148	200	3359	23559	31025	32347	33085	34374	34374
110270046	200	3206	23171	30205	31387	32109	32976	32976
110270087	200	2488	21652	28228	29213	29701	30269	30269
110270135	200	3145	22693	29522	30642	31153	31859	31859
110270161	200	3704	23891	31042	32307	33167	34066	34066
110270110	200	3034	21789	28335	29379	29864	30375	30375
110280064	200	2883	22710	29754	30904	31720	32661	32661
110380001	200	4021	24335	31918	33356	34609	35915	35915
110420043	200	2962	22312	29160	30269	30845	31622	31622
110420001	200	4520	25094	32779	34308	35511	36825	36825
110420050	200	3383	23217	30535	31817	32666	33836	33836
140160072	200	3525	23571	30608	31820	32312	33130	33130
150050016	200	1243	19356	25450	26193	26405	26748	26748
150060001	200	3162	23037	30287	31553	32653	33768	33768
150140048	200	2129	21361	28302	29378	30047	31050	31050
150420024	200	923	18086	23951	24619	24736	24989	24989
150420007	200	900	17915	23753	24416	24518	24764	24764
150420031	200	1205	19219	25225	25937	26127	26393	26393
150420016	200	1351	19984	26309	27119	27523	28038	28038
150420030	200	1686	20383	26986	27917	28404	29169	29169
150420002	200	1578	20039	26912	27923	28387	29486	29486
150420017	200	906	18576	24653	25368	25533	25958	25958
150420032	200	1248	19081	25078	25805	25962	26233	26233
150420022	200	1548	20344	26984	27911	28350	29160	29160
150420035	200	1187	19144	25238	25981	26231	26600	26600
150420034	200	1379	19538	25900	26740	27146	27754	27754
150480015	200	1669	20692	27147	28021	28415	28980	28980
150670005	200	2173	21686	28305	29263	29741	30357	30357
150850038	200	1239	17660	23978	24849	25203	25995	25995
150850001	200	2827	21829	28887	30098	31082	32139	32139
150850024	200	900	17669	23477	24140	24262	24505	24505
150850014	200	1724	19785	26180	27074	27519	28127	28127
150870017	200	1924	20716	27438	28424	29006	29855	29855
150870027	200	1458	20194	26484	27288	27574	28026	28026
150870021	200	2338	21827	28899	30021	30764	31850	31850
151010003	200	1948	20578	27037	27954	28469	29048	29048
151010001	200	3862	24313	31931	33394	34861	36203	36203
151010014	200	2687	22380	29471	30630	31382	32416	32416
151060051	200	2096	21314	28079	29087	29608	30427	30427
151060082	200	2196	21302	28070	29093	29620	30443	30443
151060188	200	1045	18651	24608	25305	25464	25747	25747
151060098	200	1760	20271	26610	27470	27819	28309	28309
151060062	200	1499	19808	26105	26934	27256	27761	27761



151060127	200	1270	19317	25545	26337	26587	27080	27080
151060079	200	2207	21758	28550	29571	30210	31002	31002
151060112	200	2107	20877	27497	28476	29007	29721	29721
151060068	200	1115	19042	25091	25810	25998	26332	26332
151060155	200	1029	18432	24423	25133	25287	25634	25634
151060099	200	1300	18915	25084	25870	26132	26609	26609
160110004	200	4003	24191	31386	32690	33370	34277	34277
160500001	200	3854	24138	31700	33124	34333	35642	35642
160500070	200	2620	22334	29167	30229	30868	31631	31631
160690001	200	5163	25925	34080	35837	37257	38965	38965
160860001	200	4419	24818	32534	34057	35251	36636	36636
161050004	200	4022	24226	31835	33261	34294	35647	35647
161130016	200	4715	25565	34029	35773	37213	39321	39321
161130001	200	4422	25047	33057	34653	35930	37609	37609
161130012	200	3367	23721	31139	32436	33376	34593	34593
150490005	200	2116	21280	27849	28802	29351	29960	29960
150900038	200	2099	21283	28002	28994	29541	30315	30315
150480008	200	3192	23057	30468	31785	32916	34204	34204
150740008	200	647	16252	21749	22329	22382	22462	22462
150470020	200	1107	17655	23722	24497	24853	25373	25373
160170001	200	3387	23531	31030	32381	33507	34831	34831
160200016	200	1834	21035	27257	28060	28297	28566	28566
160630001	200	3400	23579	30907	32199	33213	34346	34346
161030001	200	4434	25096	32839	34358	35183	36565	36565
160620001	200	3937	24421	32086	33532	34575	35962	35962
160620006	200	3501	23521	30711	31965	32376	33367	33367
160180001	200	3436	23804	31254	32572	33810	35051	35051
160300001	200	4408	25041	32931	34493	35930	37479	37479
150420033	200	1762	20767	27413	28354	28686	29448	29448
140160010	200	4950	25723	34492	36369	38016	40429	40429
140180027	200	4385	24742	32546	34087	35435	36927	36927
140500011	200	4061	24525	32082	33526	34566	35818	35818
140960014	200	3234	23207	30516	31778	32673	33836	33836
140660019	200	1913	20063	26294	27144	27348	27743	27743
140660031	200	1438	18316	24306	25076	25207	25559	25559
110210001	200	5531	26679	35061	36917	38773	40629	40629
110460075	200	4830	25668	33458	35025	36406	37762	37762
110020027	200	3269	23221	30411	31646	32720	33752	33752
110010117	200	2997	22503	29528	30695	31337	32280	32280
MAX (\$)	200	5531	26679	35061	36917	38773	40629	40629
MIN (\$)	200	647	16252	21749	22329	22382	22462	22462
MP (\$)	200	1362	17779	23699	24465	24782	25123	25123
MAX (No. S.M.)	4	104	502	659	694	729	764	764
MIN (No. S.M.)	4	12	306	409	420	421	422	422
MP (No. S.M.)	4	26	334	446	460	466	472	472

UG: Unidad geográfica
MAX: Costo máximo
MIN: Costo mínimo
MP: Costo más probable



No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009).
 Fuente: Baró y otros, 2012: 93.

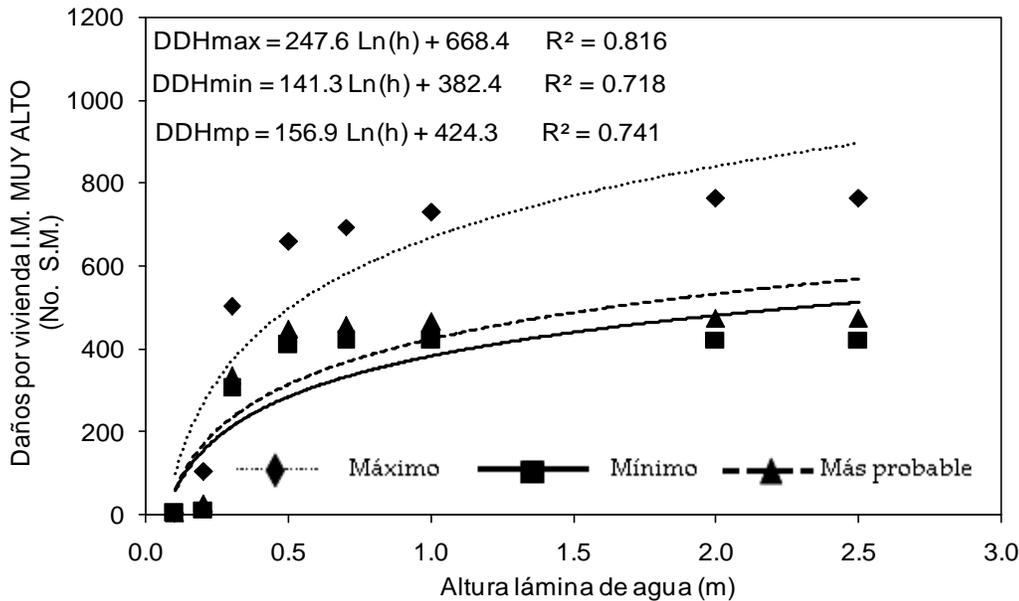


Figura 1. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales.
 AGEB con un IM muy alto
 Fuente: Baró y otros, 2012: 94.

Tabla 4. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM muy alto

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R ²
Muy alto	DDHmax = 247.63 Ln(h) + 668.44	0.82
	DDHmin = 141.36 Ln(h) + 382.45	0.72
	DDHmp = 156.92 Ln(h) + 424.33	0.74

R²: Coeficiente de determinación
 DDHmax: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo
 DDHmin: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo
 DDHmp: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable
 h: altura de la lámina de agua
 Fuente: Baró y otros, 2012: 94.

Los modelos matemáticos de tipo regresivo están basados en el principio que la mejor forma de encontrar una curva que se ajuste para un conjunto de datos, es a través de un proceso de regresión y correlación de los datos por mínimos cuadrados, diferencias finitas, etcétera., donde el ajuste resultante puede ser una recta o una curva que permite un acercamiento más fiel a los datos en estudio. La ecuación de la curva que se busca ajustar cuenta, generalmente, con dos o más constantes de ajuste que se deben determinar mediante el proceso anteriormente mencionado. Si el ajuste es logarítmico, se tiene una ecuación $y = K \ln(x) + C$, donde K y C son los valores que permiten modificar la ecuación $y = \ln(x)$ para ajustarse mejor a los datos (Baró y otros, 2012: 91).

El sustento del modelo de ajuste lo constituye un ábaco de curvas que permiten seleccionar automáticamente cual es el tipo de curva que mejor se ajusta. El valor del coeficiente de determinación R², indica cuánto es de representativa la ecuación para poder interpretar los datos, de forma que un valor próximo a 1 indica que la ecuación puede explicar, en un alto porcentaje, el comportamiento de estos datos (Baró y otros, 2012: 92).



La ecuación del ajuste logarítmico permite calcular los daños potenciales directos, en número de salarios mínimos, para una altura de lámina dada. Por ejemplo, si la inundación producida en un sector determinado provoca una lámina de agua de 0.56 m de altura, sólo será cuestión de sustituir la x de la ecuación por este valor para obtener la cuantificación de los daños potenciales directos para una vivienda de clase precaria en número de salarios mínimos (Baró y otros, 2012: 92).

Esta gráfica tiene la particularidad de utilizar como unidades de medida el número de salarios mínimos. Esto implica que la gráfica puede ser aplicada en cualquier año ya que para estimar los daños en pesos bastaría multiplicar el número de salarios mínimos correspondiente a la altura de la lámina de agua por el valor del salario mínimo en ese año en particular correspondiente al área geográfica en cuestión (A, B o C) en donde se produzca la inundación, el cual se da a conocer por el Consejo Nacional de Salarios Mínimos (CNSM) cada año (Baró y otros, 2012: 92).

También es posible notar, en la Figura 1, como a partir de una altura de lámina de agua de 0.50 m se produce un cambio en el comportamiento de los datos. Esto es consecuencia de que para alturas de lámina mayor, los bienes están afectados casi en su totalidad en un 100% (Tabla 2). Hay que señalar que esta gráfica (así como las subsiguientes para los diferentes tipos de AGEBs), representa como los daños a la vivienda y sus bienes va aumentando de forma aproximadamente lineal con el nivel de las aguas, pero llega un punto en que los daños van aumentando más lentamente hasta que se producen los daños estructurales en la vivienda, lo que implica una afectación del 100%, tal y como lo reporta Estrela (1996) (Baró y otros, 2012: 94-95).

- Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM alto

El modo de establecer la curva de daños potenciales para viviendas ubicadas en una AGEB con IM alto fue el mismo que en el anterior caso, las diferencias estriban en que el costo de estos bienes es superior, ya que al tener un mayor ingreso el tipo de familia que vive en estas clases de viviendas, pueden dedicar un mayor porcentaje de sus ingresos a este rubro. En la tabla 5 se presenta la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de éstos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua. En la tabla 6 se exponen el valor de estos daños en pesos y su equivalencia en número de salarios mínimos para el año 2009 (Baró y otros, 2012: 95).

Tabla 5. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM alto (número de unidades entre paréntesis)

IM ALTO	Bienes en la vivienda	Precio unitario	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
			0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
	Radio o radiograbadora	3500		90	100	100	100	100	100	100
	TV	5000		90	100	100	100	100	100	100
	Videocasetera	400		90	100	100	100	100	100	100
	Licuada	700		90	100	100	100	100	100	100
	Refrigerador	4000		70	80	90	100	100	100	100
	Lavadora	3000		70	80	90	100	100	100	100
	Teléfono	100						100	100	100
	Boiler	1500					90	100	100	100
	Auto	20000		10	20	50	60	70	100	100
	Computadora	6000		50	60	70	90	100	100	100
	Estufa (1)	1500				90	100	100	100	100



Comedor (1)	3000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala (1)	3000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	4000			90	100	100	100	100	100
Ropa (1)	5000			50	100	100	100	100	100

Fuente: Baró y otros, 2012: 95.

Con los datos, se construyó la familia de curvas de daños potenciales por inundación para viviendas en AGEB con índice de marginación alto, curvas que se presenta en la Figura 2. Para cada curva se obtuvo un ajuste logarítmico, con un coeficiente de determinación de 0.85 para la curva de costo máximo, de 0.79 para la de costo mínimo y de 0.84 para el costo más probable (Tabla 7) (Baró y otros, 2012: 97).

Tabla 6. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM alto (en pesos 2009)

IM ALTO	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)								
	Clave UG	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
110020001	600	9913	29791	40005	42009	44236	46172	46172	
110020047	600	8328	28064	37857	39598	41618	43333	43333	
110160001	600	9466	29436	39851	41852	44133	46342	46342	
110180030	600	7507	27514	36957	38507	40220	41635	41635	
110230288	600	9598	29466	39636	41587	43415	45351	45351	
110270043	600	8949	28771	38491	40259	42302	43842	43842	
110280048	600	8810	28707	38271	39984	41860	43241	43241	
110280060	600	8908	28870	38799	40626	42629	44385	44385	
110280013	600	9288	28805	38864	40768	42792	44694	44694	
110280031	600	8698	28555	38348	40115	42018	43667	43667	
110280058	600	8394	28208	37724	39398	41200	42593	42593	
140160089	600	9035	28758	38918	40804	42226	44250	44250	
140330001	600	10619	30444	41494	43787	46159	48917	48917	
140470001	600	9933	29880	40195	42215	44059	46096	46096	
150120001	600	7414	26852	36402	38015	39817	41424	41424	
150140057	600	6815	25970	35379	36909	38655	40224	40224	
150270001	600	7386	26960	36481	38079	39862	41425	41425	
150420029	600	7723	27171	37077	38807	40679	42634	42634	
150480013	600	6389	25533	34387	35726	37123	38148	38148	
150510022	600	6588	26093	34908	36233	37579	38493	38493	
150510024	600	7936	27482	37182	38870	40613	42301	42301	
150510028	600	6594	25855	34797	36166	37549	38629	38629	
150540052	600	7641	27337	36715	38286	39890	41249	41249	
150540035	600	7694	27211	36612	38197	39874	41273	41273	
150670001	600	7517	27153	36516	38081	39799	41164	41164	
150760001	600	8292	27799	37554	39306	41192	42893	42893	
150980001	600	7021	26180	35469	36986	38822	40233	40233	
151060050	600	6707	26180	35242	36651	38034	39203	39203	
151060088	600	7936	27184	36834	38558	40420	42079	42079	
151150001	600	7546	27316	36684	38244	39962	41314	41314	
160040001	600	8874	28626	38689	40543	42586	44520	44520	



160110001	600	9811	29579	40007	42044	44226	46428	46428
160600001	600	9486	29336	39698	41686	43391	45556	45556
160670001	600	9384	29125	39406	41374	43653	45753	45753
161050001	600	9487	29281	39667	41662	43680	45878	45878
161060001	600	9328	28910	38970	40878	42722	44609	44609
150550001	600	8468	27961	38292	40216	42375	44682	44682
150620023	600	6680	26375	35415	36810	38317	39438	39438
150190005	600	7649	27020	36444	38040	39779	41227	41227
150900039	600	7369	27250	36679	38238	39977	41408	41408
150900001	600	8294	27920	37799	39580	41729	43551	43551
150730001	600	7143	26800	36125	37644	39229	40602	40602
150720001	600	7404	27335	36595	38112	39813	41046	41046
160360001	600	9402	29176	39290	41208	43570	45484	45484
160540001	600	8531	28392	38235	40002	42063	43788	43788
160780001	600	8493	28385	37987	39689	41622	43086	43086
160740001	600	8268	27873	37415	39075	40802	42268	42268
161030003	600	9081	28892	39338	41305	42940	45258	45258
160420001	600	8753	28396	38202	39974	41220	42903	42903
160300018	600	9145	29193	39482	41399	43737	45847	45847
160440001	600	8758	28645	38538	40338	42342	44088	44088
160280001	600	9724	29763	40319	42369	44822	47145	47145
161090001	600	9785	29447	40159	42273	44764	47292	47292
161030007	600	9122	29060	39249	41144	43107	45125	45125
140500017	600	9842	29665	40218	42291	44631	46958	46958
140500001	600	10047	29795	40223	42291	44133	46301	46301
141070008	600	8752	28442	38072	39797	41585	43070	43070
141070001	600	9543	29318	39498	41434	43634	45603	45603
140960001	600	8645	28225	38021	39788	41591	43286	43286
140300001	600	10083	29868	40297	42373	44235	46394	46394
110460001	600	9154	28997	38825	40648	42630	44255	44255
110360001	600	8512	28086	37669	39369	40664	42145	42145
110410001	600	9844	29801	39989	41963	44174	46085	46085

MAX (\$)	600	10619	30444	41494	43787	46159	48917	48917
MIN (\$)	600	6389	25533	34387	35726	37123	38148	38148
MP (\$)	600	9999	29725	40453	42607	44835	47340	47340

MAX (No S.M.)	11	200	572	780	823	868	920	920
MIN (No S.M.)	11	120	480	647	672	698	717	717
MP (No S.M.)	11	188	559	761	801	843	890	890

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

Fuente: Baró y otros, 2012: 96.

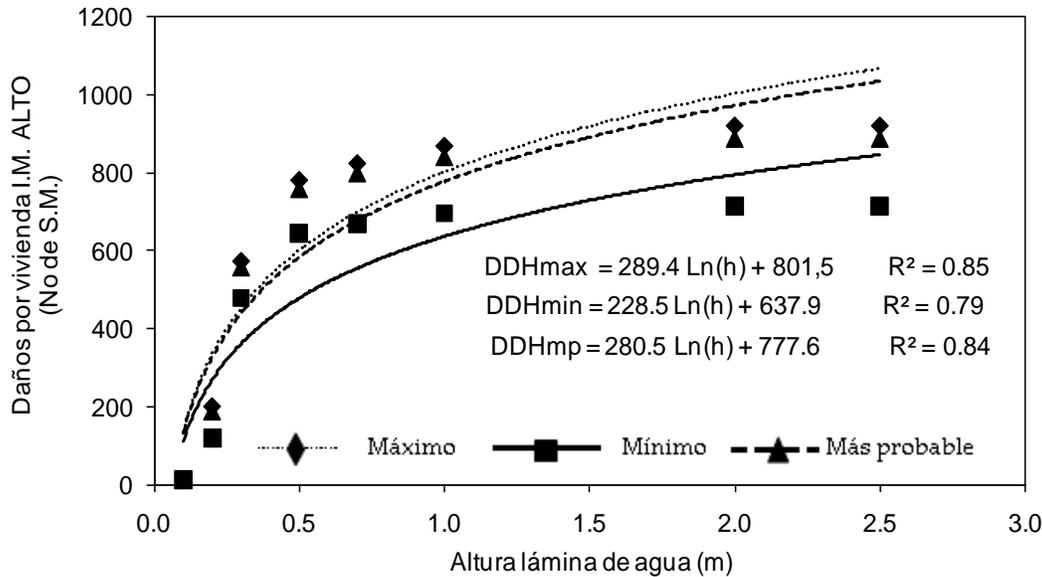


Figura 2. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM alto
Fuente: (Baró y otros, 2012: 97).

Tabla 7. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM alto.

R²: Coeficiente de determinación

INDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R ²
Alto	$DDH_{max} = 289.63 \ln(h) + 801.56$	0.85
	$DDH_{min} = 228.58 \ln(h) + 637.93$	0.80
	$DDH_{mp} = 280.51 \ln(h) + 777.60$	0.84

DDH_{max}: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo
 DDH_{min}: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo
 DDH_{mp}: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable
 h: altura de la lámina de agua
 Fuente: (Baró y otros, 2012: 97).

- Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM medio

Para poder obtener la curva de daños potenciales para viviendas de la clase correspondiente a interés social se aplicó la misma metodología que en el anterior caso, pero teniendo en cuenta que en este tipo de viviendas existen más número de bienes por vivienda que en los anteriores casos, y que los bienes existentes tienen un costo mayor (Tabla 8); ya que al haber un ingreso económico más elevado hay un mayor gasto para cubrir este tipo de necesidades (Baró y otros, 2012: 98).

También se consideró en el aspecto constructivo, que en numerosas ocasiones estas viviendas suelen ser de dos plantas, por lo que la distribución de los bienes difiere a la de una vivienda de una sola planta. Generalmente, en la planta baja se encuentran todos los electrodomésticos, enseres de cocina, la sala y el comedor, y en la planta alta se ubican las recámaras y los armarios (closets). Para las viviendas con dos plantas, las alturas de lámina de agua consideradas fueron de 0.10 m, 0.20 m, 0.30 m., 0.40 m., 0.50 m., 0.70 m., 1.00 m., 2.00 m., 2.50 m., 2.60 m., 2.70 m., 2.80 m., 3.00 m., 3.20 m. y 3.50 m. (Baró y otros, 2012: 98).



En la tabla 8 se presenta la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de estos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua para una vivienda de una sola planta, y en la tabla 9 el valor de estos daños en pesos y en número de salarios mínimos. En la tabla 10 se especifica la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de éstos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua para una vivienda de dos plantas, y en la tabla 11 el valor de los daños en pesos y en número de salarios mínimos (Baró y otros, 2012: 98).

Tabla 8. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta (número de unidades entre paréntesis)

IM MEDIO 1 PLANTA	PRECIO UNITARIO	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)								
		0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50	
Bienes en la vivienda										
Radio o radiograbadora	6700			90	100	100	100	100	100	100
TV	12500			90	100	100	100	100	100	100
Videocasetera	950			90	100	100	100	100	100	100
Licuada	1100			90	100	100	100	100	100	100
Refrigerador	6000		70	80	90	100	100	100	100	100
Lavadora	7000		70	80	90	100	100	100	100	100
Teléfono	300						100	100	100	100
Boiler	2500					90	100	100	100	100
Auto	50000		10	20	50	60	70	100	100	100
Computadora	9000		50	60	70	90	100	100	100	100
Estufa (1)	3000				90	100	100	100	100	100
Cocina (1)	8000		30	40	50	80	100	100	100	100
Comedor (1)	6500	20	30	50	80	100	100	100	100	100
Sala (1)	6500	20	30	50	80	90	100	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	8000			90	100	100	100	100	100	100
Librero (2)	2000	20	30	50	80	90	100	100	100	100
Ropa (1)	12000			50	100	100	100	100	100	100

Fuente: Baró y otros, 2012: 99.

Tabla 9. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta (en pesos 2009)

IM MEDIO 1 PLANTA	CLAVE UG	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)								
		0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50	
110010001	6600	21331	65660	90146	98284	102741	107554	107554	107554	
110110001	6600	22337	67393	91517	100073	104392	108579	108579	108579	
110190001	6600	21699	66180	91324	100313	105045	110507	110507	110507	
110240001	6600	24551	69476	95544	105351	110373	116396	116396	116396	
110270001	6600	25798	70832	97788	107827	113178	119972	119972	119972	
110280001	6600	22294	67069	91265	100059	104458	108765	108765	108765	
140180001	6600	23687	68379	94019	103340	108224	113925	113925	113925	
150420001	6600	21928	65935	91475	100899	105910	111820	111820	111820	
150510020	6600	18811	62884	85767	93740	97746	101186	101186	101186	
150510001	6600	23165	67352	92678	102196	107087	112567	112567	112567	
150510020	6600	18811	62884	85767	93740	97746	101186	101186	101186	
150540043	6600	19249	63483	86396	94175	98143	101538	101538	101538	



151060084	6600	19621	63468	87175	95417	99749	104002	104002
151060072	6600	21782	65918	91101	100348	105220	110741	110741
150620001	6600	19138	63080	86199	94333	98456	102119	102119
150480001	6600	21131	64720	89367	98426	103125	108220	108220
150620014	6600	19475	63126	86804	94986	99279	103544	103544
160200001	6600	16145	58598	80281	87031	90663	93355	93355
140660001	6600	23288	68148	93445	102614	107356	112721	112721
140660011	6600	24345	69010	94943	104343	109288	115222	115222
140300002	6600	26514	70343	98015	108620	114353	121965	121965
140160001	6600	22619	67137	92222	101170	105835	111105	111105
140630001	6600	25113	70022	96407	106055	111190	117475	117475
110230001	6600	21185	65370	89499	97547	101918	106377	106377

MAX (\$)	6600	26514	70832	98015	108620	114353	121965	121965
MIN (\$)	6600	16145	58598	80281	87031	90663	93355	93355
MP (\$)	6600	24995	69041	95418	105459	110883	117775	117775

MAX (No. S.M.)	124	498	1332	1843	2042	2150	2293	2293
MIN (No. S.M.)	124	304	1102	1509	1636	1705	1755	1755
MP (No. S.M.)	124	470	1298	1794	1983	2085	2214	2214

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009).

Fuente: Baró y otros, 2012: 100.

Tabla 10. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas (número de unidades entre paréntesis)

IM MEDIO 2 PLANTAS	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)															
		Precio unitario	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.20	3.50
Bienes en la vivienda	Precio unitario															
Radio o radiograbadora	6700			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TV	12500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Videocasetera	950			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Licuada	1100			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Refrigerador	6000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lavadora	7000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Teléfono	300						100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Boiler	2500					90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Auto	50000		10	20	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Computadora	9000											50	60	70	90	100
Estufa (1)	3000				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cocina (1)	8000		30	40	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Comedor (1)	6500		20	30	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sala(1)	6500		20	30	50	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	8000												90	100	100	100
Librero (2)	2000									20	30	50	80	90	100	100
Ropa (1)	12000											50	100	100	100	100

Fuente: Baró y otros, 2012: 101.



Tabla 11 Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas (en pesos 2009)

Clave UG	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)													
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	1.00	2.00	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.20	3.50
110010001	2600	20302	32577	50627	58273	62284	67097	67097	67897	68526	96971	106617	107108	107554
110110001	2600	21212	34613	51862	59888	63742	67929	67929	68729	69454	97919	107584	108114	108579
110190001	2600	20700	32699	51845	60355	64646	70109	70109	70909	71508	99948	109588	110068	110507
110240001	2600	23418	35461	55878	65151	69707	75729	75729	76529	77262	105729	115396	115929	116396
110270001	2600	24347	35921	57677	67055	71875	78670	78670	79470	80521	109051	118782	119442	119972
110280001	2600	21188	34231	51637	59910	63847	68154	68154	68954	69659	98120	107781	108303	108765
140180001	2600	22538	34560	54330	63112	67526	73227	73227	74027	74776	103246	112916	113455	113925
150420001	2600	20640	31808	51591	60420	64933	70843	70843	71643	72532	101029	110727	111323	111820
150510020	2600	17846	30793	46336	53843	57416	60856	60856	61656	62221	90654	100287	100753	101186
150510001	2600	21778	33395	52657	61541	65915	71394	71394	72194	73181	101698	111415	112050	112567
150510020	2600	17846	30793	46336	53843	57416	60856	60856	61656	62221	90654	100287	100753	101186
150540043	2600	18299	31440	46986	54305	57843	61238	61238	62038	62588	91018	100648	101108	101538
151060084	2600	18595	30761	47658	55409	59296	63549	63549	64349	64976	93421	103066	103557	104002
151060072	2600	20432	31978	51132	59759	64120	69641	69641	70441	71391	99901	109611	110231	110741
150620001	2600	18053	30695	46600	54220	57886	61550	61550	62350	63035	91492	101149	101663	102119
150480001	2600	19887	31191	49546	58027	62238	67333	67333	68133	68977	97465	107154	107732	108220
150620014	2600	18447	30409	47286	54976	58824	63089	63089	63889	64517	92962	102608	103099	103544
160200001	2600	15280	27125	40990	47313	50533	53224	53224	54024	54490	82903	92516	92942	93355
140660001	2600	22234	34666	53889	62557	66848	72214	72214	73014	73668	102118	111769	112271	112721
140660011	2600	23176	35011	55225	64077	68548	74482	74482	75282	76052	104526	114200	114748	115222
140300002	2600	24758	34521	57477	67300	72441	80054	80054	80854	82210	110801	120592	121374	121965
140160001	2600	21637	33806	52767	61241	65471	70740	70740	71540	72122	100559	110195	110668	111105
140630001	2600	23782	35596	56465	65501	70130	76415	76415	77215	78145	106651	116357	116969	117475
110230001	2600	20129	32489	49940	57485	61404	65863	65863	66663	67320	95772	105423	105926	106377
MAX (\$)	2600	24758	35921	57677	67300	72441	80054	80054	80854	82210	110801	120592	121374	121965
MIN (\$)	2600	15280	27125	40990	47313	50533	53224	53224	54024	54490	82903	92516	92942	93355
MP (\$)	2600	23370	34633	55233	64373	69233	76125	76125	76925	78150	106715	116480	117210	117775
MAX (No. S.M.)	49	465	675	1084	1265	1362	1505	1505	1520	1546	2083	2267	2282	2293
MIN (No. S.M.)	49	287	510	771	890	950	1001	1001	1016	1024	1559	1739	1747	1755
MP (No. S.M.)	49	439	651	1038	1210	1302	1431	1431	1446	1469	2006	2189	2204	2214

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

Fuente: Baró y otros, 2012: 101.

Con base en los resultados presentados en estas tablas se graficó la curva de daños potenciales por inundación, estas curvas se presentan en las figuras 4 y 5. Para el caso de la vivienda de una sola planta, se ajustó un modelo de tipo logarítmico con un coeficiente de determinación de 0.87 para la



curva que representa el costo más probable, y para la vivienda de dos plantas también se ajustó un modelo logarítmico con un coeficiente de determinación de 0.87 para la curva de costo más probable (Tabla 12) (Baró y otros, 2012: 102).

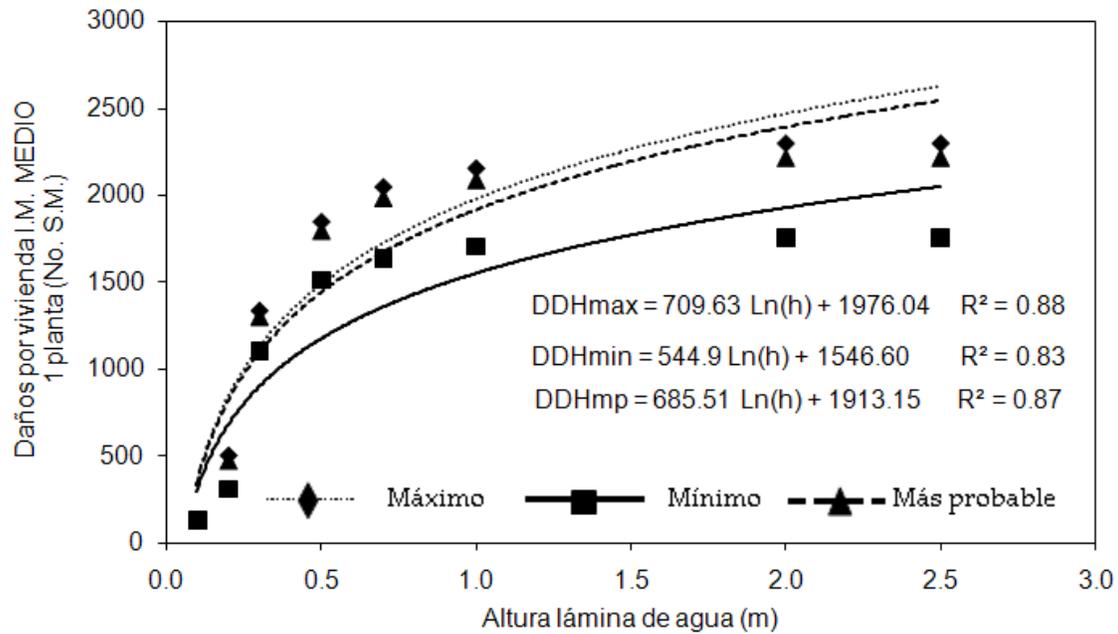


Figura 3. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de una planta
Fuente: Baró y otros, 2012: 102.

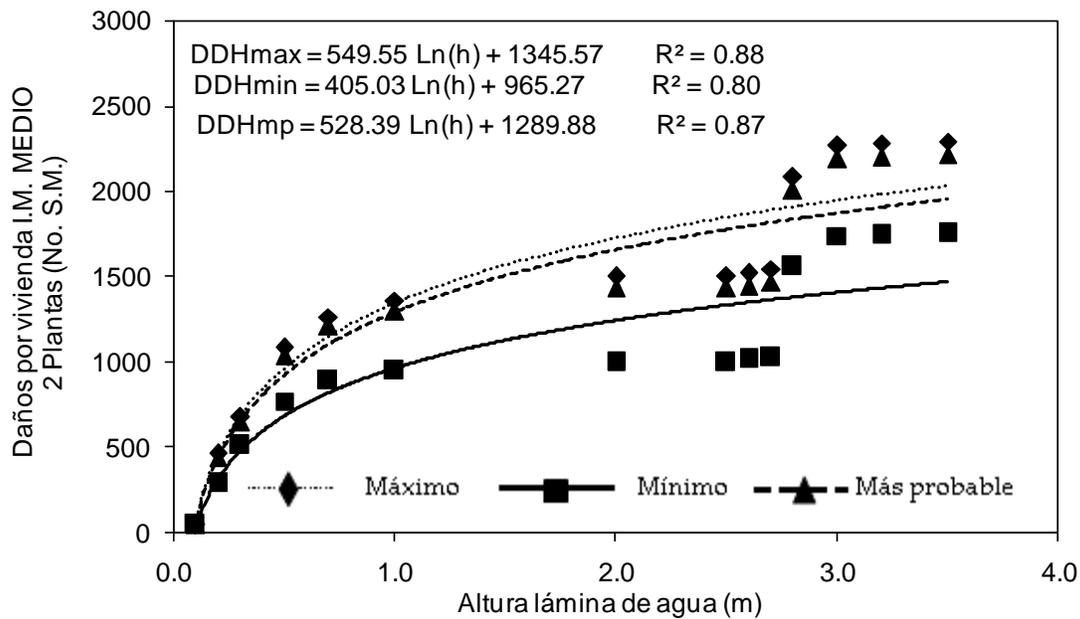


Figura 4. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM medio. Vivienda de dos plantas
Fuente: Baró y otros, 2012: 102.



Tabla 12. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM medio. Viviendas de una y dos plantas

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R ²
Medio	DDHmax = 709.63 Ln(h) + 1976.04	0.88
Vivienda una planta	DDHmin = 544.93 Ln(h) + 1546.60	0.83
	DDHmp = 685.51 Ln(h) + 1913.15	0.87
Medio	DDHmax = 549.55 Ln(h) + 1345.57	0.88
Vivienda dos plantas	DDHmin = 405.03 Ln(h) + 965.27	0.80
	DDHmp = 528.39 Ln(h) + 1289.88	0.87

R²: Coeficiente de determinación

DDHmax: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo

DDHmin: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo

DDHmp: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable

h: altura de la lámina de agua

Fuente: Baró y otros, 2012: 103.

- Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM bajo

La construcción de la curva de daños potenciales por inundación para viviendas ubicadas en una AGEB de IM bajo se realizó de manera similar a la de una AGEB de IM medio. Se consideró una vivienda de una sola planta, así como una vivienda de dos plantas. En este tipo de viviendas existen los mismos bienes que en el caso de las viviendas de una AGEB de IM medio pero su costo es mayor (Tabla 13); lo cual está relacionado con el mayor ingreso de las familias que suelen habitar esta clase de vivienda (Baró y otros, 2012: 103).

En las tablas 13 y 14 se presenta la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de éstos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua para una vivienda ubicada en una AGEB con un IM bajo de una planta, así como el valor de los daños en pesos y en número de salarios mínimos, respectivamente.

La figura 5 presenta la curva de daños potencial es para una vivienda de una sola planta, además de la curva de ajuste que se estableció, la cual corresponde a un tipo de modelo logarítmico con un coeficiente de determinación de 0.87, para el caso de la curva de costo más probable. Para el caso de una vivienda de dos plantas, la información referente a los bienes, precios, porcentaje de afectación, así como los daños valorados en pesos y su equivalente en salarios mínimos se presenta en las tablas 15 y 16, respectivamente; y la curva de daños potenciales, en la figura 9, donde se aprecia que el ajuste también es con una curva logarítmica con un coeficiente de determinación de 0.82 (Tabla 17). (Baró y otros, 2012: 103).

Tabla 13. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta (número de unidades entre paréntesis)

IM BAJO 1 PLANTA	Bienes en la vivienda	Precio unitario	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
			0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
	Radio o radiograbadora	7000			90	100	100	100	100	100
	TV	12500			90	100	100	100	100	100
	Videocasetera	1000			90	100	100	100	100	100
	Licuadaora	1200			90	100	100	100	100	100
	Refrigerador	6000		70	80	90	100	100	100	100
	Lavadora	9000		70	80	90	100	100	100	100
	Teléfono	300						100	100	100
	Boiler	3250					90	100	100	100
	Auto	60000		10	20	50	60	70	100	100



Computadora	10000		50	60	70	90	100	100	100
Estufa (1)	3300				90	100	100	100	100
Cocina (1)	12000		30	40	50	80	100	100	100
Comedor (1)	7000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala (1)	10000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	12000			90	100	100	100	100	100
Librero (2)	4000	20	30	50	80	90	100	100	100
Ropa (1)	12500			50	100	100	100	100	100

Fuente: Baró y otros, 2012: 104.

Tabla 14. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta (en pesos 2009)

IM BAJO 1 PLANTA	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)								
	Clave UG	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
150420001	5800	27781	84408	115778	128235	135252	142344	142344	142344
140630001	5800	38699	89112	121471	134165	141322	148864	148864	148864
110270001	5800	39546	90085	123131	136309	143724	151877	151877	151877
110170001	5800	37323	87671	118572	130689	137358	143503	143503	143503
110020001	5800	36232	86538	116981	129026	135559	141368	141368	141368
110230001	5800	34142	83785	113468	124195	130441	135792	135792	135792
MAX (\$)	5800	39546	90085	123131	136309	143724	151877	151877	151877
MIN (\$)	5800	27781	83785	113468	124195	130441	135792	135792	135792
MP (\$)	5800	37823	89163	121716	134535	141779	149522	149522	149522
MAX (No. S.M.)	109	743	1694	2315	2563	2702	2855	2855	2855
MIN (No. S.M.)	109	522	1575	2133	2335	2452	2553	2553	2553
MP (No. S.M.)	109	711	1676	2288	2529	2666	2811	2811	2811

UG: Unidad geográfica

No. S.M. Número de salarios mínimos (año 2009)

Fuente: Baró y otros, 2012: 104.

MP: Costo más probable

MIN: Costo mínimo

MAX: Costo máximo

Tabla 15. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas (número de unidades entre paréntesis)

IM MEDIO 2 PLANTAS	Bienes en la vivienda	Precio unitario	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)														
			0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.20	3.50	
	Radio o radiograbadora	7000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	TV	12500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Videocasetera	1000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Licuada	1200			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Refrigerador	6000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Lavadora	9000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Teléfono	300						100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Boiler	3250					90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Auto	60000		10	20	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Computadora	10000										50	60	70	90	100	100
	Estufa (1)	3300				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Cocina (1)	12000			30	40	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Comedor (1)	7000		20	30	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



Sala(1)	10000	20	30	50	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	12000											90	100	100	100
Librero (2)	4000									20	30	50	80	90	100
Ropa (1)	12500											50	100	100	100

Fuente: Baró y otros, 2012: 104.

Tabla 16. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas (en pesos 2009)

IM BAJO 2 PLANTAS	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)													
	Clave UG	0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	1.00	2.00	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.20
150420001	3400	25638	36379	60118	71558	77666	84758	84758	86358	87701	128059	140418	141435	142344
140630001	3400	36510	40726	65747	77404	83644	91186	91186	92786	94175	134543	146911	147947	148864
110270001	3400	37222	41131	67218	79307	85777	93931	93931	95531	97054	137449	149843	150933	151877
110170001	3400	35139	40223	62853	73937	79689	85834	85834	87434	88818	129185	141552	142586	143503
110020001	3400	34266	39575	61567	72666	78325	84134	84134	85734	86901	127224	139548	140494	141368
110230001	3400	32256	37225	58169	67982	73370	78721	78721	80321	81406	121713	134020	134935	135792
MAX (\$)	3400	37222	41131	67218	79307	85777	93931	93931	95531	97054	137449	149843	150933	151877
MIN (\$)	3400	25638	36379	58169	67982	73370	78721	78721	80321	81406	121713	134020	134935	135792
MP (\$)	3400	27335	37075	59494	69640	75187	80948	80948	82548	83698	124018	136338	137278	138147
MAX (No. S.M.)	64	700	773	1264	1491	1613	1766	1766	1796	1825	2584	2817	2838	2855
MIN (No. S.M.)	64	482	684	1094	1278	1379	1480	1480	1510	1530	2288	2520	2537	2553
MP (No. S.M.)	64	514	697	1119	1309	1414	1522	1522	1552	1574	2332	2563	2581	2597

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

Fuente: Baró y otros, 2012: 105

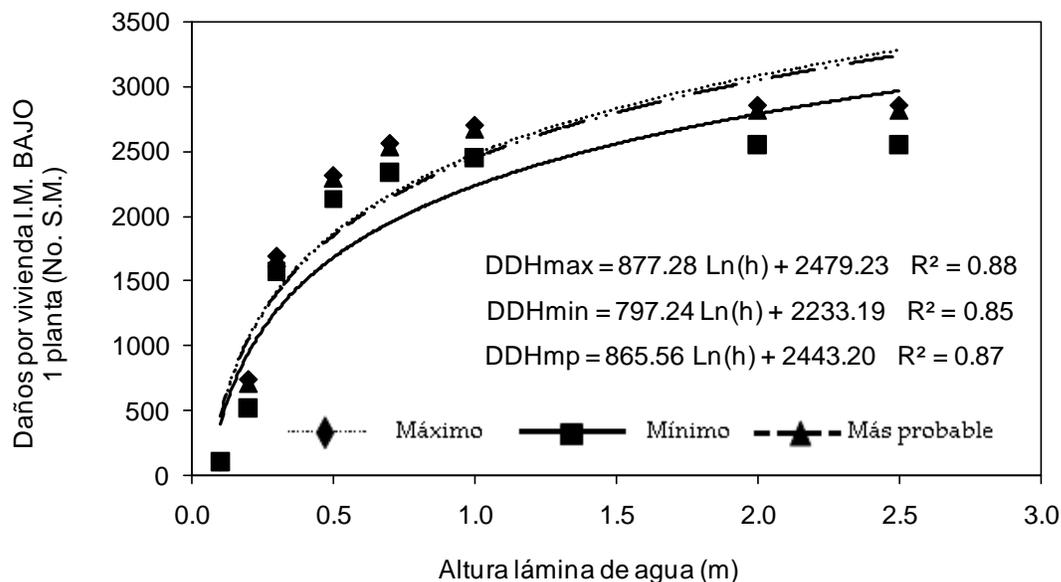


Figura 5. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales.



AGEB con un IM bajo. Vivienda de una planta
Fuente: Baró y otros, 2012: 106.

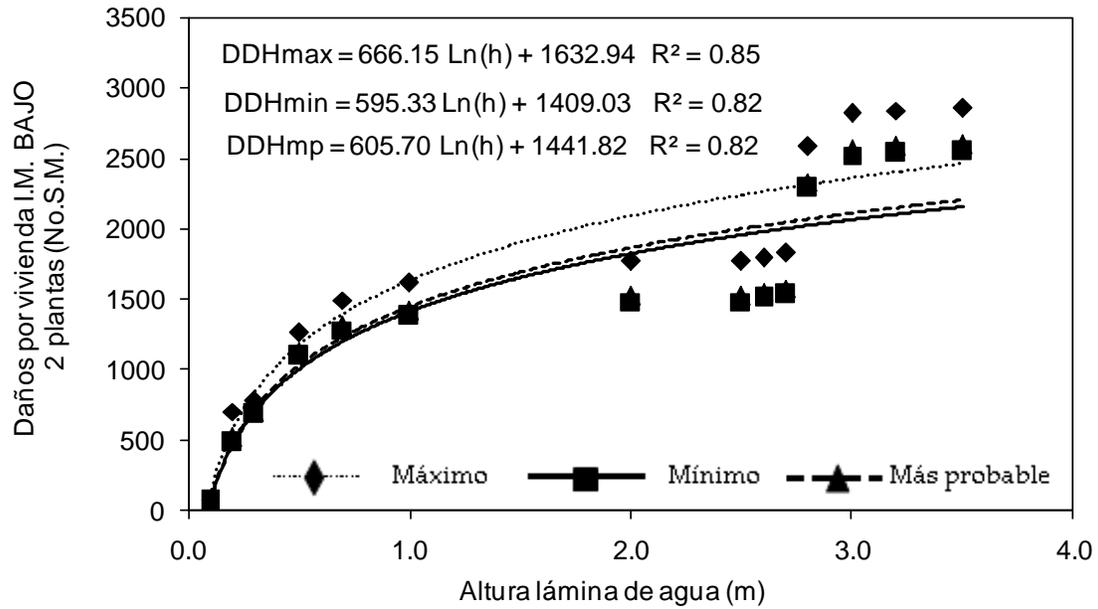


Figura 6. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales.
AGEB con un IM bajo. Vivienda de dos plantas
Fuente: Baró y otros, 2012: 106.



Tabla 17. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM bajo. Viviendas de una y dos plantas

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R ²
Bajo Vivienda una planta	DDHmax = 877.28 Ln(h) + 2479.23	0.88
	DDHmin = 797.24 Ln(h) + 2233.19	0.85
	DDHmp = 865.56 Ln(h) + 2443.20	0.87
Bajo Vivienda dos plantas	DDHmax = 666.15 Ln(h) + 1632.94	0.85
	DDHmin = 595.33 Ln(h) + 1409.03	0.82
	DDHmp = 605.70 Ln(h) + 1441.82	0.82

R²: Coeficiente de determinación

DDHmax: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo

DDHmin: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo

DDHmp: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable

h: altura de la lámina de agua

Fuente: Baró y otros, 2012: 106.

- Caso de vivienda ubicada en una AGEB con un IM muy bajo

También se definen viviendas de una planta y dos plantas, con las mismas características señaladas en los anteriores casos estudiados pero su costo es mayor (Tabla 18). En la tabla 18 se presenta la relación de bienes, el precio unitario de cada uno de éstos y el porcentaje de afectación para diferentes alturas de lámina de agua para una vivienda ubicada en una AGEB con un IM muy bajo de una planta, y en la tabla 19 el valor de los daños en pesos y en número de salarios mínimos, respectivamente. Para el caso de una vivienda de dos plantas, se presentan las tablas 20 y 21 (Baró y otros, 2012: 107).

En las figuras 6 y 7 se presentan las curvas de daños potenciales para el presente caso en estudio. Se aprecia que las curvas de ajuste corresponden nuevamente al de tipo logarítmico y presentan un coeficiente de determinación para la curva de daño más probable de 0.88 para el caso de una planta y de 0.97 para el de dos plantas (Tabla 22) (Baró y otros, 2012: 107).

Tabla 18. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta (número de unidades entre paréntesis)

IM MUY BAJO 1 PLANTA	Bienes en la vivienda	Precio unitario	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
			0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
	Radio o radiograbadora	10000			90	100	100	100	100	100
	TV	20000			90	100	100	100	100	100
	Videocasetera	1500			90	100	100	100	100	100
	Licuada	1500			90	100	100	100	100	100
	Refrigerador	8000		70	80	90	100	100	100	100
	Lavadora	15000		70	80	90	100	100	100	100
	Teléfono	5000						100	100	100
	Boiler	5000					90	100	100	100
	Auto	100000		10	20	50	60	70	100	100
	Computadora	12000		50	60	70	90	100	100	100
	Estufa (1)	5000				90	100	100	100	100
	Cocina (1)	16000		30	40	50	80	100	100	100



Comedor (1)	10000	20	30	50	80	100	100	100	100
Sala (1)	12000	20	30	50	80	90	100	100	100
Recámaras-colchón (3)	20000			90	100	100	100	100	100
Librero (2)	4000	20	30	50	80	90	100	100	100
Ropa (1)	20000			50	100	100	100	100	100

Fuente: Baró y otros, 2012: 108

Tabla 19. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta (en pesos 2009)

Cve_UG	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)							
	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50
161080001	6800	41531	125423	164296	181819	193569	204601	204601
110170359	6800	57946	137931	190419	214744	233137	257130	257130
150140001	6800	41049	123228	164287	183150	195908	209584	209584
MAX (\$)	6800	57946	137931	190419	214744	233137	257130	257130
MIN (\$)	6800	41049	123228	164287	181819	193569	204601	204601
MP (\$)	6800	43523	125381	168114	186641	199363	212294	212294
MAX (No. S.M.)	128	1089	2593	3580	4037	4383	4834	4834
MIN (No. S.M.)	128	772	2317	3089	3418	3639	3847	3847
MP (No. S.M.)	128	818	2357	3161	3509	3748	3991	3991

UG: Unidad geográfica No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

Fuente: (Baró y otros, 2012: 108).

Tabla 20. Porcentajes de afectación por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas (número de unidades entre paréntesis)

Bienes en la vivienda	Precio unitario	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)													
		0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	2.00	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.20	3.50
Radio o radiograbadora	10000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TV	20000			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Videocasetera	1500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Licudadora	1500			90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Refrigerador	8000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lavadora	15000		70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Teléfono	5000						100	100	100	100	100	100	100	100	100
Boiler	5000					90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Auto	100000		10	20	50	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100
Computadora	12000									50	60	70	90	100	
Estufa (1)	5000				90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Cocina (1)	16000		30	40	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	
Comedor (1)	10000	20	30	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Sala(1)	12000	20	30	50	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	
Recámaras-colchón (3)	20000										90	100	100	100	
Librero (2)	4000								20	30	50	80	90	100	
Ropa (1)	20000										50	100	100	100	



Fuente: Baró y otros, 2012: 109.

Tabla 21. Valor de los daños por inundación en viviendas ubicadas en una AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas (en pesos 2009)

Clave UG	ALTURA LÁMINA DE AGUA (m)													
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	1.00	2.00	2.50	2.60	2.70	2.80	3.00	3.20	3.50
161080001	4400	39289	57299	92999	109465	120286	131318	131318	132918	134360	192088	202616	203673	204601
110170359	4400	52799	57678	115053	137159	154042	178035	178035	179635	183983	242292	253402	255621	257130
150140001	4400	38462	52926	92505	110173	121933	135609	135609	137209	138997	196794	207391	208586	209584
MAX (\$)	4400	52799	57678	115053	137159	154042	178035	178035	179635	183983	242292	253402	255621	257130
MIN (\$)	4400	38462	52926	92505	109465	120286	131318	131318	132918	134360	192088	202616	203673	204601
MP (\$)	4400	50699	56982	111751	133103	149098	171194	171194	172794	176716	234940	245964	248013	249438
MAX (No. S.M.)	83	993	1084	2163	2579	2896	3347	3347	3377	3459	4555	4764	4806	4834
MIN (No. S.M.)	83	723	995	1739	2058	2261	2469	2469	2499	2526	3611	3809	3829	3847
MP (No. S.M.)	83	953	1071	2101	2502	2803	3219	3219	3249	3322	4417	4624	4663	4690

UG: Unidad geográfica

MAX: Costo máximo

MIN: Costo mínimo

MP: Costo más probable

No. S.M.: Número de salarios mínimos (año 2009)

Fuente: Baró y otros, 2012: 109

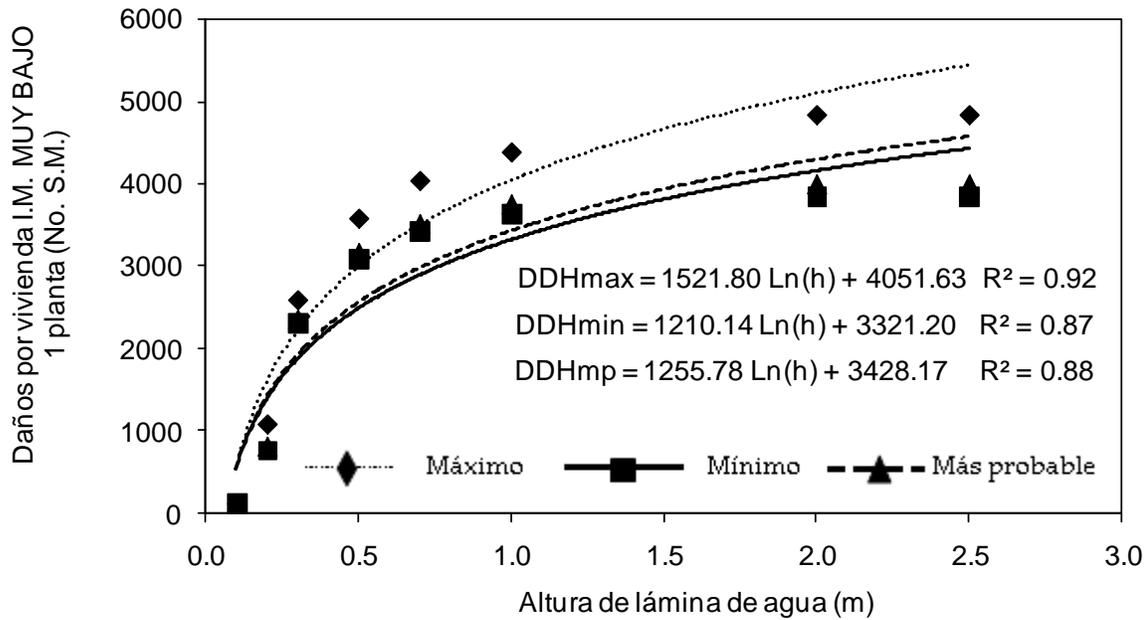


Figura 6. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales.

AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de una planta

Fuente: Baró y otros, 2012: 110.

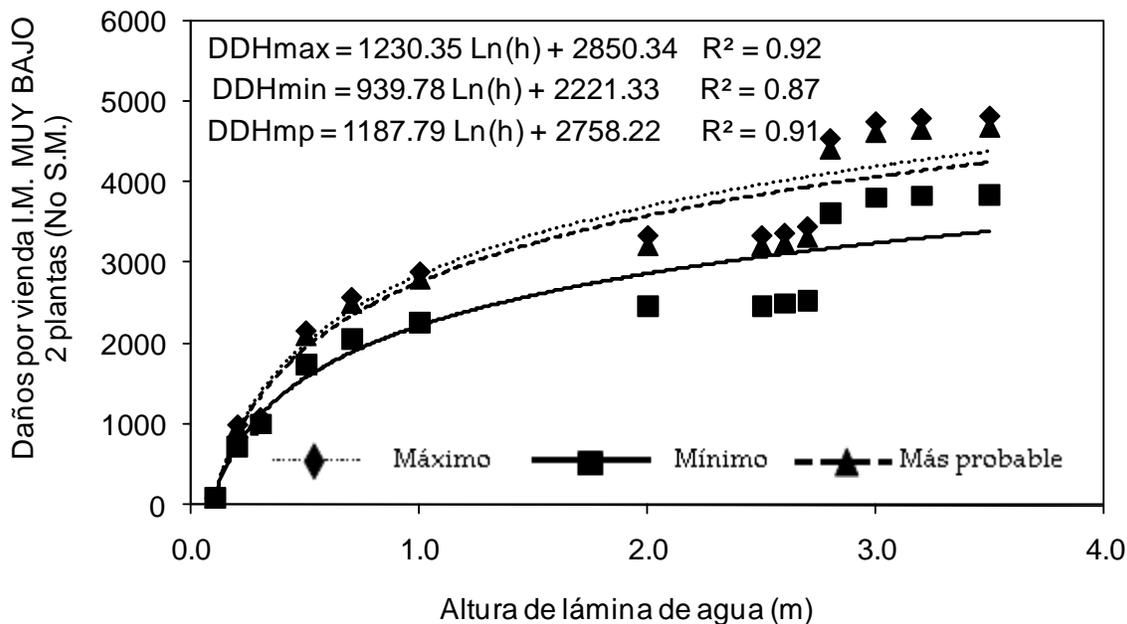


Figura 7. Curva de daños potenciales por inundación en zonas habitacionales. AGEB con un IM muy bajo. Vivienda de dos plantas
Fuente: Baró y otros, 2012: 110.

Tabla 22. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales localizadas en una AGEB con un IM muy bajo. Viviendas de una y dos plantas

ÍNDICE DE MARGINACIÓN	ECUACIÓN	R ²
Muy bajo Vivienda una planta	DDHmax = 1521.80Ln(h) + 4051.63	0.92
	DDHmin = 1210.14Ln(h) + 3321.20	0.87
	DDHmp = 1255.78Ln(h) + 3428.17	0.88
Muy bajo Vivienda dos plantas	DDHmax = 1230.35Ln(h) + 2850.34	0.92
	DDHmin = 939.78Ln(h) + 2221.33	0.87
	DDHmp = 1187.79Ln(h) + 2758.22	0.91

R²: Coeficiente de determinación
 DDHmax: Daños directos en zona habitacional. Costo máximo
 DDHmin: Daños directos en zona habitacional. Costo mínimo
 DDHmp: Daños directos en zona habitacional. Costo más probable
 h: altura de la lámina de agua
 Fuente: Baró y otros, 2012: 111.

Para considerar la duración de la inundación se considera un factor de corrección tal y como lo define Estrada (1996), de forma que si la inundación tiene una duración de más de 24 horas se podrán incrementar los daños tangibles directos, obtenidos a partir de la aplicación de las curvas, en un 6% (Baró y otros, 2012: 111).

- Construcción de curvas de daños potenciales por inundación en zonas agrícolas de cultivo de maíz y otros cultivos

Uno de los principales cultivos del área de estudio es el maíz, tanto el de grano como el forrajero. Se trata de un cultivo de fácil desarrollo y de producción anual, cuyo ciclo agrícola comprende desde mayo hasta noviembre. En el caso del maíz, su comportamiento en los terrenos inundados varía de

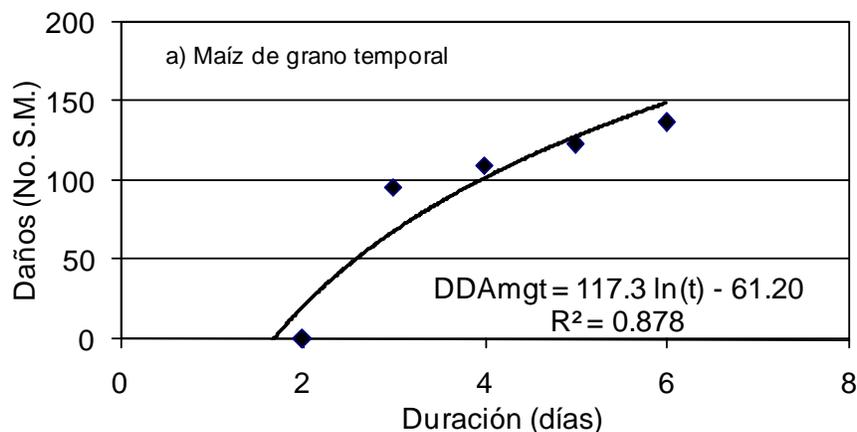


acuerdo con la fase de desarrollo de la planta, la cual se puede expresar como la altura de la planta; si la planta tiene una altura inferior a los 30 cm es más susceptible a los efectos de la humedad; y si la zona permanece inundada más de 3 días, los efectos negativos son considerables (pérdida total de la cosecha). Estos efectos negativos también están en función de los sedimentos que arrastre el río, ya que si son lodos industriales y/o urbanos, como suele suceder en ríos de cuencas urbanizadas ya que éstos se encuentran contaminados por aguas residuales, entonces se acelera el deterioro de la planta (Baró y otros, 2012: 111).

Cuando la planta de maíz tiene una altura superior a 30 cm, altura que se alcanza por lo general durante los meses de julio, agosto y septiembre (periodo de posibles inundaciones), la planta puede resistir más de 3 días bajo los efectos de la humedad y sólo estará afectada por la corriente de agua, ya que la fuerza de esta corriente trae consigo que la planta se caiga y se produzcan pérdidas considerables en la cosecha (Baró y otros, 2012: 111-112).

Teniendo en cuenta estas consideraciones que estimaron los daños en un cultivo de maíz con base en el valor de la producción y en su variedad de maíz de grano y maíz forrajero. También se consideró si el cultivo era de riego o de temporal, ya que este hecho afecta a la producción (Tonelada de grano por hectárea), y por lo tanto al valor de la cosecha. Con base en este estudio establecieron las curvas de daños potenciales para el caso de un cultivo de maíz de grano, tanto bajo riego como de temporal, las cuales se presentan en la figura 8. Las curvas de ajuste obtenidas son de tipo logarítmico, aunque la ecuación difiere. Los coeficientes de determinación tienen un mismo valor de 0.88 (Baró y otros, 2012: 112).

Las curvas de daños potenciales para un cultivo de maíz forrajero bajo riego y de temporal se presentan en la figura 9. Se aprecia que las curvas de ajuste son de tipo logarítmico y con un coeficiente de determinación del 0.88 (Baró y otros, 2012: 112).



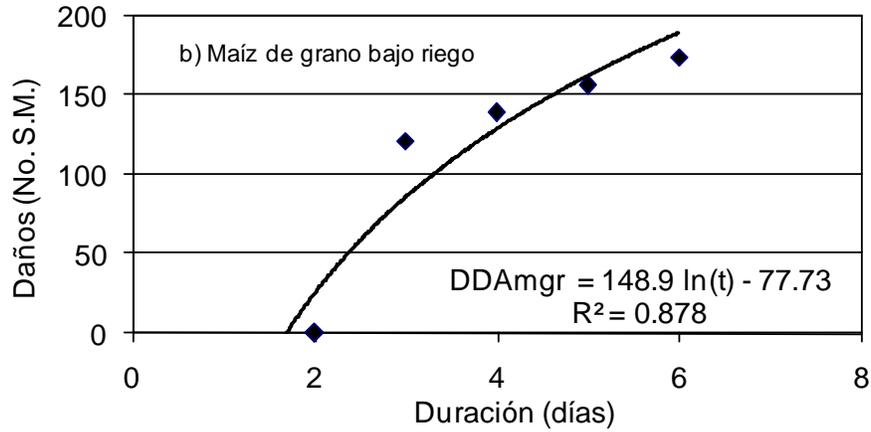


Figura 8. Curva de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz de grano temporal (a) y bajo riego (b) (altura de la planta mayor a 0.30 m) (Baró et al., 2007a)
Fuente: Baró y otros, 2012: 113.

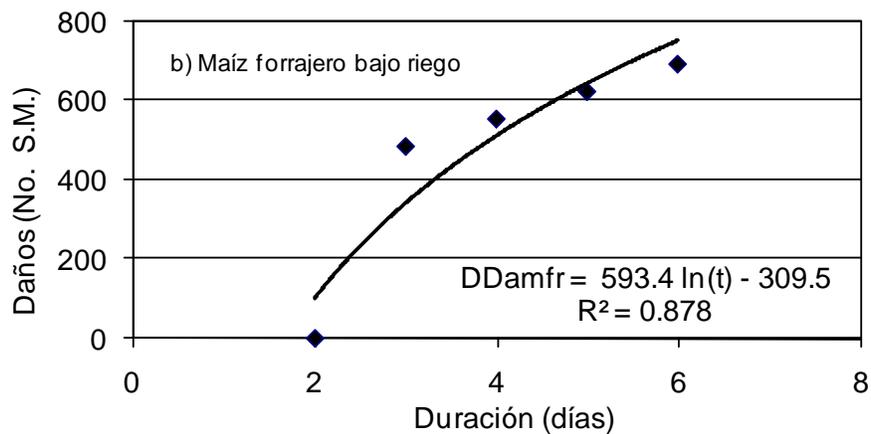
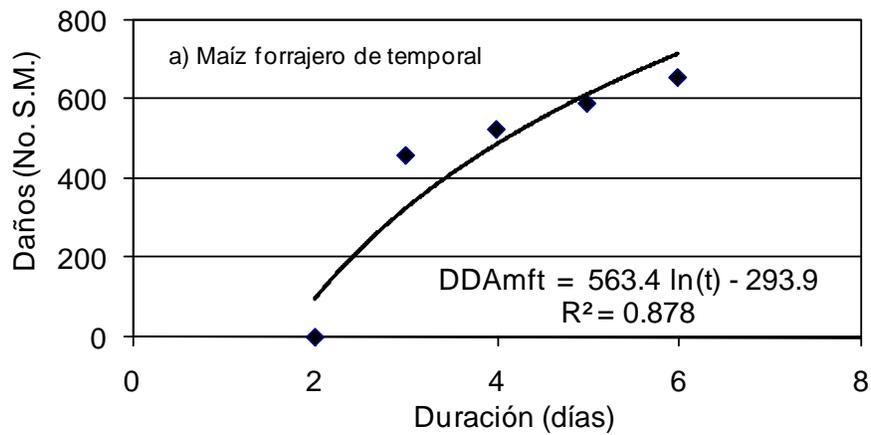


Figura 9. Curva de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz forrajero de temporal (a) y bajo riego (b) (altura de la planta mayor a 0.30 m) (Baró et al., 2007a)
Fuente: Baró y otros, 2012: 114.



En la tabla 23, a modo de resumen, se detallan las ecuaciones definidas, así como el valor del coeficiente de determinación, para la valoración de daños directos por inundaciones en zonas agrícolas.

Tabla 23. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas agrícolas (Baró et al., 2007a)

TIPO DE CULTIVO	ECUACIÓN	R ²
Maíz grano temporal	DDAmgt= 117.31 Ln(t) – 61.201	0.88
Maíz grano bajo riego	DDAmgr = 148.99 Ln(t) – 77.73	0.88
Maíz forrajero temporal	DDAmft = 563.43 Ln(t) – 293.94	0.88
Maíz forrajero bajo riego	DDAmfr = 593.4 Ln(t) – 309.58	0.88

DDA: daños directos agrícolas

T: duración de la inundación

Fuente: Baró y otros, 2012: 115.

Estas ecuaciones sólo serían aplicables cuando la planta tuviese una altura superior a los 30 cm.; de forma que si fuese menor a esta altura no se aplicarían estas ecuaciones y se supondría que se produce una afectación del 100% en los cultivos (pérdida total). En el caso en que la planta tuviese una altura de más de 30 cm, sólo habría que sustituir en la ecuación el valor de x por la duración de la crecida (en días), de forma que realizando esta sustitución se tendría el valor de Y que representaría los daños tangibles directos potenciales en zonas agrícolas en número de salarios mínimos (Baró y otros, 2012: 115).

Dentro de otros cultivos, como se ha podido observar el sector agrícola es uno de los que más sufre los impactos de las inundaciones. Para el caso de la cuenca Lerma-Chapala, se tiene el ejemplo de las inundaciones acaecidas en el año 2003, durante las cuales hubo una gran afectación en cultivos de sorgo y maíz. Del análisis de los anuarios estadístico de los cinco estados de la cuenca, se desprende que los cultivos con mayor superficie sembrada son: entre los cíclicos están el maíz de grano, sorgo grano, trigo grano, cebada de grano, frijol, brócoli y avena forrajera; y entre los cultivos perennes, destacan la alfalfa verde, el espárrago y la fresa. Cuando estos cultivos están apenas en crecimiento, sin fruto o sin un desarrollo genético fuerte, de producirse su inmersión en agua durante dos o tres días, las pérdidas pueden considerarse totales (Baró y otros, 2012: 115).

En las áreas inundables de la zona de estudio se identifica el maíz de grano y el sorgo de grano, como los cultivos que están expuestos a los efectos de las inundaciones por la extensión de sus sembradíos. Para el caso del sorgo grano resultaría interesante la realización en el futuro de trabajos experimentales, con el objetivo de conocer el grado de vulnerabilidad a la inmersión en agua por periodos prolongados para diferentes épocas del año agrícola y diferentes estadios de crecimiento de las plantas, por cuanto los efectos pueden ser variados a lo largo del ciclo productivo como indica la CEPAL (Baró y otros, 2012: 116).

- Daños tangibles indirectos en zonas habitacionales y agrícolas

Los daños tangibles indirectos son los daños causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas en las zonas inundadas; e incluyen, por ejemplo, la interrupción del transporte y de otros servicios públicos (luz, agua, gas, alcantarillado) pérdidas en salarios y beneficios en los negocios, así como otras consecuencias de las inundaciones como son los costos por el desagüe de las aguas y las operaciones de limpieza (Baró y otros, 2012: 116).



Los daños tangibles indirectos se calculan como un porcentaje fijo de los daños tangibles directos obtenidos a partir de las curvas de daños potenciales definidos. Los porcentajes que han sido propuestos por Kates son los más utilizados, y los que se emplean en este estudio. El valor de este porcentaje para el caso de zonas habitacionales es del 15% y para las zonas agrícolas del 10%. Es decir, a partir del valor de los daños potenciales directos en una zona habitacional determinada habrá que calcular el 15% de ese valor para poder establecer la cuantía de los daños indirectos (Baró y otros, 2012: 116).

- Daños totales en zonas habitacionales y agrícolas

Para establecer el valor total de los daños potenciales en un zona habitacional habrá que efectuar la suma de los daños directos, calculados a partir de la curvas de daños para los diferentes tipos de AGEB's, más los daños indirectos calculados con base en cuantificar el 15% de los daños directos. En el caso de los zonas agrícolas, se calculará el valor de los daños potenciales directos a partir de las curvas de daños para los diferentes cultivos, sumando a este valor, el 10% que correspondería a los daños indirectos. Finalmente, para establecer los daños potenciales totales en la cuenca, habrá que sumar (Baró y otros, 2012: 116-117):

- los daños tangibles (directos e indirectos) de cada una de las zonas habitacionales inundables de la cuenca, y
- los daños tangibles (directos e indirectos) potenciales de cada una de las zonas agrícolas inundables, localizadas dentro de los límites de la cuenca.

Este proceso de cálculo para cada inundación en concreto, es posible modelarlo con la siguiente fórmula (Baró y otros, 2012: 117):

$$DT = \left[\left(\sum_{x=1}^x \sum_{j=1}^j (DDH_j * NV_j) \right) * f_h \right] + \left[\left(\sum_{i=1}^i (DDA_i * S_i) \right) * f_a \right] \quad 1$$

Donde;

- DT : Daños tangibles totales por inundación (No. de salarios mínimos)
- x : 1,2,3,...x AGEB definidas en el área inundada
- j : 1,2,3,...j tipos de AGEB's según su IM (muy bajo, bajo, medio alto, muy alto)
- DDH_j : Daños directos en una vivienda localizada en una AGEB de tipo j, calculados con la curva de daños potenciales para una altura de lámina de agua dada en la AGEB (No. de salarios mínimos). El factor duración de la inundación se incluirá si ésta tiene una duración de más de 24 horas (6%)
- NV_j : Número de viviendas ubicadas en la AGEB del tipo j.
- f_h : Porcentaje aplicado para establecer los daños indirectos en zonas habitacionales (15%)
- i : 1,2,3,...i tipos de cultivos (maíz grano bajo riego, maíz forrajero bajo riego, maíz grano temporal, maíz forrajero temporal)
- DDA_i : Daños directos por inundación para el tipo de cultivo j calculados con la curva de daños potenciales para una altura de lámina de agua dada y para una duración de la inundación dada (No. de salarios mínimos)
- S_i : Área que ocupa el cultivo i (ha)
- f_a : Porcentaje aplicado para establecer los daños indirectos en zonas agrícolas (10%)

1.5 Medidas de control preventivas

1.5.1 Estudios de vulnerabilidad.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) están realizando estudios de riesgos de inundaciones en las zonas urbanas de la República Mexicana. El objetivo de este estudio consiste en diseñar una metodología para la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por efecto de las inundaciones en zonas urbanas de la República Mexicana. El proyecto se deriva del Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua (FSIDSA) Conagua-Conacyt, y se desarrolla para contribuir al cumplimiento de las acciones generadas del Programa Nacional Hídrico, en cuanto a incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones (ver fotografía 2) (IMTA, 2014).

Fotografía 2. Casa habitación construida sobre el arroyo El Arenal, dañada por los efectos del escurrimiento de lluvia, ubicada en Av. 5ta Sur casi esquina con Calle 8va Sur, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.



Fuente: IMTA, 2014.

El trabajo forma parte de la actualización al *Atlas de riesgo por inundaciones en México* y se emplean modelos bidimensionales (2D), con los que es posible calcular el escurrimiento en calles y se facilita la elaboración de mapas de peligro para diferentes periodos de retorno, considerando la mancha urbana de la ciudad. Lo anterior permite calcular los riesgos asociados y costos por daños al patrimonio de personas e infraestructura local (ver fotografía 3) (IMTA, 2014).

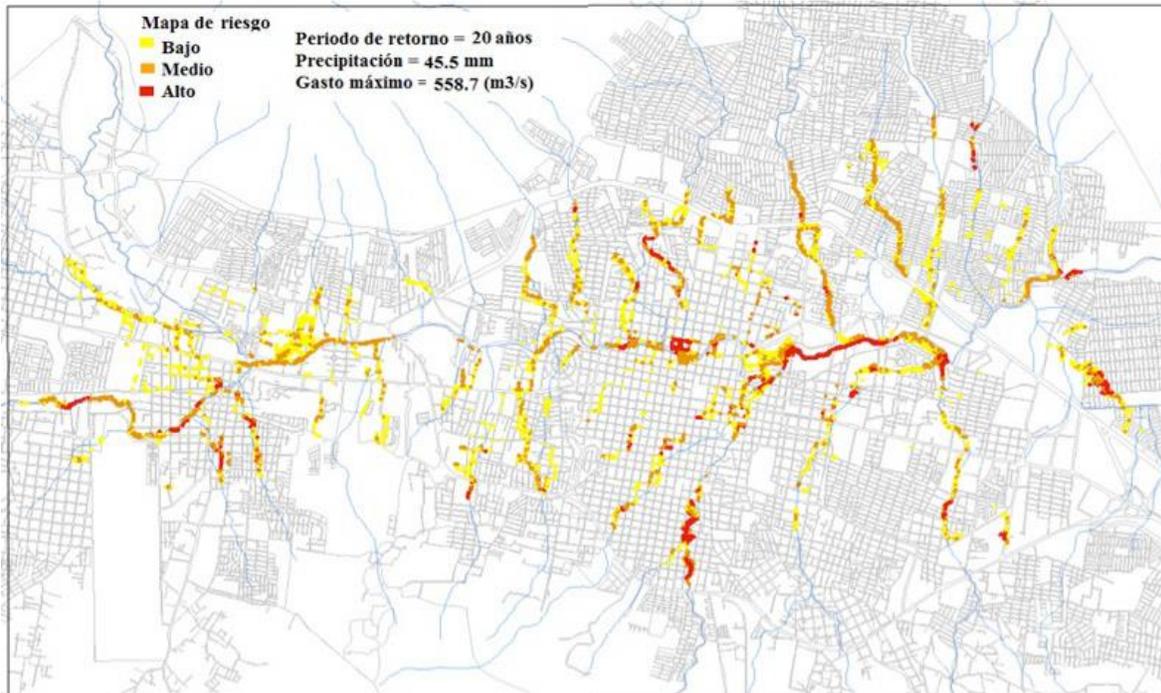
Fotografía 3. Invasión del cauce del arroyo El Arenal, Tuxtla Gutiérrez Chapas.



Fuente: IMTA, 2014.

Entre los resultados más importantes destaca la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación, considerando las componentes de hidrología superficial y subterránea. Estos mapas contemplan el escurrimiento en calles y la planimetría de la ciudad, con lo que es posible delimitar con mayor detalle las zonas de peligro por inundaciones y proponer soluciones estructurales y no estructurales de forma integral donde, incluso, se puede considerar toda la mancha urbana. La metodología toma en cuenta el análisis fluvial, que comprende ríos y arroyos, así como el análisis pluvial, es decir, colectores pluviales y escurrimiento en calles, de manera conjunta (ver mapa 4) (IMTA, 2014).

Mapa 4. Riesgo por inundación para un periodo de retorno de 20 años.



(IMTA, 2014).

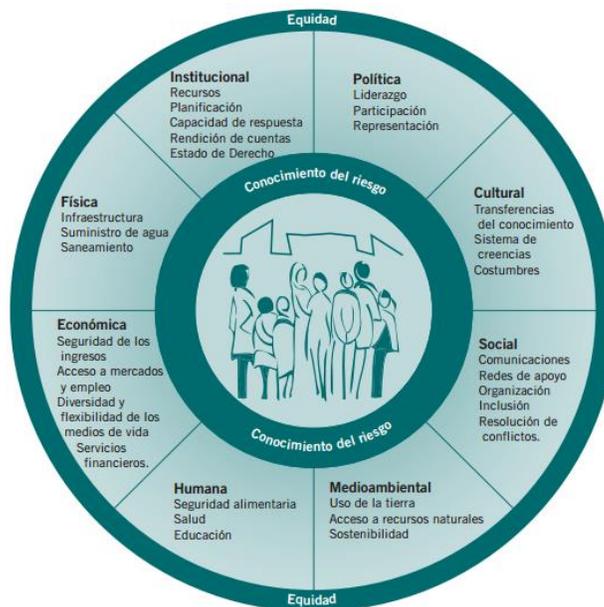
1.5.2 Resiliencia.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura - FAO define la resiliencia como: “la capacidad de las personas, las comunidades o sistemas que hacen frente a catástrofes o crisis a preservarse de los daños y recuperarse rápidamente”. En este sentido las acciones dirigidas a mejorar las condiciones de vida de las poblaciones tanto en la infraestructura de las viviendas que habita, medios de producción sustentables e instituciones comprometidas con políticas de reducción del riesgo, son indispensables para disminuir la vulnerabilidad y por tanto, aumentar la resiliencia frente a los desastres. Una población con buenas prácticas en el medio que habita será una población con capacidad para recuperarse frente a un evento catastrófico (Turnbull y otros, 2013).

Actualmente la UNISDR tiene como propósito que “la resiliencia y la reducción del riesgo de desastres deben formar parte del diseño y estrategias urbanas para lograr un desarrollo sostenible”, de tal manera que, se considere la resiliencia como un aspecto fundamental dentro de la estrategia del desarrollo sostenible. La firma en 2005 del Marco de Acción de Hyogo (HFA), durante la Conferencia Mundial sobre la Reducción de Desastres, significó un avance para invertir en la construcción de ciudades más resilientes, donde 168 gobiernos y diferentes actores se comprometieron a adoptar planes con 10 años de duración, cuyo objetivo principal es garantizar las inversión en medidas de reducción del riesgo. Así mismo, la iniciativa desarrollada por las Naciones Unidas en esta temática ha implicado un mayor desarrollado de normativas y leyes para el desarrollo de sistemas de alertas tempranas y actividades de preparación para responder antes desastres (Turnbull y otros, 2013).

La resiliencia implica mejorar la calidad de vida de la población, a través del fortalecimiento de diferentes factores. Según Turnbull y otros autores existen 8 factores que inciden en la resiliencia articulados al conocimiento del riesgo y equidad, donde el eje central es la población (ver figura 10) (Turnbull y otros, 2013).

Figura 10. Factores que influyen en la resiliencia.



Fuente: Turnbull y otros, 2013.

1.5.3 Percepción del riesgo (social)

La Percepción Social del riesgo: “el riesgo percibido por los individuos o la sociedad se ha manifestado de forma distinta a lo largo de la historia. La primera etapa es religiosa: los males, naturales o artificiales, suceden porque así lo desean los dioses que se adoren. En 1875, el filósofo francés Jean-Jacques Rousseau, meditando sobre las consecuencias del terremoto de Lisboa, que produjo más de cien mil víctimas, concluyó que los responsables eran los gestores de la ciudad que habían permitido la construcción de viviendas de hasta seis pisos de altura en una zona conocida por su sismicidad. Se inauguró así la etapa filosófica. El auge de la aviación y de la electrónica durante la segunda gran guerra llevó a la creación, sobre todo en Inglaterra, hacia 1940, de organismos dedicados al estudio de los accidentes de aviación y al análisis de la fiabilidad de los sistemas de control. Se inauguró así la etapa tecnológica, sin participación social. Como se ha dicho, en 1975 se introduce la metodología probabilista para la cuantificación del riesgo, iniciando la etapa científica, que no convence a la sociedad, a pesar de los esfuerzos realizados por los gestores de la industria y de la administración. Hacia 1995, los gestores observan que el riesgo percibido por la sociedad prevalece sobre el riesgo calculado por los expertos y se inicia una apertura hacia la información y participación del público en los procesos de decisión” (UCPC, 2010).

“Se habla de la etapa ética, porque tal proceso depende del mantenimiento de un dialogo racional entre todas las partes, basado en el comportamiento ético. Se reconoce que la percepción del riesgo de cualquier actividad ha de ser una función creciente del beneficio



obtenido, aunque modificado por muchos otros parámetros propios de la persona o del ambiente en que vive” (UCPC, 2010).

1.5.4 Adaptación.

- Propuestas de adaptación en esquemas estructurales

El elemento agua es quizá el más importante en la planeación de actividades agrícolas y ambientales. En nuestra región, el desarrollo a futuro de las comunidades dependerá de la disponibilidad de este elemento. Los pronósticos de lluvias serán de gran valor en el manejo de este recurso en presas, ríos, etc. Sin embargo, para una verdadera adaptación se tendrá que pensar en medidas estructurales en cuanto al manejo del agua. Considerando que el mayor porcentaje de agua disponible se utiliza en actividades agrícolas será necesario replantear los mecanismos de riego utilizados hasta ahora. Por ejemplo, en la Comisión Nacional del Agua se tiene contemplado disminuir las zonas de riego por inundación cambiando a formas de riego mucho más eficiente como pueden ser las metodologías de riego por goteo (Magaña y Gay, 2013, 22).

Adicionalmente, las formas de re-uso del agua urbana o incluso de desalinización de agua de mar comienzan a verse como soluciones reales al problema de escasez de dicho elemento. La desalinización es una realidad en muchos países donde el agua es escasa: el Caribe, Arabia Saudita, California, etc. Los costos de esta estrategia de adaptación se han reducido notablemente en los últimos años por lo que la adaptación en esta dirección comienza a ser considerada seriamente.

La componente continental del clima adquiere cada vez mayor importancia a la hora de analizar cambios en el clima. Los cambios en el uso de suelo, tales como la deforestación o el crecimiento de los desiertos, han mostrado alterar el clima a nivel regional en ciertas partes del mundo. El grado de humedad en el suelo es clave para realizar pronósticos más acertados de las anomalías en las lluvias. Los cambios en el clima que experimentemos relacionados al uso de suelo pueden ser incluso más notables que aquellos producidos por el calentamiento global. Aunque las series de tiempo de precipitación no permiten dar una respuesta contundente al planteamiento de cómo cambia la lluvia bajo deforestación, los modelos sugieren que el cambio de bosques a zonas de pastizales para ganadería o a tierras de cultivo resulta en disminución en las precipitaciones. Es por ello que en el caso de México la propuesta de reforestar corresponde a una situación en la que todos ganan pues (Magaña y Gay, 2013, 22-23):

- Se captura bióxido de carbono
- Se propicia mayor humedad en el suelo y posiblemente más lluvia
- Se recuperan los bosques del país

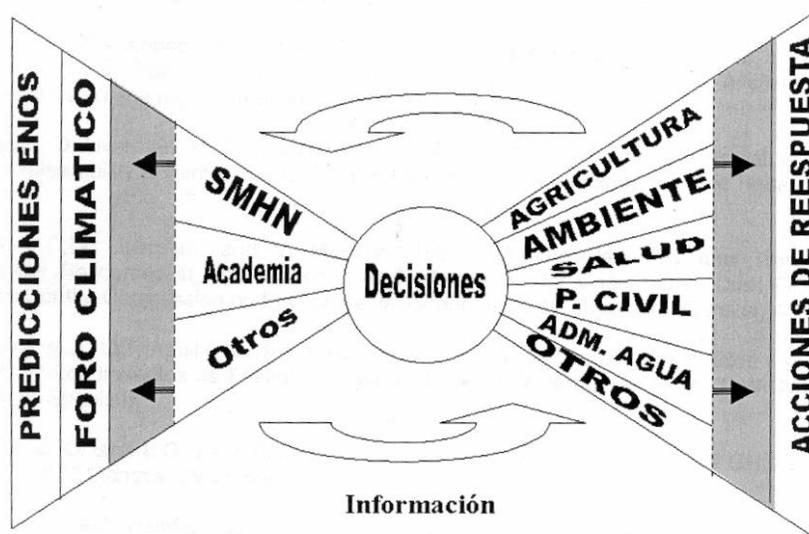
En este sentido, resulta imprescindible considerar como una medida de adaptación estructural la implementación de esquemas de reordenamiento territorial, con éstos se puede tener un mejor control sobre el uso del suelo, así como disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones expuestas a fenómenos hidrometeorológicos que se deriven del cambio climático (Magaña y Gay, 2013, 23-24):

- Medidas no estructurales



Un segundo aspecto de vital relevancia para disminuir la vulnerabilidad y que constituye al mismo tiempo una medida de adaptación ante los impactos del cambio climático es la toma de medidas no estructurales. Estas medidas se constituyen en los sistemas que permiten la correcta toma de decisiones y acciones obligadamente preventivas. Desde la segunda mitad del año dos mil, la Organización Meteorológica Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo, realizan un estudio sobre la predicción y atenuación de los impactos negativos de El Niño / Oscilación del Sur en México y el Caribe. El objetivo final de este estudio es el implementar sistemas de alerta temprana ante El Niño, que permitan reducir las pérdidas socioeconómicas asociadas a éste. El sistema de alerta temprana ante El Niño, es un sistema complejo, de múltiples variables. Además, involucra a diversos actores para que intercambien información y productos y permitan la retroalimentación del sistema. Es en este sentido, que las instituciones de México deberán participar activamente del sistema de alerta temprana, con el fin de hacer realidad la disminución de la vulnerabilidad. La información climática y de pronóstico con la que se cuenta actualmente resulta ya de gran utilidad. El flujo dentro del sistema de alerta temprana ante El Niño se muestra en la figura 11 (Magaña y Gay, 2013, 24):

Figura 11. Sistema de alerta temprana ante El Niño



Fuente: Magaña y Gay, 2013, 24.

El uso de los sistemas de alerta temprana, no se limita sin embargo a reducir la vulnerabilidad ante El Niño. Otros Sistemas de Alerta Temprana han empezado a implementarse ante otros eventos hidrometeorológicos extremos, como por ejemplo los huracanes y las inundaciones. Hoy en día, el Centro Nacional para la Prevención de Desastres ha puesto en marcha un SIAT. Este SIAT deberá también enriquecerse con el tiempo y beneficiar a los más diversos sectores (Magaña y Gay, 2013, 25).

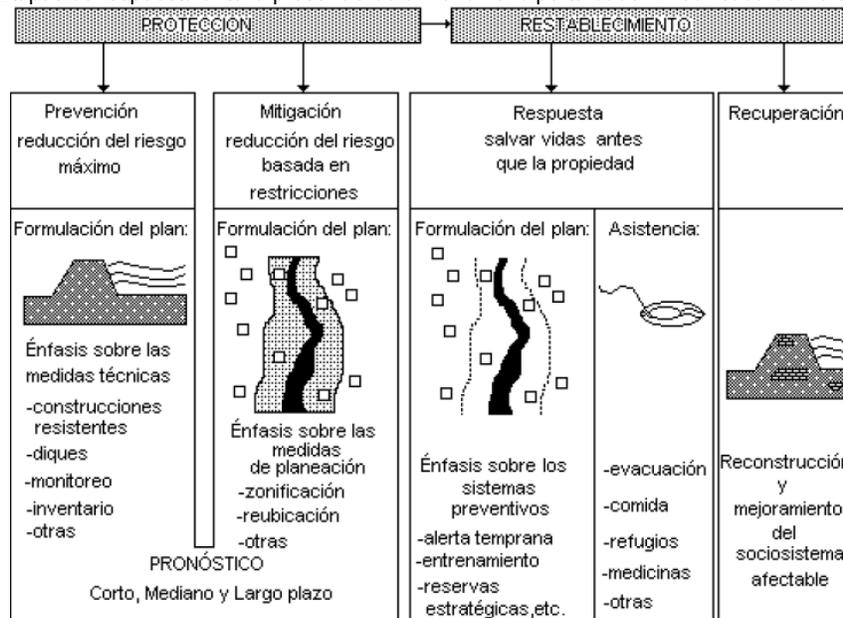
Finalmente es importante establecer el peligro de la mala adaptación. Algunas estrategias de adaptación no probadas o que no se sustentan en un conocimiento profundo de los mecanismos que controlan el clima pueden resultar en daños al medio ambiente agravando el problema del calentamiento global. Falsas estrategias de producción de lluvia (antenas ionizadoras), malas decisiones en agricultura, etc. Pueden tener costos mayores a los que ya de por sí el cambio climático puede tener implícito (Magaña y Gay, 2013, 25).

1.6 Casos de Estudio: Aplicación de la Geo-tecnología en análisis de riesgos hidrometeorológicos

En cuanto a la aplicación de la Geo-tecnología en análisis de riesgos hidrometeorológicos existen muchas investigaciones que están aportando diversos resultados y enfoques metodológicos en zonas del país afectadas por esta problemática ambiental. Tal es el caso del trabajo de investigación denominado “El uso de los atlas en el estudio regional y local de los peligros de origen natural en Campeche”.

En este trabajo se plantean las diferencias conceptuales y metodológicas de los atlas en el estudio de los peligros naturales a nivel regional y local. Los problemas asociados a la disponibilidad, calidad y manejo de los datos para cubrir diferentes objetivos, y fundamentalmente, la interpretación del comportamiento espacio-temporal de los fenómenos naturales peligrosos. Se exponen los estudios de caso del Atlas de Peligros Naturales del Estado de Campeche y el Atlas de Peligros a nivel ciudad en Campeche, como ejemplos de los diferentes enfoques y procedimientos de análisis e interpretación de amenazas naturales. Los Atlas no son solo un compendio de documentos cartográficos rigurosamente compilados e interpretados, sino un conjunto de herramientas potencialmente útiles en el ordenamiento del territorio y en la toma de decisiones, siempre y cuando se cumpla con la objetividad científica, la validación técnica y la legibilidad gráfica e interpretativa (ver figura 12) (Palacio Aponte, 2014: 50).

Figura 12.- Etapas de respuesta ante la presencia de un fenómeno perturbador. Modificada de Verstappen (1992).



Fuente: Palacio Aponte, 2014: 51.

En lo referente a la fase de restablecimiento se tienen dos etapas: la de respuesta que se refiere a rescate de vidas mediante la aplicación de sistemas preventivos planificados, la rehabilitación de servicios de soporte de vida y la asistencia; y la recuperación, que contempla la reconstrucción y mejoramiento en la capacidad de respuesta por parte del sociosistema afectable. La capacidad de respuesta está relacionada con la vulnerabilidad técnico-económica, determinada por el grado de desarrollo tecnológico y económico del o las poblaciones afectables en un momento histórico dado.



Cuando se dispone de recursos técnicos y económicos, siempre se reduce sustancialmente la posibilidad de pérdidas debido a que existen más medios para implementar medidas preventivas y de mitigación (Palacio Aponte, 2014: 51).

Palacios cita a Derrick y Foster, quienes exponen esta idea a partir del concepto de sofisticación de los ajustes y propone 4 categorías para clasificar las formas de enfrentar los fenómenos perturbadores (Palacio Aponte, 2014: 51):

- a) Asimilación de las pérdidas,
- b) Modificación de las medidas preventivas,
- c) Modificación de los procesos físico-geográficos, y
- d) Modificación de la susceptibilidad al daño (regulación en los usos del suelo, códigos de construcción, etc.)

Hasta hoy en día es técnicamente imposible prever y controlar todos los fenómenos naturales que ocasionan desastres, por lo que la vulnerabilidad históricamente acumulada no se puede aún minimizar en su totalidad. En el caso de algunos fenómenos naturales de carácter extraordinario (por ejemplo nubes ardientes en erupciones explosivas) la vulnerabilidad puede llegar a ser del 100%. La vulnerabilidad técnico-económica se mide en función de la existencia o no de un conjunto de medidas preventivas que permitan en la práctica reducir los efectos destructivos del fenómeno perturbador. Pueden existir tres medidas básicas: mecanismos de alerta, capacidad técnica para manipular o controlar los mecanismos generadores del fenómeno y medidas técnicas para controlar o mitigar los efectos destructivos del fenómeno (Palacio Aponte, 2014: 51).

Mecanismos de alerta. Para poder comunicar a la población afectable la ocurrencia de un fenómeno destructivo, es necesario contar con un sistema de monitoreo constante sobre eventos ordinarios y extraordinarios. Al mismo tiempo el conocimiento temprano de los fenómenos debe tener un sistema organizado de difusión orientado sobre todo a informar a las poblaciones de las áreas más expuestas. *Capacidad técnica para manipular o controlar los mecanismos generadores del fenómeno.* En la actualidad cada vez es más frecuente que se intenten intervenir los mecanismos que generan los fenómenos con el fin de reducir sus efectos destructivos. Sin embargo en la práctica no se han alcanzado resultados satisfactorios. Uno de los casos más notables es el proyecto Stormfury que llevaron a cabo los E.U.A. de 1963 a 1971, en el que su director el doctor Cecil Gentry declaró que mediante la siembra de los ciclones con yoduro de plata "la velocidad de los huracanes puede ser reducida en un 15% y hasta en un 30%" y que "es posible pronosticar la trayectoria de los huracanes en un 60% aproximadamente" (Vivó, 1979). Como resultado de este experimento y otros más se ha demostrado que al alterar los mecanismos generadores de los fenómenos se pueden ocasionar comportamientos anómalos de consecuencias aún más impredecibles y destructivas (Palacio Aponte, 2014: 51-52).

Medidas técnicas para controlar o mitigar los efectos destructivos del fenómeno. Si se tienen los recursos económicos y técnicos es posible implementarlas en algunos casos. Para las inundaciones, por ejemplo, es frecuente la construcción de diques de almacenamiento o desvío de excesos de agua. En algunas erupciones volcánicas las lavas pueden ser desgasificadas mediante explosiones o solidificadas con aguas frías para frenar o desviar su avance. Para el caso de los sismos el cumplimiento de normas técnicas especiales de construcción, hace menos vulnerables las edificaciones u otras construcciones ubicadas en regiones sísmicas. Estos ejemplos muestran que



en algunos casos es posible contrarrestar los efectos destructivos de los fenómenos. Aunque la vulnerabilidad puede ser mayor o menor a niveles locales o regionales, siempre es necesario establecer una apreciación numérica que indique, en el área de cobertura del fenómeno, que tan expuestos están los elementos antrópicos del ecosistema afectable (Palacio Aponte, 2014: 52).

- Zonificación de peligros naturales

La zonificación de los peligros naturales (Mc. Call and Marker, 1989), es el proceso cartográfico mediante el cual se expresa espacialmente, el comportamiento de un fenómeno o evento natural peligroso, en función de sus efectos potencialmente destructivos sobre la población y la infraestructura. Se basa en una serie de criterios ponderados a través de capas de información espacial, donde la influencia diferencial de cada elemento, se sintetiza en mapas por rangos de afectación. La expresión de peligrosidad depende tanto de la complejidad original del fenómeno, de la amenaza que represente y de las condiciones ambientales del territorio sobre las que se desarrolle. Así se tienen tres expresiones generales de peligrosidad: simple, compuesta y secundaria (Palacio Aponte, 2014: 52):

- Simple. Cuando el fenómeno en sí es el único que representa amenaza o peligro para los territorios ocupados por el hombre (por ejemplo, un sismo).
- Compuesta. Se da cuando el fenómeno generador del peligro se manifiesta asociado con otros fenómenos (por ejemplo, un sismo y un tsunami) desencadenados por el original.
- Secundaria. Es una peligrosidad derivada o posterior a los efectos destructivos simples o compuestos (por ejemplo, un deslizamiento posterior a un sismo, o un incendio después de una sequía prolongada).

Dependiendo del tipo y respuesta de los elementos ambientales, entonces, se podrán ubicar zonas con distintos grados de asimilación o distintas formas de amplificar o disminuir los efectos destructivos del fenómeno. Para cada fenómeno será necesario ponderar, por áreas, los componentes ambientales que hagan más

o menos susceptible un territorio específico. El término vulnerabilidad ambiental se usa como sinónimo de susceptibilidad del territorio, que es un concepto referido al funcionamiento, fragilidad y resiliencia del ambiente físico ante la ocurrencia de un fenómeno perturbador. La evaluación general del peligro está compuesta de dos partes: matrices parciales y globales de evaluación general de los peligros naturales y su representación cartográfica a través de la susceptibilidad del terreno. Ambas son el resultado de la síntesis de los valores parciales de peligrosidad y expresan niveles o grados de amenaza. Este enfoque general se vuelve específico en dos sentidos: el espacial según la escala y la cobertura territorial y según la especificidad o detalle de los datos requeridos (Palacio Aponte, 2014: 52).

Para ser más específico, la susceptibilidad del terreno analiza la distribución espacial y la correlación múltiple de las condiciones naturales del terreno, que predisponen la capacidad de las unidades del paisaje para amortiguar o magnificar la incidencia directa de un fenómeno natural sobre un territorio específico. Se basa, en el conocimiento del potencial destructivo extremo del conjunto de fenómenos ocurridos en el pasado (frecuencia, intensidad y magnitud) y su relación intrínseca con las condiciones naturales o antrópicas locales del terreno (Palacio Aponte, 2014: 52).



Para su determinación, se aplica el análisis condicional de Panniza, 1991 basado en un conjunto de criterios ponderados de susceptibilidad y su expresión territorial sobre unidades del terreno (*terrain-units*). Este análisis se basa en el Teorema de Bayes, donde el discernimiento de la probabilidad de las causas se determina a partir de los efectos que han podido ser observados en el pasado. A partir de este principio se establecen correlaciones entre los efectos modificadores o destructivos registrados sistemáticamente y las unidades del terreno o unidades de mapeo homogéneas donde se categorizan las respuestas (impactos) a la amenaza. En estas unidades se infieren respuestas ambientales similares ante las variantes en los efectos destructivos similares del fenómeno perturbador. A partir de esta correlación se establecen analogías geográficas basadas en la interpretación de datos puntuales, lineales o areales (Palacio Aponte, 2014: 52).

- Zonificación de peligros naturales. Atlas regionales y estudio de caso

Para este nivel de análisis territorial se presenta la caracterización de diversos peligros hidrometeorológicos y geológicos para el Estado de Campeche, enmarcados dentro del proyecto de investigación Atlas de Peligros Naturales del Estado de Campeche financiado por el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y el Gobierno del Estado de Campeche y realizado por el Instituto EPOMEX de la

Universidad Autónoma de Campeche, con la colaboración del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí para el Centro Estatal de Atención a Emergencias del Gobierno del Estado de Campeche, CENECAM. La cuantificación de los peligros naturales se realizó a partir de las metodologías propuestas por el Centro

Nacional de Prevención de Desastres en su serie de libros Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, la mayoría de ellas fueron mejoradas y adaptadas a la geografía estatal con lo cual se obtuvo una mejor caracterización de los peligros. Este documento se divide en dos grandes apartados, Peligros Hidrometeorológicos y Peligros Geológicos, de estos los primeros, son los que afectan con mayor frecuencia y magnitud al estado de Campeche, dentro de los peligros hidrometeorológicos se analizaron: desbordamiento de ríos, marea de tormenta, oleaje, sequía y temperatura, igualmente se realizó una caracterización básica de las zonas propensas a inundarse por acumulación de lluvia en las ciudades de Campeche, Carmen y Champotón; en los peligros geológicos se estudió: disolución kárstica, sismos, caída de cenizas volcánicas e inestabilidad de laderas (Palacio Aponte, 2014: 52-53).

El proceso de zonificación para este instrumento potencial de planificación, se ubica en el nivel regional de carácter prospectivo a escalas 1:250,000 o menores. De manera que el acercamiento territorial cubre grandes extensiones con poca resolución espacial. Las bases de datos georreferenciadas requieren consistencia en términos cartográficos a nivel de grandes unidades del territorio, sin embargo, existe una diferencia entre los datos disponibles y los deseables. Al final la información debe ser científicamente concebida, técnicamente validada, espacialmente georreferenciada y fácilmente interpretable. La información generada es reinterpretada para el público en general y para los tomadores de decisiones, disponible en una hoja Web en donde se especifiquen las características técnicas de los insumos temáticos en formatos raster y vector y los mapas resultados con sus respectivos metadatos. En el mapa 4 se muestra un mapa elaborado a partir de muestreos de rocas y las condiciones asociadas de susceptibilidad estructural y ambiental regionales (Palacio Aponte, 2014: 53)



Fuente: Palacio Aponte, 2014: 54.

- Zonificación de peligros naturales atlas a nivel ciudad y estudio de caso

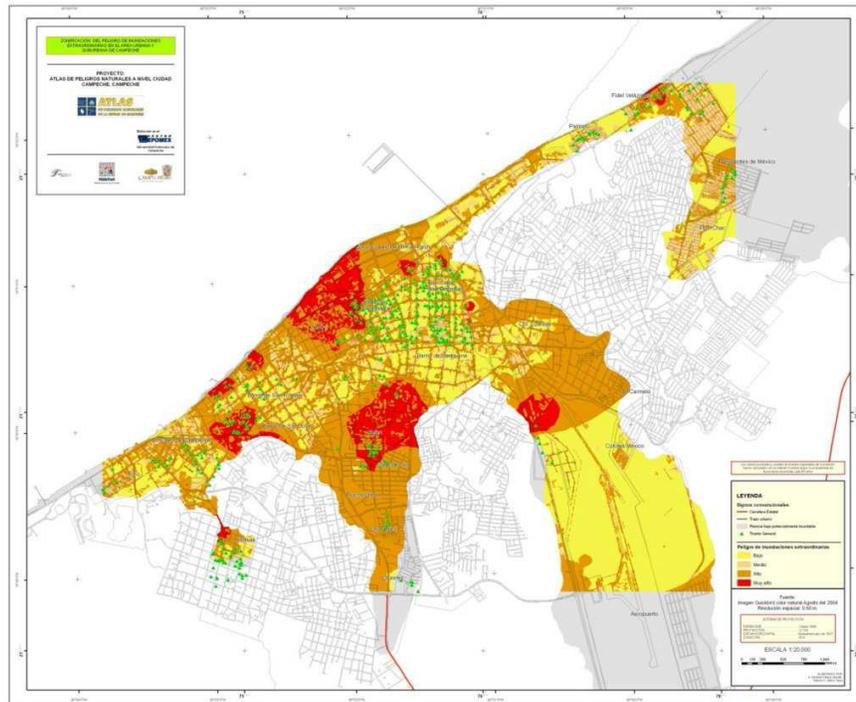
En el contexto de la zonificación local, la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), a través del programa Hábitat y los gobiernos municipales y estatales, promueve la realización de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudades, para generar directrices en la ocupación acertada del territorio urbano, en función de las amenazas naturales reales y potenciales. Comprende un conjunto de mapas en donde se identifican, caracterizan y ponderan las amenazas naturales que pueden afectar a la población urbana. Al mismo tiempo la iniciativa de Sedesol, forma parte de la política institucional de “Información para la Planeación y Gestión del Desarrollo Urbano en México”, compatible con la iniciativa de Ordenamiento Ecológico del Instituto Nacional de Ecología (INE), establecida en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), que reglamenta constitucionalmente lo relativo a la protección del ambiente en el territorio nacional y en las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Al mismo tiempo, el Atlas contribuye a fortalecer el Sistema Nacional de Protección Civil, dependiente de la Secretaría de Gobernación y cuyo objetivo es manejar las estrategias preventivas y de mitigación ante la ocurrencia de desastres de origen natural o antropogénico (Palacio Aponte, 2014: 54).

El entorno ambiental del territorio donde se ubican las ciudades, es una característica fundamental para entender el origen y significancia de peligros naturales específicos. Así, existe una gran diferencia entre ambientes costeros tropicales bajos kársticos y ambientes de montaña volcánicos templados. Los peligros naturales potenciales, tienen que ver con la historia geológico-tectónica de la región, los regímenes climáticos regionales y locales, y la presión humana sobre equilibrio dinámico de los ecosistemas. Entre más artificiales sean las condiciones, más adecuaciones se tienen que hacer a los índices y procedimientos utilizados tradicionalmente en la caracterización de los eventos o fenómenos naturales peligrosos. El emplazamiento urbano de la ciudad de Campeche, presenta particularidades biofísicas, como su ubicación en ambientes tropicales subhúmedos, su origen kárstico por la génesis geológico-geomorfológica de estructuras tabulares de calizas y la baja y prácticamente nula actividad neotectónica (Palacio Aponte, 2014: 54).

Para la zonificación de peligros a nivel local se manejan escalas entre 1:20,000 y 1:50,000 dependiendo de la disponibilidad y confiabilidad de la información georeferenciada. Se incluyen mapas temáticos parciales y sintéticos aplicados a los fenómenos de mayores efectos destructivos y recurrencias. Peligros geológicos como: sismos históricos, tsunamis, inestabilidad de laderas, zonificación de peligro por inestabilidad de laderas, hundimientos, susceptibilidad a la erosión, vulcanismo; y por otra parte los peligros hidrometeorológicos como zonificación de peligro de inundaciones ordinarias y extraordinarias, inundaciones súbitas puntuales en la ciudad, nortes, sequías y susceptibilidad a incendios. Estos mapas requieren obligatoriamente una alta densidad de muestreos en campos asociados a la alta resolución espacial y menor cobertura territorial (Palacio Aponte, 2014: 54).

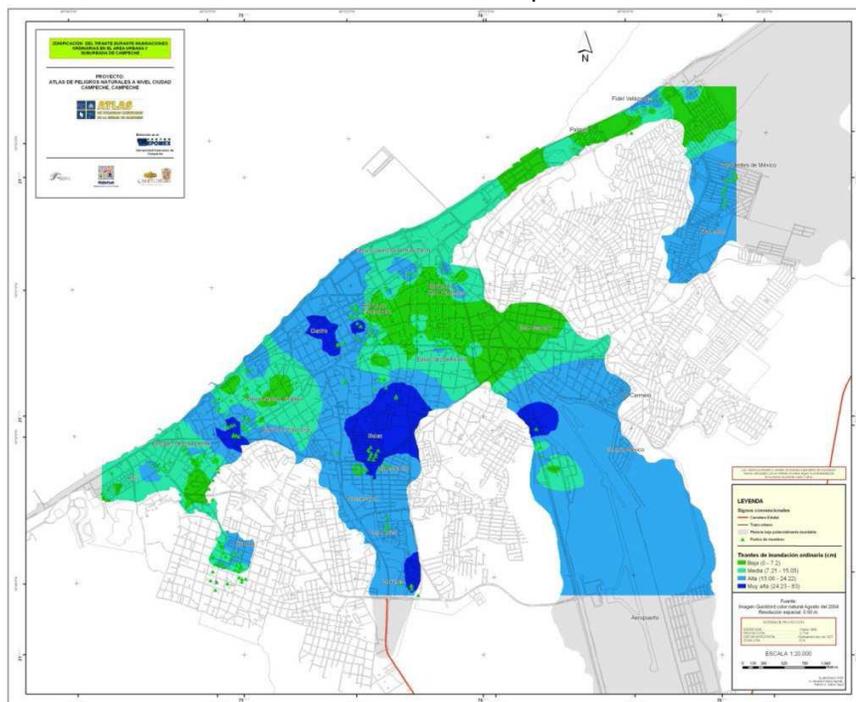
En los mapa 6 y 7 se muestra el modelaje espaciotemporal asociado a inundaciones extraordinarias ocasionadas por huracanes con recurrencias hipotéticas de 65 años. El color rojo está asociado a tirantes de más de un metro y permanencias mayores a una semana. Así como tirantes de agua para la ciudad (Palacio Aponte, 2014: 54-55).

Mapa 6. Modelaje de zonas de inundación en la ciudad de Campeche



Fuente: Palacio Aponte, 2014: 55.

Mapa 7. Zonificación de los tirantes asociados a las inundaciones ordinarias repetibles cada 4 años en la ciudad de Campeche



Fuente: Palacio Aponte, 2014: 55.

- Conclusiones



Los Atlas son más que un compendio de mapas elaborados con rigor técnico-cartográfico. Reflejan el comportamiento espacio-temporal de los fenómenos perturbadores que potencialmente pueden tener efectos no deseados sobre los sociosistemas afectables. Muestran información georeferenciada y reinterpretada con bases de datos asociadas, útiles en los ordenamientos territoriales tanto a nivel estatal como como local. Los Atlas regionales a nivel Estatal permiten conocer de forma sinóptica el estado o condición general del territorio estatal en términos de amenazas y concentrar políticas y recursos en la atención prioritaria de zonas con altas probabilidades de comportamientos y efectos extremos. Por otra parte la información contenida en los Atlas de ciudad son útiles en el diseño de estrategias políticas y económicas para el desarrollo urbano asertivo, es decir, aquel que priorice en términos prácticos, las zonas menos expuestas a amenazas de las que presenten efectos más intensos y frecuentes. Los Atlas a nivel local, también se pueden vincular al catastro para normar las políticas locales de uso del suelo, utilizando medidas no estructurales para evitar situaciones de riesgo y/o desastre. Para ambos tipos de Atlas el objetivo último es proveer los elementos suficientes que nos permitan proponer zonas preferentes para los usos específicos del territorio. Es decir, nos permiten reordenar el territorio y planificar el desarrollo según sus potencialidades y limitaciones (Palacio Aponte, 2014: 56).



Actividades de la unidad Unidad 1. Riesgos de Inundación

Secuencia didáctica para lograr la actividad como evidencia de desempeño en el desarrollo de las competencias

1.- Cuestionario de diagnóstico diseñado por el docente y contestado por el alumno:

Se elaborará con la intención de identificar los conocimientos previos que el alumno tiene sobre la problemática de los riesgos por inundaciones en los niveles global, nacional y local dentro de su proceso de formación en los niveles educativos anteriores y en su vida diaria.

2.- Organización: En equipos o parejas elegirán una localidad en la que identifiquen una problemática de inundación, esto con base en los conceptos vistos en la unidad 1.

3.- Desarrollo: De un mapa conceptual en donde identifiquen y jerarquicen las actividades a realizar para el análisis de la problemática de inundación en la localidad que eligieron. Los términos se encuentran definidos en el desarrollo de la unidad 1; deberá basarse en la lógica de: definición del problema, causas y posibles soluciones.

4.- Define: Una vez definidos de manera precisa y clara los conceptos a utilizar, se definirá los criterios para elaborar el análisis de la problemática de las inundaciones en la localidad seleccionada previamente.

Actividades previas:

- Seleccionar el área de estudio
- Identificar las problemáticas de las inundaciones dentro de la localidad seleccionada.
- Definir un método de estudio para conocer las causas de la problemática de las inundaciones.
- Seleccionar los materiales y medios para el estudio; itinerarios, cartografía, instrumentos, técnicas de observación y registro.

Actividades durante el estudio:

- Investigación bibliográfica
- Investigación de campo.
- Caracterización físico- geográfica y socioeconómicas de la zona de estudio.

Actividades posteriores al análisis geográfico:

- Integración del análisis de la problemática de las inundaciones.
- Complementación de causas primarias de la problemática de las inundaciones.
- Algunas soluciones a la problemática de las inundaciones.

5.- Reporte: Elaboración de un reporte de investigación sobre los métodos, procedimientos e instrumentos utilizados para registrar y sistematizar la información del a problemática de las inundaciones en la localidad seleccionada.

6.- Entrega: Del reporte final para su evaluación a través de una lista de cotejo y una rúbrica de evaluación previamente diseñada y entregada a los alumnos.



7.- Exposición: De las conclusiones del trabajo de investigación ante el grupo con disposición a una retroalimentación tanto por el profesor como por los compañeros de grupo.

Unidad 2

Sequias.





Introducción

La unidad 2 trata sobre las definiciones de las sequias y sus puntos de vista desde diferentes enfoques ambientales. Como su índice para determinar en qué momento se presenta una sequía y donde puede afectar los cultivos.

También se analiza las características de las sequias sus causas y efectos, y las zonas afectadas por éstas.

Un punto importante también es definir que es aridez y como se contextualiza dentro de las sequias.

Por último se plantea las medidas preventivas y de mitigación de las sequias para evitar que su impacto en el ambiente y sobre todo en los campos de cultivo afecte la producción agrícola y su abasto.



2.1 Definición de sequías y sus puntos de vista desde diferentes ámbitos

- Definición de sequías

La sequía es uno de los peligros naturales más devastadores que paraliza la producción de alimentos, agota los pastizales, perturba los mercados y, en los casos más extremos, causa la muerte generalizada de personas y animales. Las sequías pueden también dar lugar a un aumento de la migración de las zonas rurales a las urbanas, lo que supone una presión adicional para la producción decreciente de alimentos. Muchas veces los pastores se ven obligados a buscar fuentes alternativas de agua y alimentos para sus animales, lo cual puede crear conflictos entre las comunidades de pastores y agricultores (FAO, 2017).

- Puntos de vista desde diferentes ámbitos

La FAO y sus asociados han puesto de relieve la amenaza que representan las sequías y propugnan una respuesta inmediata entre los gobiernos y los donantes para asegurar que la alerta temprana se corresponda con la adopción de medidas rápidas por medio de varios sistemas de alerta sobre la seguridad alimentaria – como la gestión de la Unidad de Análisis de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición para Somalia, la utilización y difusión de la Clasificación integrada de la seguridad alimentaria y la fase humanitaria y su asociación con gobiernos y organismos no gubernamentales en los niveles nacional y regional. Desde la preparación a la respuesta, la FAO desempeña una función fundamental en la respuesta a las crisis causadas por las sequías. Las sequías son cíclicas y “de lenta aparición”, lo que significa que se puede hacer mucho para que los medios de vida de las personas que probablemente se verán afectadas por las sequías sean mucho más resistentes (FAO, 2017).

La FAO ayuda también a las comunidades de agricultores a mitigar los efectos de las sequías mediante diversas actividades, entre las que figuran la prestación de apoyo a la producción local de variedades de semillas de ciclo corto y tolerantes a las sequías, que pueden ayudar a los agricultores a producir cultivos incluso durante las sequías, la rehabilitación o construcción de depósitos de agua que pueden almacenar las lluvias que vengan y la promoción de la agricultura de conservación en África oriental y meridional, que tiene la capacidad de incrementar la utilización eficiente de las precipitaciones y reducir el agua de escorrentía y la evaporación, aprovechando mejor el agua escasa (FAO, 2017).

Cuando las comunidades se ven afectadas por la sequía, la FAO presta apoyo mediante una serie de actividades para que vuelvan a ser autónomas e inicien la producción de alimentos con rapidez. A raíz de la sequía en el Cuerno de África, se utilizaron mecanismos de transferencia de dinero (como dinero por trabajo) con miras a ofrecer a las personas más vulnerables una fuente directa de dinero mientras rehabilitaban la infraestructura básica de riesgo, los depósitos de agua y las carreteras comarcales que contribuirán a aumentar la producción de alimentos a más largo plazo (FAO, 2017).

En el Sahel, se suministraron cabras a los pastores para ayudarles a formar de nuevo sus rebaños y garantizar que pudieran mantener la producción de leche. En ambas regiones, en las que el ganado constituye una fuente imprescindible de alimentos e ingresos, se vacunó y trató a los animales para



protegerles de enfermedades y plagas, por lo que mejoró su estado físico. Se suministraron a los agricultores semillas de calidad e insumos agrícolas para ayudarles a replantar rápidamente a tiempo para las próximas lluvias y, en partes de África oriental, se transportó agua a comunidades donde las personas y los animales la necesitaban desesperadamente (ver fotografía 4) (FAO, 2017).

Fotografía 4. La sequía en el Cuerno de África y el Sahel



Fuente: (FAO, 2017).

2.2 Índices de Sequía

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es la dependencia oficial del gobierno mexicano encargada de proporcionar información meteorológica (estado del tiempo) y climatológica. Para ello utiliza las redes de observación tales como estaciones automáticas, observatorios sinópticos, radares, estaciones de radiosondeo y estaciones receptoras de imágenes de satélite. Uno de los fenómenos climáticos que más afecta a las actividades económicas del país es la sequía, el SMN se encarga de detectar el estado actual y la evolución de este fenómeno. Para ello se apoya en el Monitor de Sequía en México (MSM) que a su vez forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM) (CONAGUA, 2017).

Aun cuando el MSM inició en México en 2002 dentro de las actividades del NADM, fue hasta el año de 2014 que adquirió su carácter nacional, lo que le permitió emitir mapas de sequía en escala de tiempo diferente a la mensual, siempre basada en la metodología utilizada por el USDM y el NADM. A partir de febrero de 2014 la emisión del MSM es quincenal (CONAGUA, 2017).

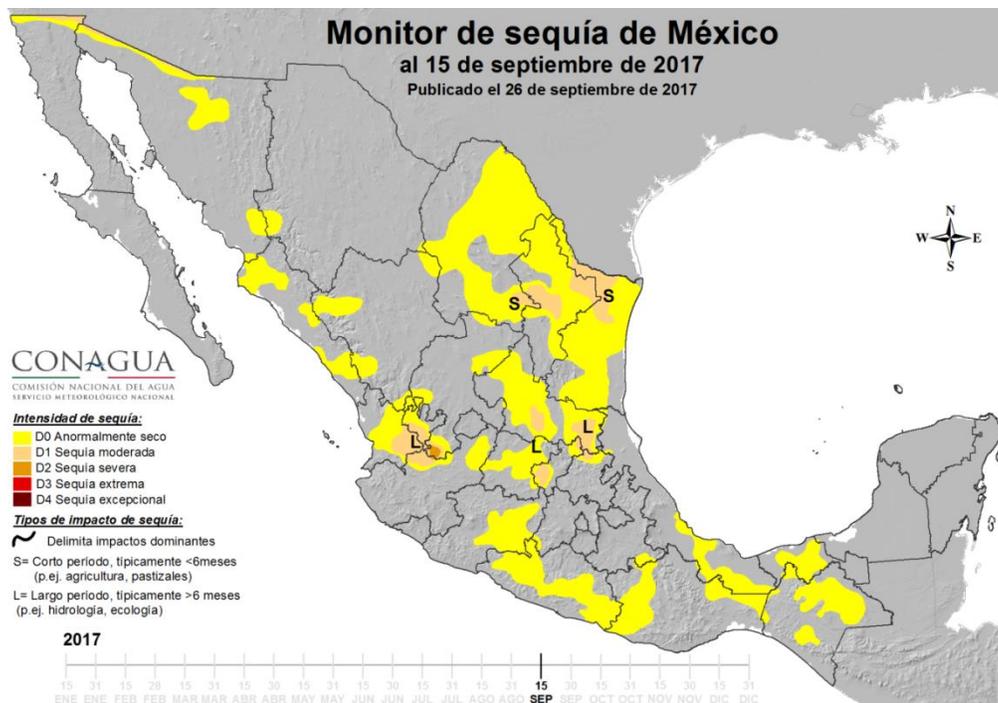
La Metodología con la que se basa el MSM es a través de la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía tales como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) que cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación (30, 90, 180, 365 días), Anomalía de Lluvia en Porcentaje de lo Normal (30, 90, 180, 365 días), Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada, el Modelo de Humedad del Suelo Leaky Bucket CPC-NOAA que estima la humedad del suelo mediante un



modelo hidrológico de una capa, el Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI), la Anomalía de la Temperatura Media, el Porcentaje de Disponibilidad de Agua en las presas del país y la aportación de expertos locales. Estos índices se despliegan en capas o layers a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y mediante un consenso se determinan las regiones afectadas por sequía, de acuerdo a la escala de intensidades que es común en los tres países que va desde anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) hasta sequía excepcional (D4). Como resultado del consenso se trazan polígonos para cada intensidad de sequía, generando archivos tipo shapefile. Cuando los polígonos corresponden al análisis de mediados de mes (emitido los días 15 de cada mes) se utilizan para cuantificar la sequía sobre el territorio nacional y cuando corresponden a la evaluación final de cualquier mes complementa además al mapa regional o continental del NADM (CONAGUA, 2017).

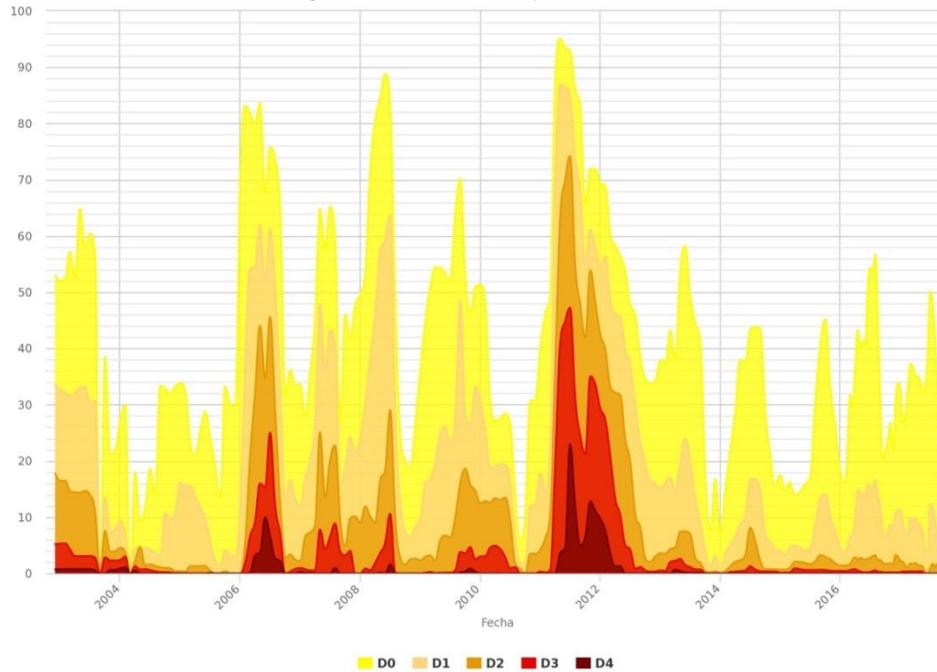
El producto que el MSM aporta es el Monitor de Sequía en México que consta de un Reporte que contiene una descripción de la sequía en el país, tablas y gráficos de porcentaje de área afectada por sequía a nivel nacional, estatal, 13 Organismos de Cuenca y 26 Consejos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua, además de la contabilidad de municipios afectados por cualquier categoría de sequía. Si requiere los shapefiles del MSM, favor de enviar nombre completo, institución a la que pertenece, preferentemente con su correo institucional a sequia_smn@conagua.gob.mx; al hacer uso de ellos por favor citar como “Archivos shapefiles del Monitor de Sequía en México (MSM) generados en el Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN) (ver mapa 8 y figura 13) (CONAGUA, 2017).

Mapa 8. Monitor de sequía de México



Fuente: (CONAGUA, 2017).

Figura 13. Monitor de sequía de México



Fuente: (CONAGUA, 2017).

Nota: La figura o gráfica muestra la evolución y el porcentaje de área del país afectada con una o varias categorías de sequía a nivel nacional

2.3 Características de las Sequias

La sequía se caracteriza por ser un fenómeno regional cuyas particularidades variarán según el régimen climático, aunque su extensión geográfica y su gravedad variarán a escala estacional o anual (BIVAPAD, 2017).

- Se manifiesta tanto en regiones secas como húmedas.
- Sus efectos se hacen notar de manera lenta. La evolución paulatina de la sequía hace que, en ocasiones, sus efectos tarden semanas o meses en hacerse patentes, por lo que no es fácil determinar cuándo comienza o cuando termina.
- El déficit de precipitación empieza a manifestarse en la disminución de agua en los suelos, por lo que la agricultura suele ser el primer sector afectado.
- La sequía es una anomalía temporal o transitoria, esto la diferencia de la aridez, que es una característica permanente del clima.
- La manifestación de la sequía también se ve influenciada cuando se determina la presencia de fenómeno oceánico atmosférico (El Niño y La Niña)

2.3.1 Causas y efectos de las sequias

El medio de comunicación *The Economy Journal (EJ)* plantea a que las sequías producen más víctimas y provocan más desplazamientos de poblaciones que los ciclones, inundaciones y seísmos



juntos. Estas catástrofes naturales, menos espectaculares, resultan en consecuencia menos mediáticas. Desde la década de los 70 del pasado siglo, las superficies afectadas por la sequía se han duplicado y son sobre todo las mujeres, los niños y las personas mayores los que pagan las consecuencias (EJ, 2017).

Actualmente, 168 países se consideran afectados por la desertificación, proceso de deterioro de suelos en las regiones áridas que repercute negativamente en la producción alimenticia y que se está agravado por la sequía. Según la definición de los climatólogos, se habla de sequía cuando no se producen precipitaciones en una zona durante un largo período. En tal sentido, la sequía no se interpreta de la misma forma según los países y su clima. Por ejemplo, en Francia se habla de "sequía absoluta" cuando no se registran lluvias al menos durante quince días consecutivos. En EE.UU, si una zona recibe solamente un 30% de precipitaciones o menos que lo normal durante al menos 21 días, se denomina como sequía. En Australia si un suelo registra menos del 10% de precipitaciones en relación con la media anual, se declara sequía. En la India, para que haya sequía es necesario que las precipitaciones anuales sean inferiores al 75% de las normales en cada estación (EJ, 2017).

La sequía no debe confundirse con la aridez. Una región árida puede atravesar por episodios de sequía. La falta de lluvias es en este caso una característica permanente del clima de la zona árida. Se trata generalmente de zonas en las que la lluvia es rara y las temperaturas son altas. La sequía es así un fenómeno puntual en la zona (EJ, 2017).

Existen muchos tipos de sequías. La sequía meteorológica es consecuencia de un déficit prolongado de precipitaciones. La sequía agrícola se caracteriza por un déficit de agua en suelos de una profundidad máxima de dos metros, y que tiene impacto sobre el desarrollo de la vegetación. Este tipo de sequía depende de las precipitaciones recibidas en la zona y de la evaporación y transpiración de las plantas. Esta sequía es así sensible al clima del entorno: humedad, precipitaciones, temperatura ambiente, viento y también el suelo y las plantas. La sequía hidrológica se manifiesta cuando los cursos de agua (subterráneas, lagos o ríos) tienen un nivel anormalmente bajo. Las precipitaciones son, en este sentido, un factor clave, pero también cuenta el tipo de suelo. De su permeabilidad depende la filtración y el discurrir de las aguas (ver fotografía 5) (EJ, 2017).

Fotografía 5. Sequia



Fuente: EJ, 2017.





2.3.2 Zonas Afectables por las sequías

En los últimos años, las sequías han dado lugar a algunos de los desastres humanitarios de mayor gravedad, entre ellos las crisis recientes de las regiones del Cuerno de África (2011) y el Sahel (2012), que amenazaron las vidas y los medios de vida de millones de personas. En el pasado, las sequías no eran siempre tan catastróficas y solían formar parte del sistema climático ordinario, como era el caso en las tierras secas del Cuerno de África y en el Sahel. Sin embargo, la mayor frecuencia de sequías y el carácter más errático de las precipitaciones en muchos países, junto con la vulnerabilidad económica, social y ambiental subyacente, han hecho que las sequías tengan un impacto cada vez más destructivo en las poblaciones en riesgo (FAO, 2017).

En el caso mexicano, hasta febrero del 2016, a consecuencia de las escasas lluvias de invierno, la sequía, de moderada a extrema, afectó a cerca de 10 por ciento del territorio nacional, casi 3 por ciento más que en enero, indica el Monitor de Sequía del Servicio Meteorológico Nacional. Oaxaca es el único estado con sequía extrema, con 50 por ciento de su superficie afectada (*La Jornada*, 2017).

Otra entidad con ese problema es Tabasco, debido a que experimentó su segundo semestre –de septiembre de 2016 a febrero– más seco en los pasados 76 años. Fue de moderada a severa en 70 por ciento del estado. El mes de febrero de 2017 ingresaron al país siete sistemas frontales y tres tormentas invernales, los cuales provocaron lluvias por arriba de lo normal en el noroeste, norte, noreste y oriente del país, mientras en el sureste y centro del territorio nacional fueron por debajo del promedio, explicó el monitor. Oaxaca reportó el tercer semestre más seco –en el periodo septiembre 2016 y febrero 2017, y es la única entidad con sequía extrema. En la zona central de México, la Ciudad de México registró su febrero 2017 más seco y la sequía moderada cubre 13 por ciento de su superficie, mientras en Guanajuato y Querétaro, que se encontraban sin escasez de agua en enero, ahora ya tienen ese problema. En la península de Yucatán se incrementó ligeramente, al pasar de 22.4 de la superficie a 27.9 por ciento (*La Jornada*, 2017).

En tanto, las lluvias invernales fueron favorables en el noroeste, donde la sequía de largo periodo disminuyó. En Baja California, donde fue de moderada a severa, se redujo de 22.6 a 6.1 por ciento, y en Sonora de 8.8 a 5.6. En cuanto a temperatura, febrero 2017 igualó al de 2006 como el más cálido, de acuerdo con registros desde 1971. Excepto áreas del norte de Baja California, costa de Sinaloa, los límites entre Chihuahua y Durango, Michoacán y estado de México, Guerrero y Oaxaca, el país experimentó temperaturas por arriba de lo normal. A consecuencia de las elevadas temperaturas y escasas lluvias, de enero al 9 de marzo se reportaron 32 mil 662 hectáreas quemadas por incendios forestales, principalmente en los estados de México, Puebla, Ciudad de México, Michoacán, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, Jalisco y Chiapas, que sumaron 81 por ciento del total nacional. El periodo del primero de enero al 9 de marzo de 2017 ha sido el tercero con mayor superficie siniestrada, sólo atrás de lo reportado en 1998, que sumó 78 mil 349 hectáreas, y 2013, con 40 mil 612 (ver fotografía 6) (*La Jornada*, 2017).

Fotografía 6. Sequía en el Estado de Oaxaca, México



Fuente: *La Jornada*, 2017.

Nota: Al menos la mitad del territorio oaxaqueño se ha visto afectado por la sequía, informó el Servicio Meteorológico Nacional (*La Jornada*, 2017).

2.4 Aridez

La 'aridez' es una palabra de origen latino (*aridus*) que significa seco, es decir, sin humedad. Sin embargo, la aridez es algo más que sequía, puesto que en su concepto intervienen diversos elementos y factores climáticos, entre los que destacan las altas temperaturas, baja precipitación y la intensa radiación. Desde el punto de vista hidrológico, la aridez se define en términos de volumen de flujo anual, como una relación directa entre los atributos de los almacenamientos o depósitos superficiales, la hidrología subterránea y los procesos geomorfológicos (Troyo y otros, 2014: 67).

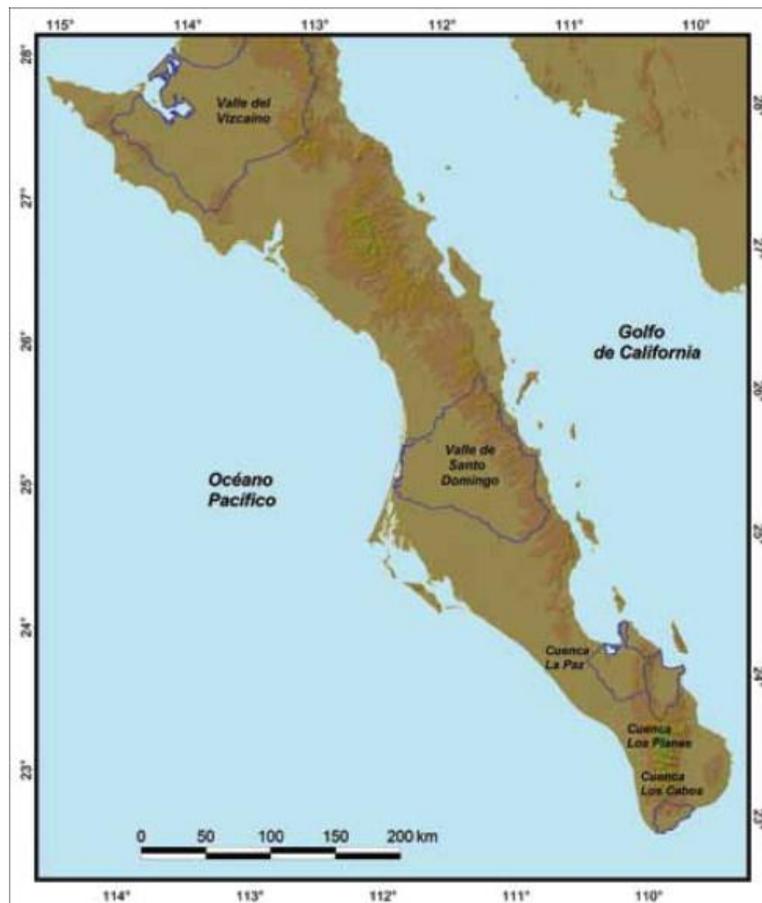
En una zona seca, es evidente que la escasez de agua procede principalmente de la falta de lluvia, o de una menguada o disminuida precipitación. Además, la eficacia del agua en el suelo depende de numerosos factores terrestres, entre los que destaca la evaporación. Distintos autores utilizan conceptos variados para definir la aridez climática, por ello no existe una clara y exacta definición de aridez. Sin embargo, algunos autores emplean una noción más amplia de aridez, a la que denominan aridez paisajística, que se origina cuando la aridez del clima se refuerza por la aridez edáfica, la cual no es fácil de cuantificar; sin embargo, su influencia es decisiva para la agricultura, la cobertura vegetal y el paisaje. Ellos propusieron un procedimiento para la elaboración de un mapa actualizado que delimita zonas que se encuentran en algún nivel de condición de aridez en México, al considerar que el 80% de la evaporación se convierte en evapotranspiración y este indicador se puede considerar como una aproximación al planteado por la FAO basado en el cálculo de Penman-Monteinth (Troyo y otros, 2014: 67-68).



Los recursos naturales disponibles, agua, suelo, biota y energía interactúan estrechamente con el clima, cuyas variaciones y fluctuaciones pueden modificar las propiedades y atributos del entorno ambiental, causando eventualmente procesos de degradación, como la erosión y desertificación. El entendimiento común de las causas que modifican el uso del suelo y que generan cambios en la cubierta vegetal está dominado por simplificaciones que, a su vez, frecuentemente fundamentan las políticas de desarrollo y conservación del ambiente. Al respecto, se ha coincidido en que todo proceso que contribuye al deterioro ambiental, incluyendo la degradación del agua, el suelo o la biodiversidad, puede considerarse como un proceso de desertificación. En diversas zonas del Estado de Baja California Sur existen procesos de degradación de los mencionados recursos (Trovo y otros, 2014: 68):

1. Degradación del agua; derivado de la extracción de un volumen de agua subterránea mayor al que ingresa por infiltración y degradación en calidad por intrusión salina, contaminación por fertilizantes y salinización de las aguas remanentes retenidas temporalmente en las represas y depresiones del terreno. Lo anterior ocurre en las cuencas de La Paz y Los Planes, bcs, entre otras.
2. Degradación de la biodiversidad; puede ocurrir debido a la destrucción de hábitats, al sobrepastoreo, introducción de especies exóticas, pérdida de variedades locales de diversas especies cultivadas, y a otros factores. Dicho tipo de degradación se observa en el Valle de Santo Domingo y en la cuenca de La Paz, Baja California Sur.
3. Degradación del suelo; referido a la pérdida de la fertilidad, generalmente irreversible, o bien, cuya recuperación es altamente costosa y económicamente inviable (Oropeza, 2004). Lo anterior se observa en los valles de Santo Domingo y el Vizcaíno, Baja California Sur (ver mapa 9).

Mapa 9. Cuencas y valles de Baja California Sur vulnerables a la desertificación.



Fuente: Troyo y otros, 2014: 67-68.

2.5 Medidas Preventivas y de mitigación

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), plantea el Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía (PMPMS) para ciudades, que hasta 2013 se actuaba de manera reactiva ante el fenómeno de la sequía. No obstante, con el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE) y particularmente con los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía (PMPMS), se busca contar de antemano con planes y acciones que se aplicarían ante eventuales situaciones de escasez temporal de agua con el objetivo de minimizar impactos ambientales, económicos y sociales. Con estos planes se busca (CONAGUA, 2016):

- Garantizar la disponibilidad de agua requerida para asegurar la salud y la vida de la población: abastecimiento público, doméstico, urbano y rural.
- Evitar o minimizar los efectos negativos de la sequía sobre el ambiente, en especial sobre el régimen de caudales ecológicos.
- Minimizar los efectos negativos sobre las actividades económicas, según la priorización de usos establecidos en la legislación de aguas y en los programas hídricos.



Así, Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía (PMPMS):

- Privilegian las acciones de preparación y mitigación.
- Definen las medidas de mitigación y planeación proactivas, la gestión de riesgos, la difusión pública y la administración de recursos.
- Coordinan programas de sequía y actividades de respuesta con eficiencia y eficacia, centrándose en las necesidades de los usuarios.

CONAGUA en una primera etapa se desarrollaron los PMPMS para cada uno de los Consejos de Cuenca del país, en una segunda etapa se desarrollaron PMPMS para algunas ciudades, los cuales se presentan en esta sección (CONAGUA, 2016):

- PMPMS ZM Guadalajara, Jalisco
- PMPMS Victoria de Durango, Durango
- PMPMS Puebla, Puebla
- PMPMS Toluca, México
- PMPMS ZM Xalapa, Veracruz
- PMPMS Cuernavaca, Morelos
- PMPMS Cancún, Q.Roo.
- PMPMS Culiacán, Sinaloa
- PMPMS Cd. Valles, San Luis Potosí R
- PMPMS Cd. Victoria, Tamaulipas R
- PMPMS Chihuahua, Chihuahua
- PMPMS Mérida, Yucatán
- PMPMS Monterrey, Nuevo León

Dentro del estado de México se encuentra el de PMPMS de la zona Metropolitana de la ciudad de Toluca, México, este programa su objetivo es “Proponer medidas preventivas y de mitigación de la sequía de modo que se incremente la seguridad hídrica en la Zona Metropolitana de Toluca”. Enfocadas por dos estrategias principales (CONAGUA, 2015: 2).

1. Reducir y administrar el consumo de agua y la eficiencia de la gestión antes de incrementar las fuentes de abasto y suministro;
2. Establecer y mejorar un sistema de información y monitoreo que permita mejorar las eficiencias y el servicio.



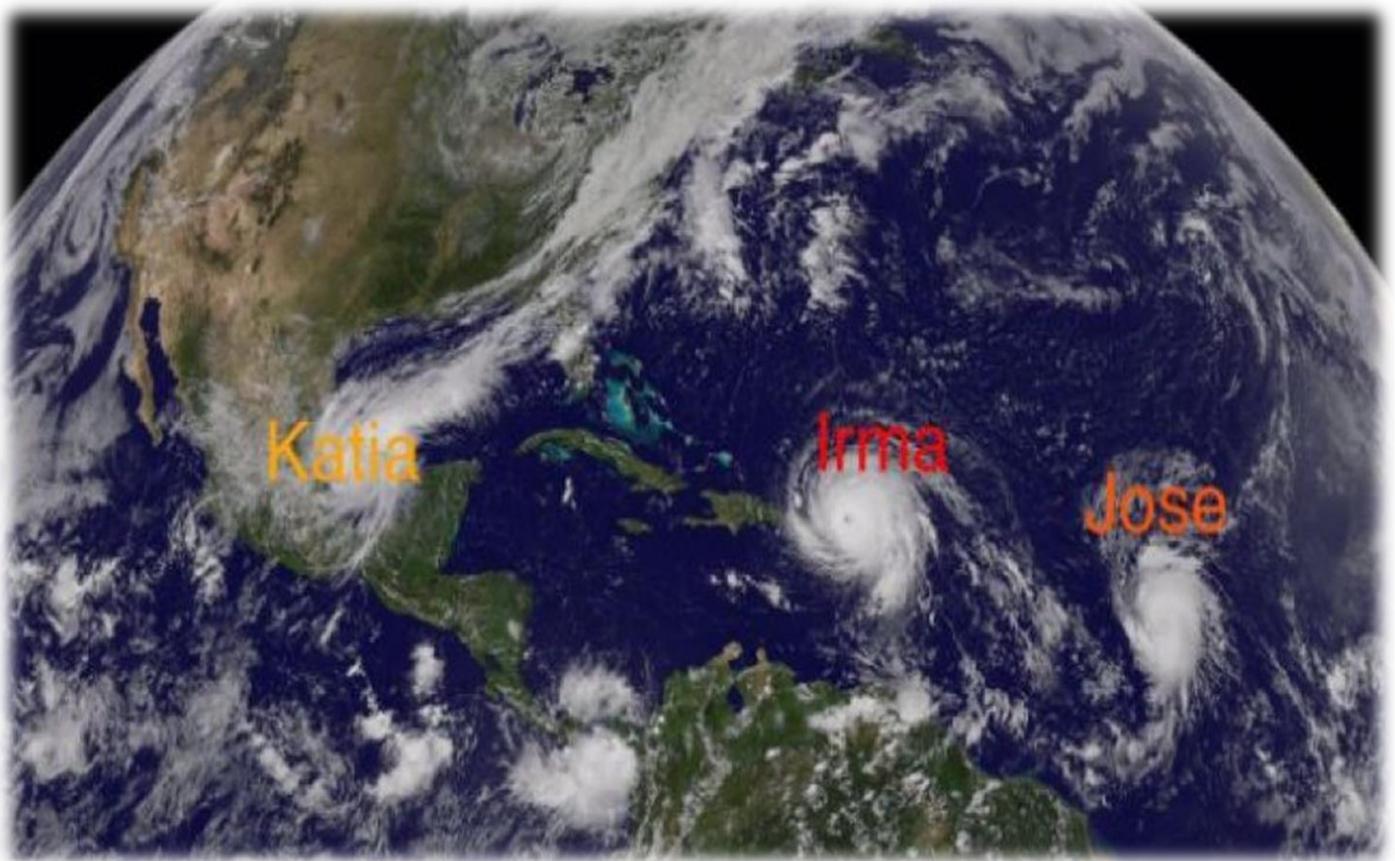
Actividades de la unidad Unidad 2. Sequias

Secuencia didáctica para lograr la actividad como evidencia de desempeño en el desarrollo de las competencias:

- 1.- Desarrollar el encuadre del módulo mediante el mapa conceptual destacando la importancia de las sequias desde el enfoque sistemático en el impacto de la acción del hombre sobre el medio ambiente.
- 2.- En equipos de trabajo o en parejas, con quien se trabajó en la unidad anterior describir el espacio geográfico de la localidad que eligieron e identificar dentro de las problemáticas de las sequias las que estén relacionadas con el ámbito social, económico, y natural dentro del contexto local, regional y nacional.
- 3.- Detectar de acuerdo al contenido de la unidad las medidas que han surgido para atender el tema de las sequias en México.
- 4.- Investigar cuáles han sido las estrategias y las propuestas para mitigar la problemática de las sequias. Posteriormente acudir a la localidad que eligieron y entrevistar a algunas personas para saber si conocen las problemáticas de las sequias que ahí se presentan, si existe algún medio de difusión del cuidado y si consideran que esas problemáticas están relacionadas al tipo de prevención en su localidad.
- 5.- Individualmente sugerir alternativas de solución a la problemática de las sequias a través de un ensayo retomando como ideas principales: El enfoque socioeconómico y espacial que la promueven.
- 6.- De acuerdo a las conclusiones del ensayo, reúnete con tu equipo y discutan ¿Cómo definirían las medidas preventivas, y qué papel juega la sociedad en este tema?
- 7.- Evaluación: todos los materiales estarán en una rúbrica diseñada y programada por el profesor, misma que será entregada a los estudiantes para que construyan su evaluación continua.
- 8.- Discusión: a través de una mesa redonda organizar una discusión tomando la temática de su ensayo, con el propósito de construir una propuesta para difundir y promover las medidas preventivas y de mitigación de las sequias.

Unidad 3

Riesgos Costeros - Ciclones tropicales.





Introducción

La unidad 3 trata sobre los riesgos costeros y los ciclones tropicales, y su impacto en las zonas de asentamientos humanos y sus actividades económicas, para ello es indispensable saber sus conceptos básicos, su génesis, trayectoria, clasificación y así como los efectos del Niño tiene con sus repercusiones negativas en México.

En los ciclones tropicales es muy importante conocer su seguimiento, pronóstico y análisis posterior a la ocurrencia para tomar las medidas necesarias para mitigar su impacto en tierra y en las áreas pobladas.

También es importante conocer que es un Tsunamis y en que regiones del planeta ocurren y en México para así tomar las medidas preventivas y de mitigación para evitar su impacto negativo en las costas y saber identificarlo cuando sucede.



3.1. Ciclón Tropical Conceptualización básica

Entre los riesgos climáticos que se originan en la superficie terrestre son, sin duda, los ciclones tropicales los de efectos más espectaculares y devastadores. Se han definido los ciclones tropicales como estructuras ciclónicas móviles que ponen en juego grandes cantidades de energía en el ámbito intertropical. Los efectos catastróficos de un ciclón tropical vienen asociados a los vientos intensos y precipitaciones torrenciales; las lluvias generadas por un ciclón tropical pueden rebasar 1.000 mm_{124 h}, como ocurrió el año 1979, en Alvin, Texas, con ocasión del huracán Claudette (1.092 mm_{124 h}). Y junto a ello, resulta letal el efecto tapón causado por la marea de ciclón en áreas de desembocadura de grandes colectores fluviales (Ganges, Mississippi) (Olcina y Pérez, 2002).

Los efectos alcanzan grado de desastre cuando los ciclones tropicales afectan franjas costeras densamente ocupadas. Un solo ciclón tropical fue capaz de ocasionar 300.000 muertos en el intervalo de pocas horas; como ocurrió, el mes de noviembre de 1970, en Bangladesh. Sin duda, este país ocupa el primer lugar de riesgo por ciclones tropicales, y ello por diversos factores: desembocadura del aparato fluvial Ganges-Brahmaputra, franja costera con terrenos bajos e inundables, incidencia de las mareas y elevada densidad de población (900 habitantes/km²) (Olcina y Pérez, 2002).

Entre los espacios geográficos de la superficie terrestres afectados por los ciclones tropicales sobresalen los sectores noroeste y noreste del Pacífico norte y Atlántico norte. Hobbs establece tres categorías de espacios vulnerables a los ciclones tropicales: a) costas bajas densamente pobladas (Bangladesh); b) áreas con elevada ocupación humana y dedicación agraria (Filipinas, islas del Caribe y de Oceanía, franja costera de China) y e) franjas costeras de países desarrollados con vocación turística (Florida, Queensland) o industrial (Texas, Japón) (Olcina y Pérez, 2002).

La necesidad de aminorar los efectos devastadores asociados a un ciclón tropical ha motivado la puesta en marcha de numerosos mecanismos de vigilancia, sistemas de alerta y programas de investigación (comités de ciclones tropicales, O.M.M.); sin duda, son los programas de defensa más costosos del conjunto de los elaborados para hacer frente a episodios atmosféricos de rango extraordinario. Asimismo, se han construido edificios anti-ciclones en países desarrollados y, con ayuda internacional, en áreas subdesarrolladas (Olcina y Pérez, 2002).

Así también, un ciclón tropical es un sistema atmosférico cuyo viento circula en dirección ciclónica, esto es, en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio sur. Como su nombre lo indica, el ciclón tropical se origina en las regiones tropicales de nuestro planeta. Como la circulación ciclónica y bajas presiones atmosféricas relativas normalmente coexisten, es común usar los términos ciclón y baja de forma intercambiable (Jiménez y otros, 2014: 4).

En latitudes templadas los ciclones son referidos como depresiones o ciclones extratropicales, y el término ciclón se usa sólo para referirse a los ciclones tropicales. Estos últimos, en su etapa más intensa, son conocidos por varios nombres, según las regiones en donde ocurren (Jiménez y otros, 2014: 4):

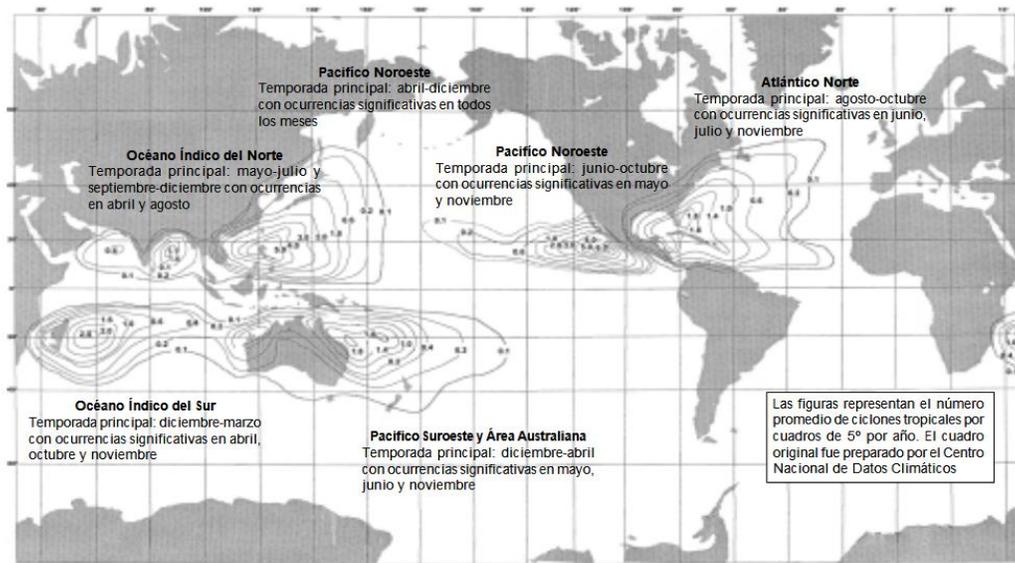
- En el océano Atlántico, golfo de México y mar Caribe son conocidos como huracanes.
- En el mar de Arabia y la bahía de Bengala como ciclones.

- En el mar de China y la costa de Japón como tifones.
- En el océano Índico, al este de Mauricio y Madagascar, como ciclones.
- En el océano Pacífico del noreste como huracanes.
- En el Pacífico Sur, al este de Australia y Samoa como huracanes y willy willy. En las Filipinas son conocidos como baguios.

Estos sistemas de tormenta exigen, al menos, dos requisitos básicos: calor y humedad; como consecuencia, sólo se desarrollan en los trópicos, entre las latitudes 5° y 30° norte y sur, en las regiones y temporadas en que la temperatura del mar es superior a los 26°C. El mapa 10 muestra el número de ciclones tropicales promedio que se presentan cada año. Los ciclones intensos están entre los más destructivos de los desastres naturales, capaces de causar graves daños a poblaciones costeras y ocasionar pérdidas humanas. Sin embargo, proporcionan precipitaciones esenciales para gran parte de las tierras que cruzan (Jiménez y otros, 2014: 4).

La energía de los ciclones tropicales proviene esencialmente del calor y la humedad que transfiere el océano al aire en los niveles bajos de la atmósfera. Mientras el centro del ciclón permanece sobre aguas cálidas (temperatura mayor a los 26°C), el suministro de energía es enorme. Mientras más y más aire húmedo se dirige hacia el centro de la tormenta para reemplazar al aire caliente que asciende rápidamente en forma de nubes, mayor calor es liberado a la atmósfera por condensación del vapor de agua y la circulación del viento continúa incrementándose (Jiménez y otros, 2014: 4).

Mapa 10. Presencia de ciclones tropicales en el mundo (las líneas indican el número de ciclones tropicales promedio que se presentan cada año)

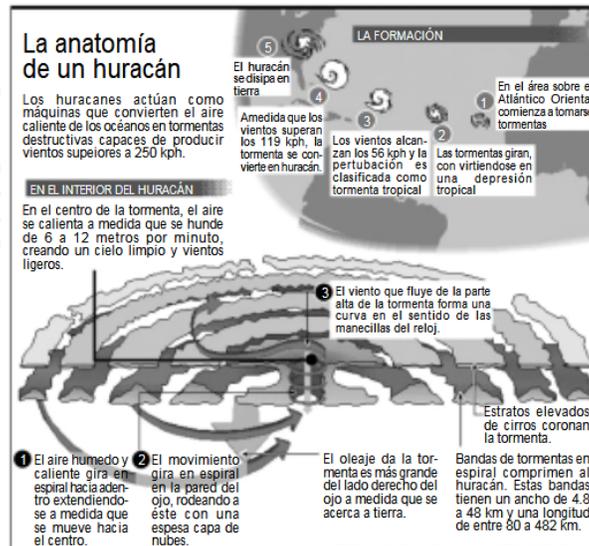


Fuente: Jiménez y otros, 2014: 5.

3.1.1 Estructura

Un esquema general de la estructura de un ciclón tropical es mostrado en la figura 14, en donde está exagerada la escala vertical; los ciclones tropicales tienen un diámetro de varios cientos de kilómetros y una altura de alrededor de 15 km (mapa 11) (Jiménez y otros, 2014: 5)

Figura 14 Estructura de un ciclón tropical



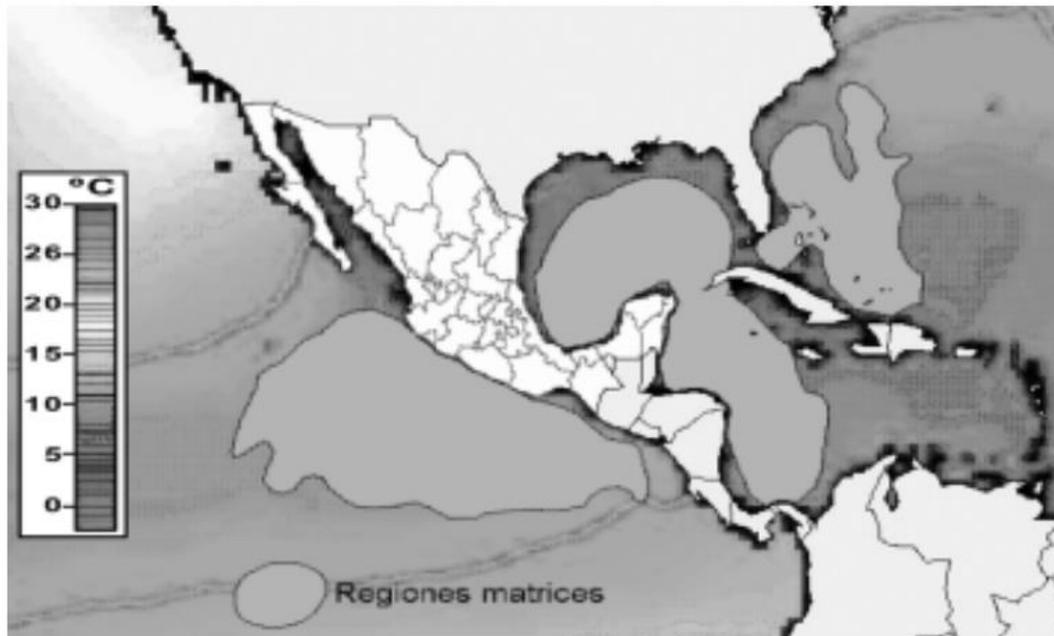
Fuente: Jiménez y otros, 2014: 5.

3.1.2 Génesis (regiones matrices)

Numerosas observaciones a lo largo del tiempo han demostrado que las condiciones necesarias para el desarrollo de tormentas tropicales y huracanes son generalmente (Jiménez y otros, 2014: 6):

- Una superficie oceánica con temperatura mayor a los 26° C.
- Cambios pequeños en la dirección y rapidez del viento con la altura en la capa de la atmósfera que va de la superficie hasta unos 15 km de altura.
- Una distribución vertical de humedad y temperatura que permita la formación de nubes cumulonimbus.
- Una perturbación inicial consistente en la existencia de una concentración de rotación ciclónica en las partes bajas y medias de la troposfera.
- Una localización en las zonas oceánicas tropicales del planeta, en donde la fuerza de Coriolis no sea demasiado pequeña, es decir, más allá de los 4 o 5 grados de latitud hacia el polo del hemisferio en que se encuentran. Generalmente se forman en latitudes entre los 5 y 25°.

Mapa 11. Regiones matrices cercanas a México (con temperatura del mar durante el mes de septiembre)



Fuente: Jiménez y otros, 2014: 6.

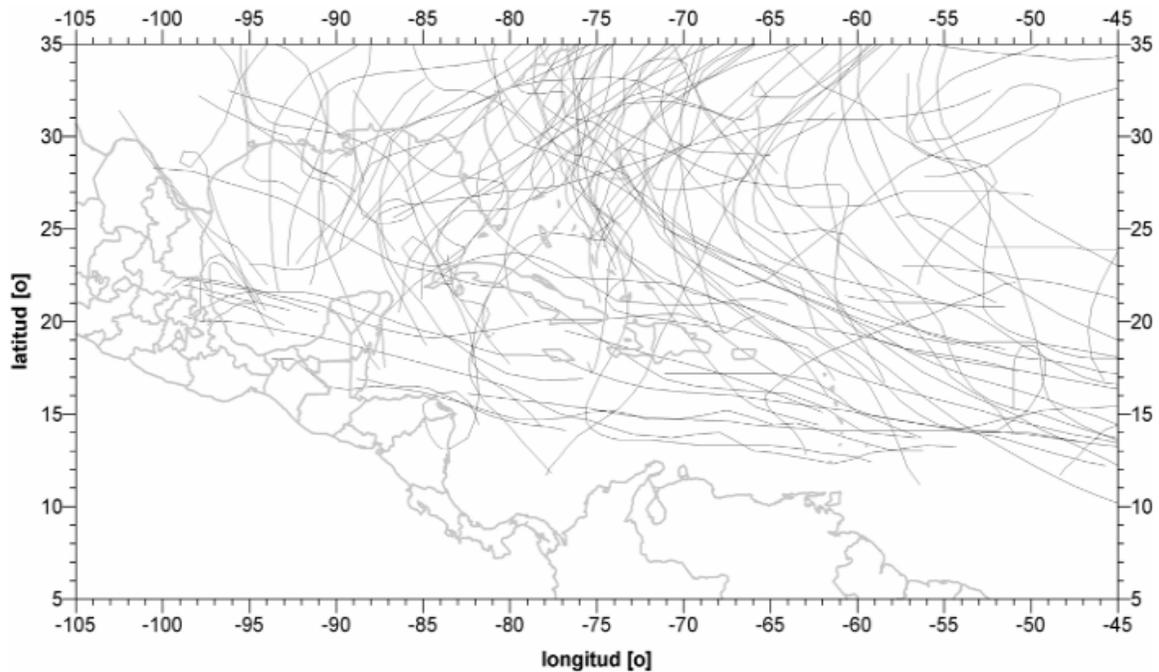
3.1.3 Trayectoria

El movimiento de los ciclones tropicales resulta, principalmente, debido a que las tormentas están sumergidas en una región de aire en movimiento de mayor tamaño, conocida como “corriente conductora”, que tiende a mover la circulación de los niveles bajos y altos y la convección de nubes cumulonimbus en la dirección de dicho flujo. El ciclón por sí mismo también es parte del flujo de gran escala, por lo cual es difícil definir la corriente conductora. El movimiento del ciclón también está influenciado por la fuerza de Coriolis que se origina por la rotación de nuestro planeta. Así mismo, ciclones grandes e intensos tienen la capacidad para modificar las condiciones del flujo atmosférico a su alrededor, lo que puede aportar una fracción importante del desplazamiento total del ciclón. Las trayectorias de los ciclones se esquematizan generalmente por una línea continua; sin embargo, es muy común encontrar oscilaciones alrededor de lo que se considera su trayectoria media. Los patrones de trayectorias más comunes de los ciclones tropicales está ilustrados en el mapa 12 y presentan una característica en común: la tendencia a moverse hacia el polo del hemisferio en que se encuentran (Jiménez y otros, 2014: 8).

Como se muestra en los mapas 11 y 12, los ciclones tropicales ocurren en las regiones del océano con aguas cálidas, excepto en el Atlántico sur. Es de hacer notar que en ambos océanos que colindan con México existe la presencia de ciclones tropicales principalmente durante los meses de verano. La temporada de ciclones, estadísticamente hablando, es del 15 de mayo al 30 de noviembre en el océano Pacífico noreste y del 1 o de junio al 30 de noviembre en el Atlántico, aunque esto no quiere decir que no se presenten ciclones tropicales fuera de temporada, incluso en meses como abril o enero (Jiménez y otros, 2014: 8).



Mapa 12. Trayectorias de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951-1960



Fuente: Rosengaus y otros, 2014: 21.

3.1.4 Clasificación

Los ciclones tropicales están entre los sistemas meteorológicos más peligrosos y destructivos de la Tierra. Mientras la estructura y funcionamiento de una tormenta tropical madura son conocidos, su origen aún no es bien entendido. La etapa antecedente de un ciclón tropical es conocida en América como Perturbación Tropical; los ciclones tropicales se caracterizan por una circulación cerrada de sus vientos y se dividen en fases de acuerdo con la velocidad de su Viento Máximo Sostenido en superficie (VMS) (ver tabla 24) (Jiménez y otros, 2014: 11).

- Depresión Tropical: VMS menor a 63 km/h.
- Tormenta Tropical: VMS entre 63 y 118 km/h.
- Huracán: VMS mayor a 118 km/h.



Tabla 24. Escala Saffir-Simpson

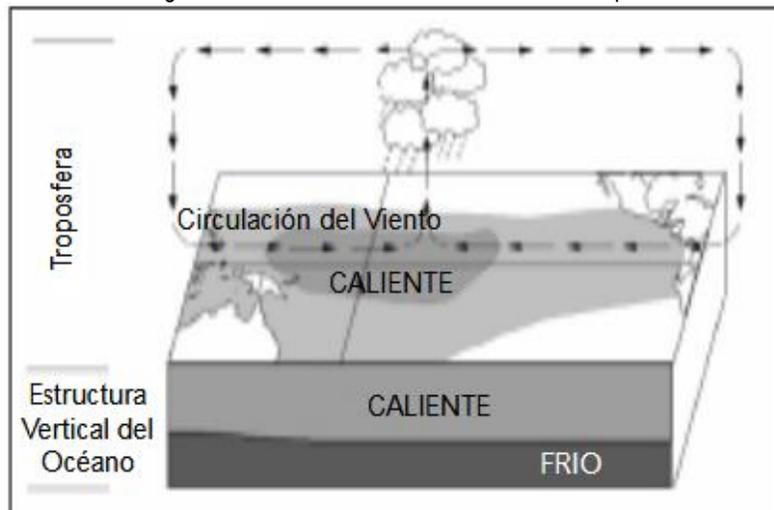
Número de la escala (categoría)	Presión central (milibarios)	Vientos (km/h)	Marea de tormenta (metros)	Daños materiales potenciales
1	Mayor a 980	119 – 153	1.2 – 1.5	Daños a casas, árboles y arbustos. Algunos daños a señalizaciones. Daños menores por inundaciones en carreteras costeras. Daños leves en muelles e insignificantes en edificios
2	965 – 979	154 – 177	1.6 – 2.4	Daños a puertas, ventanas y algunos techos de construcciones. Daño considerable a arbustos y árboles. Daño considerable a casas, a señalizaciones y a muelles. Las zonas costeras se pueden inundar de 2 a 4 horas antes de la llegada del centro del ciclón. Las embarcaciones menores pueden romper sus amarras
3	945 – 964	178 – 209	2.5 – 3.6	Se puede presentar daño estructural a construcciones. Daño a árboles y arbustos con árboles grandes caídos. Señalizaciones destruidas. Las zonas costeras se pueden inundar de 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del fenómeno. Las inundaciones costeras destruyen estructuras pequeñas y las estructuras grandes son dañadas por el oleaje. Zonas costeras que están hasta 1.5 m sobre el nivel del mar pueden ser inundadas hasta 13 kilómetros o más tierra adentro
4	920 – 944	210 – 249	3.7 – 5.5	Daño estructural más extenso a construcciones, con techos completamente dañados. Arbustos, árboles y señalizaciones totalmente arrancados. Daño extenso en puertas y ventanas. Zonas costeras inundadas de 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del ciclón. Daño mayor a los pisos bajos de construcciones cercanas a la costa. Zonas costeras que están hasta 3.0 m sobre el nivel medio del mar inundadas, por lo que se requiere una evacuación mayor de áreas residenciales hasta 10 km tierra adentro
5	Menor a 920	Mayores a 249	Mayor a 5.5	Daño total a techos de construcciones. Fallas totales en los suministros de energía. Todos los árboles, arbustos y señalizaciones arrancadas. Daño severo a puertas y ventanas. Zonas costeras pueden ser inundadas de 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del ciclón. Daños mayores a los pisos de construcciones que estén hasta 500 metros de la costa, por lo que se requiere una evacuación mayor de áreas residenciales hasta 16 km tierra adentro.

Fuente: Jiménez y otros, 2014: 11.

3.1.5 Efecto del fenómeno de El Niño en los ciclones tropicales

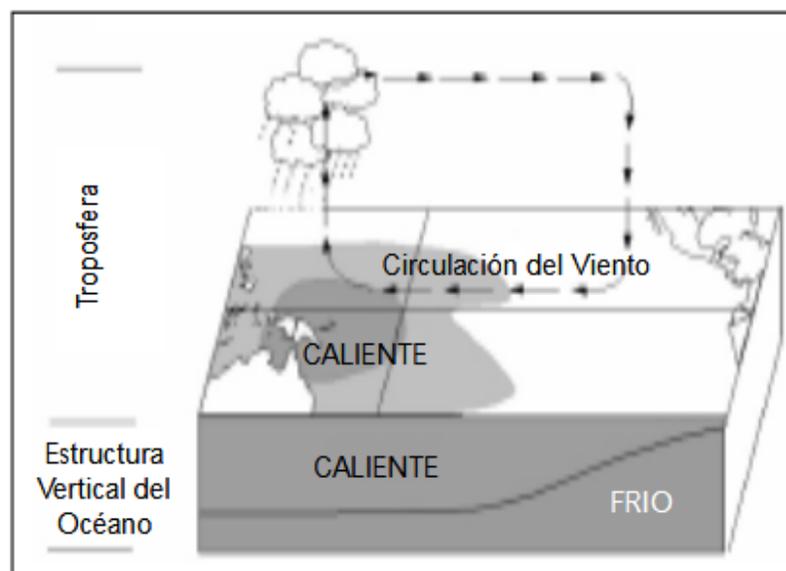
De acuerdo con estudios sobre el fenómeno de El Niño, el cual tiene un impacto sobre el clima mundial, la presencia de dicha manifestación provocaría una disminución del número de ciclones tropicales en el océano Atlántico. Por otro lado, durante el fenómeno de La Niña, es decir, la ocurrencia de un enfriamiento del mar mayor al normal frente a las costas de Perú, se observa un número parecido al promedio histórico de ciclones tropicales en el Caribe y golfo de México (10.3 al año). En el océano Pacífico no se observa un efecto en el número de ciclones tropicales, ya que el promedio histórico es de 15.2 al año (ver figura 15 y 16) (Jiménez y otros, 2014: 12).

Figura 15. Condiciones normales del Pacífico tropical



Fuente: Jiménez y otros, 2014: 12.

Figura 16. Condiciones del Pacífico Tropical durante «El Niño»



Fuente: Jiménez y otros, 2014: 12.



3.2 Efectos de los Ciclones Tropicales

La importancia y peligro de los ciclones tropicales difiere entre tierra firme y superficie marina. Sobre los océanos las actividades humanas en riesgo son primeramente instalaciones petroleras, barcos y tráfico aéreo. En tierra, se ven amenazadas las vidas y actividades humanas en ciudades, pueblos, industrias, carreteras y cultivos que se encuentran, particularmente, a lo largo de la trayectoria del ciclón tropical. En las zonas costeras, los mayores impactos de un ciclón tropical que golpea tierra se deben a la marea de tormenta, el oleaje, vientos fuertes y lluvias intensas. Históricamente y a lo largo del mundo, la marea de tormenta ha sido responsable de una mayor cantidad de daños comparada con los otros efectos. Sin embargo, el viento y la marea están concentrados dentro de unos pocos kilómetros del centro del ciclón, mientras que las lluvias intensas frecuentemente afectan áreas a cientos de kilómetros del centro de ciclón, esto es por el efecto de las bandas nubosas de la tormenta. Al mismo tiempo, es importante reconocer los aspectos benéficos de la lluvia provocada por los ciclones tropicales. Algunos ciclones que se mueven sobre regiones afectadas por periodos prolongados de sequía, pueden llegar a producir cantidades de lluvia de hasta unos 10 cm, que pueden ser importantes para mitigar las condiciones de aridez (Jiménez y otros, 2014: 13).

Lluvia. Las lluvias intensas asociadas a los ciclones tropicales en cualquiera de sus etapas, desde depresión tropical y tormenta tropical, hasta huracán, ocurren principalmente en el semicírculo derecho y pueden extenderse a grandes distancias de su región central. En huracanes muy simétricos, la lluvia suele concentrarse cerca de su centro y en todas direcciones (Jiménez y otros, 2014: 13).

Los aspectos del ciclón tropical que influyen en las lluvias torrenciales se enlistan en seguida (Jiménez y otros, 2014: 13):

1. Permanencia del centro del ciclón después de la llegada a tierra Mientras más tiempo se mantenga el sistema ciclónico en tierra, se espera una mayor cantidad de lluvia. Generalmente el ciclón que presenta una larga duración en tierra, está acompañado por una fuerte divergencia de los vientos en la parte superior y una convergencia de los vientos que favorece la humedad en los niveles bajos de la Troposfera.
2. Desplazamiento. Si el ciclón tropical se estaciona o se mueve con lentitud, en la proximidad del continente o después de impactar a éste, la ocurrencia de núcleos de lluvia fuerte sobre un mismo lugar puede causar inundaciones.
3. Suministro continuo del vapor de agua. En determinadas condiciones la cantidad de vapor de agua que ingresa en los niveles bajos del ciclón tropical es más grande, por lo que al entrar a tierra ocurren lluvias fuertes. Por ejemplo, el huracán Camille en 1969 produjo 787.5 mm en 5 horas sobre el estado de Virginia, cuando su banda nubosa interactuó con un cinturón de nubes cúmulo nimbus originada cerca del Ecuador, el cual mantuvo un flujo constante de vapor de agua.
4. Interacción de un ciclón tropical con un fenómeno de latitudes medias Dado que la atmósfera es una capa de gases que rodea al planeta, la intensidad, el tamaño, la duración y distribución asimétrica de las bandas de lluvia o la llegada a tierra de un ciclón tropical, puede estar afectada por fenómenos térmicos y dinámicos de latitudes medias. En



particular, el flujo de aire frío sobre el ciclón tropical favorece la generación de lluvias torrenciales y éste puede aumentar la intensidad del ciclón tropical.

5. Configuración del terreno La configuración de la línea de costa, las montañas y las islas son elementos fundamentales sobre la estructura de un ciclón tropical. Ello se debe a la fricción que ejerce y reduce la velocidad de desplazamiento del ciclón. Por otra parte, los movimientos ascendentes y la diferencia de los flujos superficiales de calor y humedad, durante su paso a través de las montañas incrementan la cantidad de lluvia. (Figura 17).

- Viento

Los vientos de los ciclones tropicales son bastante fuertes a partir de que alcanzan una velocidad de alrededor de 63 km/h, lo cual es conocido como vientos con «fuerza de tormenta tropical». Por este motivo, se recomienda que todos los planes de evacuación y de aseguramiento de propiedades deban haber sido terminados antes de la llegada de ese tipo de viento. Los vientos con «fuerza de huracán» son aquellos con una velocidad mayor a los 118 km/h, que pueden destruir construcciones débiles y voltear camiones. Cualquier objeto suelto que es arrastrado por vientos de esta intensidad puede convertirse en un proyectil capaz de causar daños importantes; es común encontrarse con daños por viento tales como árboles, torres y líneas eléctricas derribadas. Los edificios altos que se encuentren expuestos a la fuerza directa del viento suelen ser dañados sobre todo en cuanto a la ruptura de vidrios y ventanas, cuyos restos salen volando y caen al suelo con gran fuerza (ver fotografía 7) (Jiménez y otros, 2014: 17).

Los vientos más intensos generalmente ocurren cerca del centro del ciclón tropical, y pueden ser especialmente peligrosos en uno de sus cuadrantes cuando la velocidad de traslación del ciclón es alta. La velocidad de los vientos en un ciclón tropical tiende a decaer en unas pocas horas cuando éste se aparta de su fuente principal de alimentación, que son las aguas cálidas del océano (Jiménez y otros, 2014: 17).

Fotografía 7. Los vientos intensos de un ciclón tropical pueden generar daños estructurales a las edificaciones



Fuente: Jiménez y otros, 2014: 17.

- Oleaje

El oleaje en el océano puede ser causado por diferentes tipos de factores, desde el paso de embarcaciones hasta fenómenos tales como terremotos submarinos. Sin embargo, la causa más común del oleaje es el viento. Cuando el viento pasa sobre la superficie del agua, la fuerza de fricción ocasiona que se formen ondas. La altura del oleaje se define como la distancia vertical que existe entre el punto más alto de la ola (cresta) y su punto más bajo (valle), fotografía 8. Los factores que determinan la altura del oleaje son la fuerza del viento, la distancia que mantiene ese viento y su duración (Jiménez y otros, 2014: 18).

Fotografía 8. Efecto del oleaje por el ciclón tropical Kenna en Puerto Vallarta, 2002

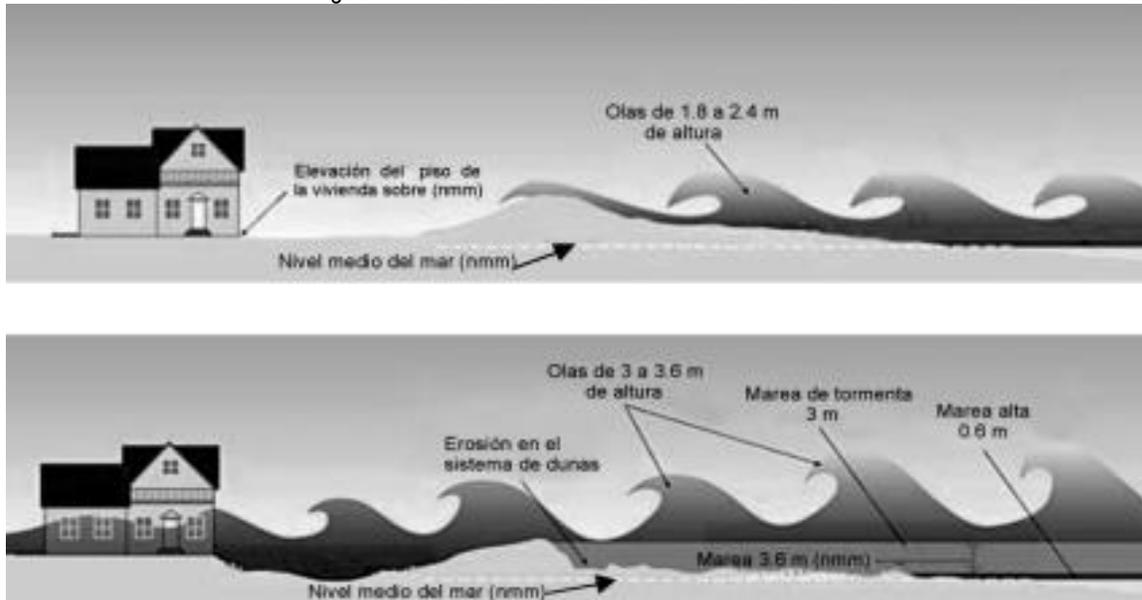


Fuente: Jiménez y otros, 2014: 18.

- Marea de tormenta

La disminución de la presión atmosférica del centro del ciclón tropical y los vientos de este fenómeno sobre la superficie del mar originan un ascenso del nivel medio del mar que es conocido como marea de tormenta. Ella puede provocar inundaciones en las zonas bajas continentales cercanas al mar y que las olas impacten sobre estructuras costeras (ver figura 17) (Jiménez y otros, 2014: 20).

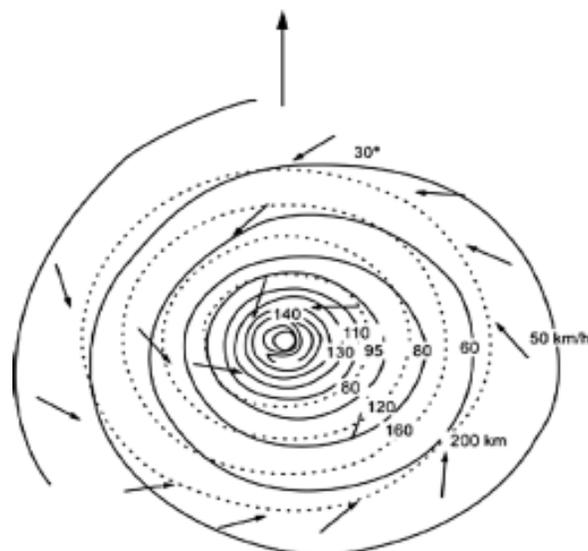
Figura 17. Efecto de incremento del nivel medio del mar



Fuente: Jiménez y otros, 2014: 20.

La marea de tormenta se puede calcular a partir de la magnitud y dirección de los vientos que actúan en la superficie del mar. Estos vientos son casi nulos en el centro, luego aumentan radialmente hasta alcanzar un máximo (a una distancia del orden de los 50 km del ojo), para que, posteriormente, disminuyan gradualmente a medida que se alejan de dicho centro. Los vientos se dirigen hacia el centro del ciclón en dirección contraria al movimiento de las manecillas del reloj. Ellos forman un ángulo de aproximadamente 30° respecto a la dirección tangente de círculos concéntricos del ciclón tropical que señalen su distancia al ojo de este meteoro (ver figura 18). Cuando la dirección de los vientos es hacia la costa y ésta tiene la forma de una bahía, es mayor la sobreelevación del nivel medio del mar (Jiménez y otros, 2014: 21).

Figura 18 Campo de vientos de un ciclón tropical (las líneas punteadas son circunferencias perfectas para acentuar la asimetría del campo de viento)



Fuente: Jiménez y otros, 2014: 21.



- Beneficios

A pesar de que los ciclones tropicales pueden causar muchos daños por efecto del viento, oleaje, lluvia y marea de tormenta, gracias a la precipitación producida, es factible que las presas se llenen y los acuíferos se recarguen, facilitando con ello el suministro de agua para el consumo humano, la agricultura y la generación hidroeléctrica. Los beneficios obtenidos pueden durar varios años. Por ejemplo, una sequía grave en Texas terminó por las lluvias del Huracán Allen y la Tempestad Tropical Danielle en el verano de 1980. Otros ejemplos son que los ciclones tropicales pueden desalojar contaminantes de bahías y también que en ocasiones, la arena pueda ser llevada de la plataforma continental a las playas (Jiménez y otros, 2014: 23).

En México, el huracán Gilbert de 1988 ayudó a incrementar el almacenamiento de algunas presas del noreste del país, de modo que se mitigaron los riesgos por falta de abastecimiento de agua potable en años posteriores, principalmente a la ciudad de Monterrey. De manera parecida, Juliette, del 2001, ayudó a la recarga de acuíferos tales como los de Baja California Sur y de Sonora (Jiménez y otros, 2014: 23).

3.3 Seguimiento, pronóstico y análisis posterior a la ocurrencia de un Ciclón Tropical

Seguimiento El conocimiento del desarrollo, movimiento y estructura básica de un ciclón tropical es importante para identificar las áreas donde es posible la ocurrencia de afectaciones; esta información puede ser utilizada con la finalidad de tomar las decisiones pertinentes para evitar la pérdida de vidas humanas y daños materiales. Con este motivo se emiten y distribuyen una numerosa cantidad de avisos en forma gráfica y textual por parte de las oficinas meteorológicas en el mundo; en particular, en México emite boletines el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua, así como la Dirección General de Protección Civil y el Centro Nacional de Prevención de Desastres, ambos de la Coordinación General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación. A nivel internacional, los boletines sobre el estado del tiempo se pueden obtener a través del Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos, en su análisis del tiempo para las regiones tropicales, donde se mencionan las características generales de los sistemas meteorológicos que se observan a través de los diversos sistemas de detección y seguimiento, como son las imágenes de satélite, imágenes de radar, radiosondeos y observaciones en superficie (Jiménez y otros, 2014: 24).

- Satélites meteorológicos

Debido a las características de los huracanes, su observación se debe hacer desde un punto de vista que ofrezca la mejor perspectiva; esto sólo es posible desde el espacio exterior. Para lograrlo, en un tiempo relativamente breve se ha desarrollado una tecnología de satélites especiales para meteorología. Estos satélites se dividen en dos grandes grupos (Jiménez y otros, 2014: 24):

- De órbita polar; giran alrededor de la Tierra a altitudes comprendidas entre 700 y 1,000 kilómetros.
- Geoestacionarios; ocupan una posición fija por encima del ecuador, a aproximadamente 36,000 kilómetros.



La información captada por los satélites se transmite a centros meteorológicos, que la procesan e interpretan para mantener informada a la población acerca del surgimiento y las características de los huracanes. En una estación de imágenes de satélite meteorológico se utiliza un sistema de telecomunicaciones que concentra e intercambia datos nacionales e internacionales (Jiménez y otros, 2014: 24).

- Vuelos instrumentados

Actualmente en los Estados Unidos se usan aviones caza huracanes para estudiar las condiciones dentro de los ciclones. Estos aviones son de gran utilidad para pronóstico de la trayectoria del ciclón, pues en tiempo real hacen mediciones de las variables más importantes del fenómeno (Jiménez y otros, 2014: 25).

Mareógrafos, ológrafos El mareógrafo es un instrumento utilizado para registrar las oscilaciones del nivel medio del mar debido a la marea. Este equipo generalmente se encuentra dentro de una caseta cercana al mar o en el interior de un pozo o tubo comunicado con el mar, como vasos comunicantes. Los principales tipos de mareógrafos son (Jiménez y otros, 2014: 25).

- Flotador
- Ultrasonidos.

El ológrafo es un instrumento que registra el cambio de la elevación de la superficie del mar en lapsos de pocos segundos. Puede consistir de un tubo, un imán permanente o eléctrico, un sistema mecánico de la alineación del tubo y una fuente de alimentación (Jiménez y otros, 2014: 25).

- Estaciones de medición de caudal

Es también importante la medición de escurrimientos en ríos, ya que da una idea del peligro que tienen éstos para las poblaciones asentadas en las márgenes de los ríos, incluso a kilómetros de donde se originaron las lluvias más intensas, (ver fotografía 19) (Jiménez y otros, 2014: 26).

Fotografía 19. Estación hidrométrica en el río Tecolutla, Veracruz



Fuente: Jiménez y otros, 2014: 26.



En México existe un organismo oficial encargado de dar seguimiento a los ciclones tropicales que nos puedan afectar. A continuación se describe su misión y algunas de sus redes de observación (Jiménez y otros, 2014: 26).

- Servicio Meteorológico Nacional

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN), dependiente de la Comisión Nacional del Agua, trabaja de manera coordinada con la Secretaría de Gobernación, con el objeto de proporcionar información sobre la existencia de fenómenos meteorológicos al Sistema Nacional de Protección Civil, así como a los medios de comunicación, antes, durante y después de la ocurrencia de aquéllos que puedan incidir en los escurrimientos de ríos y en aprovechamientos hidráulicos, para prevenir daños por crecientes y proteger contra inundaciones a la población y áreas productivas (Jiménez y otros, 2014: 26).

El SMN opera diversas redes de observación distribuidas estratégicamente en el país (Jiménez y otros, 2014: 26-27):

1. Red de estaciones de radiosondeo Tiene como propósito conocer el comportamiento de la atmósfera superior. Los datos obtenidos se utilizan en los modelos numéricos para pronósticos meteorológicos y seguimiento de fenómenos hidrometeorológicos severos. La red está constituida por 16 estaciones con tecnología de Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés).
2. Red de observatorios sinópticos Esta red está constituida por 80 observatorios sinópticos. Los observatorios funcionan de manera continua durante las 24 horas del día, registrando parámetros meteorológicos y climatológicos a cada hora, los cuales se transmiten al Centro Meteorológico Mundial, en Washington, D. C., E. U. A., cada tres horas, como parte del programa de Vigilancia Meteorológica Mundial de la Organización Meteorológica Mundial.
3. Red de estaciones hidroclimatológicas automáticas (EHCA's) Red integrada por 60 EHCA's. Proporciona información de parámetros hidroclimatológicos prácticamente en tiempo real, tales como temperatura, humedad relativa, precipitación pluvial, presión barométrica, radiación solar, así como velocidad y dirección del viento. Los registros se transmiten vía satélite al SMN en México, D. F., así como al centro Meteorológico Mundial, en Washington, D. C.
4. Receptores de satélites meteorológicos Su propósito consiste en vigilar, a nivel hemisférico, el nacimiento y desarrollo de sistemas meteorológicos severos, para informar con toda oportunidad al Sistema Nacional de Protección Civil. La red está integrada por siete receptores de los satélites meteorológicos de órbita geoestacionaria GOES-8 y GOES-10, así como de un receptor de los satélites de órbita polar NOAA-11, 12 y 14.
5. Red de radares meteorológicos Consta de 12 radares meteorológicos, los cuales se utilizan para dar seguimiento y estimar la intensidad de las lluvias ante la ocurrencia de tormentas, ciclones tropicales y eventos meteorológicos en general.



- Pronóstico

En la actualidad las oficinas de pronóstico meteorológico son capaces de emitir avisos en forma de texto y en forma gráfica sobre la evolución más probable de los ciclones tropicales. Hay pronósticos de la trayectoria dados en términos de la latitud y la longitud del centro del ciclón, de tal forma que pueda ser trazada en un mapa, y hay pronósticos de intensidad del fenómeno, dado en términos del viento máximo sostenido. Estos pronósticos normalmente se emiten para las condiciones del ciclón a 12, 24, 36, 48 y 72 horas a partir de la hora de emisión, y se emiten cada seis horas a lo largo del día; cuando un ciclón tropical amenaza tierra, se puede incrementar el número de avisos, emitiéndose con mayor frecuencia. A partir del año 2003, el Centro Nacional de Huracanes, con sede en Miami, E. U. A., pronostica la trayectoria del ciclón hasta 120 h (cinco días), ya que la incertidumbre actual en el pronóstico a cinco días es la misma que se tenía hace 20 años con el pronóstico a tres días. Para mayor información se puede consultar la página de Internet del Centro Nacional de Huracanes de los E. U. A., en la dirección: <http://www.nhc.noaa.gov/> (Jiménez y otros, 2014: 27).

También se puede obtener información acerca de la estructura básica del ciclón, la cual puede ser descrita mediante el radio de extensión de los vientos de 63, 93 y 118 km/h (34, 50 y 64 nudos respectivamente) en los cuadrantes de la tormenta correspondientes a las direcciones Noreste, Sureste, Suroeste y Noroeste relativos a su centro. Los modelos meteorológicos que permiten la emisión de estos pronósticos están basados en observaciones de ciclones tropicales a lo largo del tiempo y usan esa información de forma estadística, o también existen los modelos que consideran las condiciones físicas de la atmósfera en un momento determinado, como son condiciones de viento, humedad, temperatura y presión atmosférica, y las analizan por medio de complejos modelos matemáticos. Actualmente se utilizan hasta diez modelos de pronóstico, que se pueden clasificar en varios grupos (Jiménez y otros, 2014: 27):

- a) Persistencia
- b) Climatología
- c) Regresión de predictores
- d) Dinámicos
- e) Criterios subjetivos guiados

De estos pronósticos un grupo de expertos decide una trayectoria promedio. Adicionalmente se estima la incertidumbre del ciclón para algún punto en particular con base en la información histórica disponible (Jiménez y otros, 2014: 27).

- Análisis posterior a la ocurrencia de un ciclón tropical

Mucho de la ocurrencia de los desastres naturales estriba en la falta de preparación, tanto de autoridades como de la población, ante la ocurrencia de un fenómeno natural tan destructivo como lo es un ciclón tropical. La preparación está, en sumo grado, basada en las experiencias vividas con el fenómeno y del registro que se tenga de los efectos y su ubicación, así como de los daños, y de la misma respuesta de la población y autoridades en aquel entonces. Tal registro es deseable que se realice de una manera racional y siguiendo una metodología que permita comparar sus resultados



en el futuro, para saber si se ha logrado un avance en el manejo de la emergencia (Jiménez y otros, 2014: 28).

En el libro *Efectos Destructivos de Ciclones Tropicales*, del Dr. Michel Rosengaus, se presenta una exposición sobre este tema tan importante que puede servir de guía para autoridades y estudiosos de los ciclones. En general se debe reunir información sobre los siguientes puntos (Jiménez y otros, 2014: 28):

1. Mediciones de las variables más importantes de las manifestaciones del ciclón.

Trayectoria y evolución de la intensidad del ciclón. Modelos conceptuales de viento, oleaje, marea de tormenta y precipitación pluvial. Lo anterior implica contar con mediciones de la velocidad de los vientos, de la presión atmosférica, del oleaje en aguas profundas y costeras (con ayuda de olómetros u ológrafos, o con la observación de personas entrenadas y con la ayuda de escalas), de la marea de tormenta (con mareógrafos u ológrafos costeros, así como también de personas entrenadas), de la lluvia (con pluviómetros y pluviógrafos) y, finalmente, de caudales en ríos. Mucha de la información anterior se puede conseguir en la Comisión Nacional del Agua (CNA). La ventaja de recurrir a la CNA es que ésta concentra gran parte de la información a través del Servicio Meteorológico Nacional y de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos; sin embargo, se pueden usar estaciones medidoras adquiridas en el mercado con un precio moderado, con la ventaja de tener acceso a la información en cualquier momento.

2. Recopilación de la información de daños. Personal capacitado se debe trasladar lo antes posible al lugar por analizar. La entrevista con personas que presenciaron el evento es una de las actividades a realizar. Uno de los objetivos de este personal será el de establecer momentos de falla de aquellas estructuras que no soportaron el embate de las fuerzas de los ciclones.

Establecer la ubicación geográfica de los daños. Debido al área tan extensa que pueda afectar un ciclón se hace indispensable que diferentes brigadas cubran dicha zona. Para agilizar la captura de esta información se sugiere el uso de sistemas de información geográficos y de geoposicionadores, conocidos como GPS por sus siglas en inglés. En todo caso se debe ir al lugar con mapas de la zona y equipo de documentación fotográfica o videográfica, así como equipo de seguridad. También es útil realizar recorridos aéreos y por supuesto, por tierra. Recopilación de pérdidas económicas. La debe realizar un tipo de especialista diferente al anterior, con un perfil social, ya que se trata de entrevistar a las diversas instancias de gobierno locales para reunir sus estimaciones de pérdidas y poder presentar posteriormente cifras generales de los posibles decesos y de los daños.

- Alertamiento de Ciclones Tropicales. Sistema de Alerta Temprana de Ciclones Tropicales (SIAT-CT)

Esta metodología es una guía para las autoridades de Protección Civil a escala federal, para la determinación de fases de alertamiento por ciclón tropical en la República Mexicana. La versión del Sistema de Alerta Temprana (SIAT) para ciclones tropicales elaborada en el año 2000, fue mejorada quedando una nueva versión denominada SIAT - CT 2003, la cual considera dos fases; la de acercamiento del ciclón tropical (para la activación, señalando el tipo de aviso que corresponda cuando se aproxime o entre a territorio nacional el meteoro) y la de alejamiento (para la desactivación, dando el tipo de aviso que corresponda cuando se disipe o se aleje del país). Para cada fase se emplea una tabla distinta (Jiménez y otros, 2014: 29).



El SIAT-CT 2003 considera la extensión en planta del ciclón tropical. Para ello se emplea una escala ponderada con la Saffir-Simpson que se llamará escala promedio. La escala promedio se obtiene del promedio de la escala Saffir-Simpson y de una de circulación, basada en el campo de acción de los vientos con intensidad igual o mayor a una tormenta tropical (63 km/h). Se considera el hecho de que cuando se trate de una depresión o una tormenta tropical el valor de la escala Saffir-Simpson es de cero, mientras que el de circulación puede ser mayor que cero (ver tabla 25) (Jiménez y otros, 2014: 29).

Tabla 25. Tabla de acercamiento / Parte delantera del ciclón (activación de las señales de aviso)

Promedio de Escalas	detección o más de 72	72 a 60 horas	60 a 48 horas	48 a 36 horas	36 a 24 horas	24 a 18 horas	18 a 12 horas	12 a 6 horas	menos de 6 horas
0 a 0.99	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
1 a 1.99	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
2 a 2.99	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
3 a 3.99	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
4 a 4.99	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
5	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red

Promedio de Escalas	0 a 100 km	100 a 150 km	150 a 200 km	200 a 250 km	250 a 300 km	300 a 350 km	350 a 400 km	400 a 500 km	500 a 750 km	mayor a 750 km
0 a 0.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
1 a 1.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
2 a 2.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
3 a 3.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
4 a 4.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
5	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue

Fuente: Jiménez y otros, 2014: 29.

3.4 Erosión Costera

Intuitivamente entendemos que existe erosión costera cuando, comparando dos estados de una playa en dos momentos distintos, la línea de orilla está retranqueada hacia tierra en el estado más moderno. Pero, siendo cierto esto (de la Peña y Sánchez, 2008: 6).

¿Podemos afirmar que existe erosión costera con esta simple observación?. Ciertamente no, ya que este retranqueo puede deberse a multitud de causas estacionales, y aun suponiendo una constancia en el tiempo de este retroceso, habría que matizar mucho si a ese estado es realmente erosivo, ya que pudiera suceder que el sedimento de la playa que antes estaba en su zona seca, se haya movido a la zona sumergida, o que exista un desequilibrio sedimentario a lo largo de todo el sistema litoral. Por lo que solamente se puede afirmar que existe erosión cierta de una costa cuando el sistema litoral en su conjunto ha perdido sedimento, claro que para ello debemos conocer qué se entiende por sistema litoral.

Una playa cualquiera no es un elemento aislado en el conjunto del litoral, sino que forma parte de un tramo y una franja de costa, en la que cualquier cambio en dinámica litoral en un punto, afecta al resto, con mayor o menor importancia (de la Peña y Sánchez, 2008: 6).

Por tanto, la playa se encuentra inmersa y condicionada por una unidad mayor denominada Sistema Litoral. La costa se puede fragmentar en espacios independientes o unidades fisiográficas, no existiendo transporte litoral longitudinal de sedimentos de una unidad fisiográfica a otra, esto es; no existe paso de sedimentos significativo entre una unidad y la adyacente. Esta unidad fisiográfica con los sumideros y



fuentes de material componen un Sistema Litoral, formando una unidad de costa independiente respecto a la dinámica litoral (de la Peña y Sánchez, 2008: 6-7).

El sistema litoral, y su unidad fisiográfica, se puede, a su vez, zonificar, dividiendo su costa en tramos que tienen básicamente las mismas características respecto a la dinámica litoral, actuando y reaccionando, por tanto, de manera similar cada zona. Cuando sí existe paso de sedimentos de un tramo de costa al contiguo, pero la cantidad que pasa es pequeña respecto a lo transportado dentro el tramo, se puede hablar de subunidades fisiográficas, siendo pocas o muy poco sensibles las zonas de una subunidad a las alteraciones de la adyacente (de la Peña y Sánchez, 2008: 8).

El sistema litoral se encuentra limitado también hacia el mar, sus límites vienen definidos por la profundidad en la que los agentes climáticos marinos, especialmente el oleaje, tienen la capacidad de movimiento de sedimento, a partir de la cual el sedimento no lo mueve el oleaje. Esta profundidad es la llamada profundidad de cierre máxima. El sistema litoral puede entenderse que se extiende a aquellas zonas que sin estar dentro de la acción dinámica de los agentes marinos, sí actúa directamente sobre esta zona aportando sedimentos al sistema, fuentes, como son las cuencas de los cauces fluviales, o las que lo retraen del sistema, sumideros, como son algunos fondos marinos, bahías, etc. (de la Peña y Sánchez, 2008: 8).

Esquema de un sistema litoral

Una vez que ya sabemos qué es un sistema litoral y una unidad fisiográfica, se puede definir un esquema muy sencillo para analizar, con una cierta rigurosidad, si una playa o una costa está o no en erosión (de la Peña y Sánchez, 2008: 8):

1.- En el tiempo

- a.- Cíclica
- b.- Onda erosiva
- c.- Continua o constante

2.- En el espacio

- a.- Generalizada (sistema litoral)
 - Falta de sedimento
 - Alteraciones del medio
 - Cambio en los agentes
- b.- Parcial
 - 1.- Desequilibrio del sistema litoral
 - Cambio en la morfología
 - a.- Barreras transporte longitudinal
 - b.- Barreras transporte transversal
 - Cambio de los agentes
 - Incidentes climáticos
 - 2.- Inicio de erosión generalizada
 - Falta de sedimento
 - Alteraciones del medio



- Cambio en los agentes

- Erosión en el Tiempo

En ocasiones confundimos la erosión con los diversos estados naturales cíclicos de la playa. En periodos donde se producen temporales, u oleajes con cierta intensidad, la línea de orilla retrocede y la anchura de playa seca es menor, y no por ello se ha perdido sedimento, sino que está en otra zona de la playa, la playa sumergida, formado barras, escalones o bajos. Pero en periodos donde hay poco oleaje, o de bonanza, gran parte del sedimento que estaba en la zona sumergida de la playa, se acumula en la playa seca, o zona emergida, alcanzando ésta su mayor anchura; y se tiende a pensar muy frecuentemente que ésta es la anchura normal de la playa y no, como es en realidad, la máxima en un periodo de bonanza, pero no su única anchura natural (de la Peña y Sánchez, 2008: 8).

Estos dos estados extremos de la playa, bonanza y temporal, coexisten cíclicamente en el tiempo: de un estado de bonanza, se pasa a otro de temporales que hacen variar la playa para transformarse en un elemento disipativo de la energía más eficaz, lo que provoca una reducción de anchura de playa seca y un aumento de su zona mojada, con plataformas en la playa sumergida de pequeño calado que provoca las típicas roturas sucesivas de oleaje; finalizado el periodo de temporales, el mar va devolviendo lentamente la arena depositada en los fondos de la playa sumergida a la playa seca para conformar una playa típica de periodo de bonanza. Suele ocurrir que la velocidad de cada uno de las transformaciones es diferente; siendo más rápido la formación de playa de temporal que la formación de playa de bonanza, lo que no debe confundirse con pérdida de playa (de la Peña y Sánchez, 2008: 8-9).

Un fenómeno, desgraciadamente, frecuente en nuestras costas y en las de todo el mundo son las llamadas ondas erosivas. No es una onda en sí, sino que se produce en largas alineaciones de playa cuando, normalmente por falta o reducción drástica de la fuente de alimentación del trasporte sólido litoral, el tramo comienza a erosionarse por un extremo del tramo, no notándolo el resto de la playa; existiendo un punto donde no hay ni avance ni retroceso, para, a partir de ese punto, la playa se comporta como si no hubiera ocurrido nada (de la Peña y Sánchez, 2008: 9).

Transcurrido un tiempo ese punto que separa la zona erosionada de la que ni siquiera se ha enterado, va avanzando; llamando a ese avance en el tramo en erosión como "onda erosiva". La explicación de cómo un tramo de playa no se entera de lo que le pasa al resto es bien sencilla: la pérdida de aporte de la fuente, la suple la propia playa en su extremo más cercano a ella, por lo que le llega al resto de la playa la cantidad de material suficiente; pero ese tramo que suple a la fuente se va agotando y transmitiendo a su alledaño esa descompensación, necesitando de nuevos aportes que los realiza el tramo alledaño, y así sucesivamente. En este caso sí existe una erosión real que se va transmitiendo en el tiempo a lo largo de la playa (de la Peña y Sánchez, 2008: 9).

Cuando la playa no es de gran longitud, o existe un importante transporte transversal neto hacia el mar, entonces la línea de orilla erosionada se va retranqueando hacia tierra a la vez, produciéndose una erosión continua y constante, pudiéndose valorar en el número de metros de disminución de anchura de playa seca al año (de la Peña y Sánchez, 2008: 9).



3.5 Inundación Costera

La inundación de las tierras bajas por el mar puede ser consecuencia del desbordamiento y/o ruptura de las estructuras de protección, tales como diques o barreras naturales, como las dunas costeras. También puede ser causada, y suele ocurrir en estuarios, únicamente por la elevación del agua a marea alta (CORIMAT, 2017).

La inundación en el litoral puede ser causada por una fuerte tormenta (onda de tormentas o inundación de marea) conduciendo a una cota de marea inhabitual, una marea viva, o una combinación de ambas. En zonas de desembocadura, los efectos pueden ser mayores si coincide con una crecida de los ríos: cuando las aguas continentales se encuentran con altos niveles del mar, el agua no se puede descargar al mar y se extiende en los terrenos más bajos. Sin embargo, un lento aumento en el nivel del mar, como el causado por el cambio climático global, no necesariamente conduce a un aumento de la inundación en estuarios ya que la sedimentación vertical que se da en estas zonas a marea alta es a veces suficiente para compensar el aumento del nivel del nivel del mar (CORIMAT, 2017).

Las inundaciones en el suroeste de Holanda, en la noche del 31 enero al 1 de febrero de 1953 marcaron una diferencia: más de 2.500 muertos, 160.000 hectáreas de tierras inundadas, muchos edificios destruidos o dañados. Este desastre hizo que el gobierno desarrollara el plan Delta, un gran programa de protección del país, donde 1/3 de la superficie está por debajo del nivel medio del mar (CORIMAT, 2017).

La tormenta Xynthia, que ha afectado a gran parte de las costas europeas del Atlántico entre el 26 febrero y 1 de marzo de 2010, no tenía una singularidad especial. Sin embargo, ha sido una de las más devastadoras de los últimos años debido a su combinación con una marea alta de aguas vivas (coeficiente 102), provocando una cota de marea inhabitual importante (1,50 m en la costa de Vendée, en Francia). La tormenta provocó la muerte a 59 personas y daños cuantiosos, sobre todo en Francia. El elevado número de muertes en Francia (47) abrió el debate de la urbanización en la zona costera, el mantenimiento de diques y los sistemas de alerta existentes en la zona desde hace algunos años (CORIMAT, 2017).

En el marco de la legislación europea y las prácticas de planificación y urbanización responsables, los gestores y urbanistas del litoral deben tener en cuenta las inundaciones costeras en el momento de planificar las intervenciones en el litoral, de lo contrario desastres como los de 1953 y 2010 podrían ser aún más letales en el futuro (CORIMAT, 2017).

La marea de tormenta del 9 de noviembre de 2007 fue un recordatorio oportuno del riesgo siempre presente, lo que llevó al nivel de agua más alto de los últimos 50 años a lo largo de algunas de las costas de Europa, sobre todo en áreas como el mar del Norte y de Irlanda. En los Países Bajos, este evento dio lugar a la aplicación de una operación de vigilancia de los diques a gran escala por primera vez en 30 años. La marea también causó una considerable erosión en algunas de las islas Wadden así como pequeñas inundaciones de algunas zonas portuarias. Las obras de defensa contra las mareas de tormenta, tales como la barrera del Támesis y la barrera Maeslant se cerraron, y se evacuó a cientos de personas (CORIMAT, 2017).



- Estudios sobre la vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas al cambio climático

Precisamente sobre todos los asuntos antes mencionados escriben diversos especialistas pertenecientes a prestigiosos centros de investigación y estudio. El resultado de sus trabajos y sus ideas sobre los efectos del cambio climático en nuestro país se reunieron en el libro *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* que fue editado conjuntamente por la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa, el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM y el Instituto de Ecología y Pesquerías del Golfo de México, de la Universidad Autónoma de Campeche. Consta de 30 capítulos en los que 87 autores y co-autores analizan el problema de manera concienzuda y con información precisa y reciente. Incluyen estudios sobre la vulnerabilidad de la zona costera evaluada desde el punto de vista de la físico-química; el análisis de los ecosistemas costeros del Golfo y Caribe de México; los de los estados de Nayarit y Sinaloa (*La Jornada*, 2012).

Nos dan cuenta de los problemas que enfrenta la anidación de las tortugas; del reto que tiene el sector pesquero y acuícola, las afectaciones que sufren ecosistemas críticos como el manglar, los pastos marinos, los arrecifes de coral. De igual manera la variación de la temperatura marina y cómo afecta las áreas costeras; de la geología y los fenómenos hidrometeorológicos extremos. Nos ofrecen metodologías para evaluar la vulnerabilidad ante el cambio climático. Y por supuesto, de qué manera incidirá en la sociedad en su conjunto y, por lo tanto, la necesidad de establecer estrategias de mitigación y adaptación. Hay, además, evaluaciones que muestran los costos que ocasiona el cambio climático en tan importantes áreas del país (*La Jornada*, 2012).

Los autores muestran que los impactos no son únicamente sobre el medio ambiente y los recursos naturales, sino que se dejan sentir ya en los asentamientos humanos, la infraestructura de comunicaciones y transportes, de energía y agua, de las zonas y los deltas más vulnerables ante el incremento del nivel del mar. Se trata de contribuir con la investigación y el conocimiento científico a una mejor comprensión del problema. Y, de la misma forma, a establecer políticas de adaptación al cambio climático que reduzcan lo más posible la vulnerabilidad de las zonas costeras y los deltas que forman nuestros ríos al desembocar en el mar. Igual que los fenómenos hidro-meteorológicos extremos, como son los huracanes, tormentas y oleajes (*La Jornada*, 2012).

- Una estimación de la vulnerabilidad de la zona costera

Un estudio físico-químico realizado por la doctora Guadalupe de la Lanza y colaboradores prevé la salinización; con alteración en el contenido de gases disueltos, como el oxígeno. Variando desde la sobresaturación hasta la hipoxia o anoxia; la eutrofización coadyuvada por las descargas urbanas o industriales; modificando también la bacteriología constituida por las coliformes (*La Jornada*, 2012).

En esto último, destacan que hay un impacto alto por salinidad, oxígeno y enterococos para todas las localidades costeras de México, así como por nitrógeno, fósforo y clorofila. Un impacto medio por nitrógeno para Coatzacoalcos y Quintana Roo; igual por clorofila en Nayarit, mientras es bajo por fósforo para Nayarit, Coatzacoalcos, Yucatán y Quintana Roo (*La Jornada*, 2012).

De la Lanza y colaboradores subrayan que las condiciones de hipoxia-anoxia y niveles bacteriológicos serán una vulnerabilidad generalizada alta en las regiones estudiadas como



resultado del cambio climático. En segundo lugar, señalan la salinización, aunque en menor grado. Además de una eutrofización, particularmente por nitrógeno. El grado de vulnerabilidad de los ecosistemas costeros lo estimaron a través de los criterios ecosistémicos. Se consideraron los manglares, los arrecifes de coral y los pastos marinos. Incluyeron en su análisis los criterios ecológicos generales derivados del funcionamiento de las Áreas Naturales Protegidas, los sitios Ramsar y las pesquerías de mayor importancia comercial de las regiones litorales seleccionadas para el análisis: Veracruz, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Sinaloa y Nayarit (*La Jornada*, 2012).

También, Ponce y colaboradores se ocuparon de valorar el grado de impacto ambiental por el cambio climático. Como resultado, globalmente Veracruz, Tabasco y Nayarit presentaron un grado de vulnerabilidad e impacto ambiental alto, mientras que Campeche, Quintana Roo y Sinaloa se clasificaron con una afectación media y fenómenos hidrometeorológicos extremos (*La Jornada*, 2012).

Es importante señalar que Villanueva y colaborador marcan que en el estado de Nayarit se localiza uno de los ecosistemas más importantes del mundo: los humedales conocidos como Marismas Nacionales. Aquí el manglar es un componente fundamental, lo que le ha valido ser designado como un sitio Ramsar (a partir de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, conocida en forma abreviada como Convenio de Ramsar). Las amenazas actuales y futuras derivadas de las actividades humanas y de los eventos naturales (entre ellos los propiciados por el cambio climático), tendrán un impacto en tan importante tesoro natural. El grado de conservación que se logre establecer allí permitirá que sobreviva a tales presiones y siga brindando sus servicios ambientales y económicos. Todos ellos descansan en su invaluable biodiversidad (*La Jornada*, 2012).

En general, aquellas comunidades que no se adapten fácilmente serán las más susceptibles de impactar. Por ello, el grado de conservación o deterioro del manglar, la presencia de áreas naturales protegidas y la abundancia y diversidad de recursos pesqueros y camaronícolas (éstas últimas de importancia en la economía regional y nacional), van a determinar el grado de la vulnerabilidad en las entidades citadas. Y, por lo tanto, los efectos negativos que puedan resultar de eventos naturales y/o antropogénicos extraordinarios. Una evaluación oportuna de los escenarios que se puedan presentar debe comprender medidas de prevención. Y en casos específicos, de restauración de los ecosistemas alterados, a fin de aumentar su resiliencia y con ello su permanencia ante las amenazas que se presenten (*La Jornada*, 2012).

- Las tortugas marinas

En los capítulos de Bolognaro y colaboradores y de Márquez y Jiménez se evalúa y estudia la vulnerabilidad que presentan los sitios de anidación de las tortugas marinas por efecto de la erosión en el estado de Campeche, así como el posible efecto que el cambio climático tiene sobre dichos organismos. En las playas estudiadas, la anidación fue menor en las áreas de erosión y con presencia de infraestructura (espigones y tetrápodos), así como en las zonas de playa asociadas con sedimentos de arena finas. En este sentido, se encontró un desplazamiento de los sitios de anidación. La disminución del número de anidaciones de *Eretmochelys imbricata* en la playa de Isla Aguada, en Campeche, probablemente refleja un declive en la población de esta especie, que se encuentra en peligro de extinción. Por lo tanto es urgente reforzar las medidas para la protección y conservación de esta especie (*La Jornada*, 2012).

La pérdida del hábitat de anidación afecta la sobrevivencia y abundancia de las tortugas marinas. En un escenario de cambio climático se acelera el proceso de erosión por el aumento de los fenómenos hidrometeorológicos extremos. Por eso es muy importante establecer medidas de mitigación ante la erosión costera a fin de proteger el hábitat de anidación de las tortugas como se observa en la fotografía 9 (*La Jornada*, 2012).

Fotografía 9. Tortuga marina



Fuente: *La Jornada*, 2012.

Las playas catalogadas como áreas naturales protegidas o santuarios, tienen reglamentos adecuados para mitigar o, en su caso, evitar las actividades humanas que puedan afectar la reproducción de estos animales. Sin embargo, en el contexto del cambio climático resulta urgente revisar los reglamentos de manejo y conservación vigentes en estas áreas a fin de adecuarlos a la prevención y mitigación del efecto del calentamiento global. Y de la misma forma, por el aumento actual y futuro del nivel del mar (*La Jornada*, 2012).

Debido a que la mayoría de las especies mantienen rutas migratorias muy largas, las medidas para la protección y conservación adaptadas en México, deberán tener un componente internacional de acciones y compromisos. Sería una forma de fortalecer lo que ya existe en la materia y podrían plantearse a través de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas, a la cual está adherida a nuestro país (*La Jornada*, 2012).

En México, todas las especies de tortugas marinas están consideradas en peligro de extinción y, a partir de 1990, se prohibió totalmente su uso comercial. Por lo anterior, no se debía considerar que el cambio climático tenga una consecuencia económica directa sobre los quelonios, al no estar permitida ninguna pesquería; sin embargo, la reducción de las poblaciones de tortugas marinas sí podrían tener una influencia negativa sobre el complejo equilibrio de los ecosistemas donde éstas se reproducen (*La Jornada*, 2012).

- La pesca

Las actividades pesqueras y acuícolas en México están orientadas a dos objetivos fundamentales: la producción de alimentos y la generación de divisas. Las premisas para el desarrollo de esta actividad se encuentran establecidas en ordenamientos nacionales y acuerdos internacionales: la autosuficiencia y soberanía alimentaria, el aprovechamiento de los recursos, el desarrollo



sustentable de la actividad, la protección del medio ambiente y la biodiversidad. En nuestro país, la principal actividad pesquera es la de tipo artesanal. Es la que registra el mayor volumen de captura. Este tipo de pesca será la más afectada por el cambio climático por realizarse en la zona costera y por los rezagos históricos sociales y económicos que distinguen a los pescadores. Las afectaciones de los recursos pesqueros y acuícolas costeros repercutirán especialmente en este sector social, pero también en las diversas actividades económicas que les sirven de sustento (*La Jornada*, 2012).

Guzmán y colaboradores se han ocupado de analizar los retos que enfrentará el sector pesquero y acuícola ante el cambio climático. Consideran al respecto que en la actualidad el manejo de las pesquerías se enfoca fundamentalmente a obtener ganancias en el corto plazo, en términos de beneficio-costos. Y que, aun si se enfatiza el lograr el máximo rendimiento sostenible, se opta por explotar el recurso en el presente inmediato, sin tener en cuenta el futuro. Las pesquerías comerciales son recursos comunes y se sobreexplotan sin contar con una política adecuada de manejo que tenga en cuenta la conservación de las especies que las conforman. Por eso no debe extrañar que con la sobreexplotación que se registra en varias de ellas se ponga en riesgo las contribuciones que hacen a la sociedad en general. Uno de los más fundamentales es proveer de alimentos a la población (*La Jornada*, 2012).

Ante el cambio climático es urgente enlistar y analizar a detalle las causas de la sobreexplotación de los recursos pesqueros; por lo demás, un asunto suficientemente conocido por las autoridades. Lo anterior, con el fin de establecer las estrategias más viables que permitan la recuperación de las pesquerías afectadas. Tales medidas deben considerar los aspectos de mitigación y adaptación al cambio climático (*La Jornada*, 2012).

Cabe señalar que Castelló señaló que desde hace cinco años que la sobreexplotación de las pesquerías de pequeña escala de las zonas tropicales, obedece a las políticas que fomentan el intercambio comercial de productos primarios (políticas neoliberales), a fenómenos estructurales, sociales y económicos, además de los biológicos. Pero ahora se requieren cambios profundos en la forma de estudiar, manejar y administrar los recursos pesqueros con métodos propios, con nuevas orientaciones de participación, con un enfoque ecosistémico e integral, que incluya todo lo relativo a los complejos sistemas socio-ecológicos (*La Jornada*, 2012).

Al respecto, en México se sigue un esquema de investigación que rige generalmente en los países desarrollados y para pesquerías mono-específicas, no aplicable a las multi-específicas que se encuentran en el trópico. Por otro lado, el cambio climático afectará la zona costera de múltiples e inesperadas formas. El aumento del nivel del mar tendrá un severo impacto en las actividades e infraestructura pesqueras y acuícolas instaladas en las costas. Con el aumento de la temperatura, los fenómenos de *El Niño* y *La Niña* intensificarán sus efectos sobre los ecosistemas y los recursos; los impactos sobre aquellas pesquerías cuya distribución exceda los límites nacionales son difíciles de prever, pero sin duda afectará a la actividad pesquera de nuestro país en un grado todavía desconocido (*La Jornada*, 2012).

Pero lo que sí se sabe es que los impactos negativos en las pesquerías afectan ahora y a futuro la actividad acuícola, pues los recursos pesqueros son potencialmente recursos acuiculturales. Si sabemos que la acuicultura es la alternativa del sector para generar alimentos y empleos, es fundamental prever los posibles efectos del aumento del nivel del mar. Es el caso muy notable del daño a las granjas de camarón, un recurso de importancia pesquera y acuícola que genera no



solamente empleo e ingresos locales sino también divisas. Cabe señalar que el objetivo principal de los modelos intensivos de monocultivo de ciertas especies, como el camarón, es la generación de ganancias/divisas, pero originan costos ambientales significativos y no aportan soluciones al problema alimentario que vive el país (*La Jornada*, 2012).

- Los manglares y los sistemas arrecifales

Otro de los ecosistemas críticos ante el cambio climático son los manglares. Con el aumento en la temperatura asociada al aumento del bióxido de carbono el manglar afectará a su vez la distribución geográfica de los humedales y favorecerá el establecimiento de especies invasoras. Con el calentamiento global, en algunas regiones se espera un incremento de las lluvias y en la frecuencia de huracanes nivel 4. Por ello es de esperarse la erosión de las playas y dunas, así como una mayor probabilidad de afectación directa hacia los manglares en periodos menores a los 25 años. Por otro lado, los cálculos del impacto por el incremento del nivel del mar en un metro en la laguna de Alvarado y en el curso bajo del río Papaloapan, indican una afectación de 47.5 km tierra adentro. En el río Usumacinta, de 55 km; en el Grijalva, de 25 km; y para el caso de la laguna de Términos de 20 kilómetros (*La Jornada*, 2012).

Según los especialistas que elaboraron en 2007 la Estrategia Nacional del Cambio Climático, los anteriores son los sitios más vulnerables. Ello da una indicación del nivel de impacto y los cambios que tendrán lugar en la planicie costera. El efecto del aumento en el nivel del mar en los manglares va a depender de las condiciones hidrológicas locales, en especial de los aportes de sedimentos de la planicie costera y las cuencas de los ríos; de la microtopografía, así como del transporte litoral asociado a las condiciones oceanográficas locales y a mayor escala. De igual modo, a las mareas. Ante lo que se espera resulta insuficiente establecer el derecho a una cuota de agua dulce. Un gasto ecológico para los ecosistemas costeros (ríos, humedales dulceacuícolas, manglares y lagunas costeras). Y esto es así porque los humedales requieren de los pulsos de inundación y de sedimentos para su conservación (*La Jornada*, 2012).

Pero de lo que sí no hay duda es que debe evitarse la construcción de presas que “secuestren” significativamente los aportes fluviales. Y que se necesitan políticas de manejo de los recursos hidráulico que garanticen, además de una cuota de agua dulce, un aporte de sedimentos que permitan la sustentabilidad ambiental de los humedales costeros, la biodiversidad y las pesquerías. De igual modo, los aportes de agua necesarios que propicien inundaciones hacia el complejo de humedales en su totalidad. Es lo que Alonso-Eguía y Moreno-Casasola definen como mantener el caudal ecológico (*La Jornada*, 2012).

De ahí la importancia y necesidad de establecer políticas para la conservación y restauración de los cauces naturales de los aportes de agua marina (esteros y venas) y agua dulce. Con tal propósito debe evitarse la fragmentación hidrológica de los humedales con la construcción de carreteras o cualquier tipo de bordo que los destruyan o afecten en forma parcial. Y en caso de ser necesarios dejar el suficiente número de pasos de agua. Otra manera efectiva de proteger a este ecosistema es construyendo sobre pilotes para mantener la continuidad hidrológica. Por lo que toca a los ductos enterrados para conducción de hidrocarburos, gas, etc. deben tener una dirección y profundidad que no impidan u obstruyan el flujo de agua subsuperficial (*La Jornada*, 2012).



- Los arrecifes coralinos

En los arrecifes de coral del estado de Quintana Roo, los incrementos de temperatura y las reducciones en el pH del océano limitan las tasas de calcificación de los corales de manera directa. La mortalidad masiva asociada al blanqueamiento del coral, y las reducciones en la cobertura coralina comprometen seriamente la capacidad de estos ecosistemas para lograr un balance positivo de carbonato y por lo tanto, mantener sus servicios ambientales. En este sentido, la mejor manera de establecer un programa de mitigación de los efectos del cambio climático en la zona debe incluir reducciones en las amenazas locales que sufren estos ecosistemas. Tal es el caso de la contaminación y degradación de la calidad del agua por el desmedido e incontrolado crecimiento de la zona costera (destacadamente en Cancún y la llamada Riviera Maya) y la sobrepesca. Por lo que hace a los sistemas arrecifales lagunares, son vulnerables al futuro incremento en el nivel de mar, debido a la pobre salud de sus comunidades coralinas (*La Jornada*, 2012).

Bajo los futuros escenarios del incremento del nivel del mar, los arrecifes a lo largo de la costa de Quintana Roo podrían llegar a tolerar un incremento de aproximadamente cinco milímetros por año, con pequeños efectos adversos. Pero incrementos superiores producirían sumersión progresiva de la cresta y retirada de la línea de costa debido al incremento de la energía de las olas (*La Jornada*, 2012).

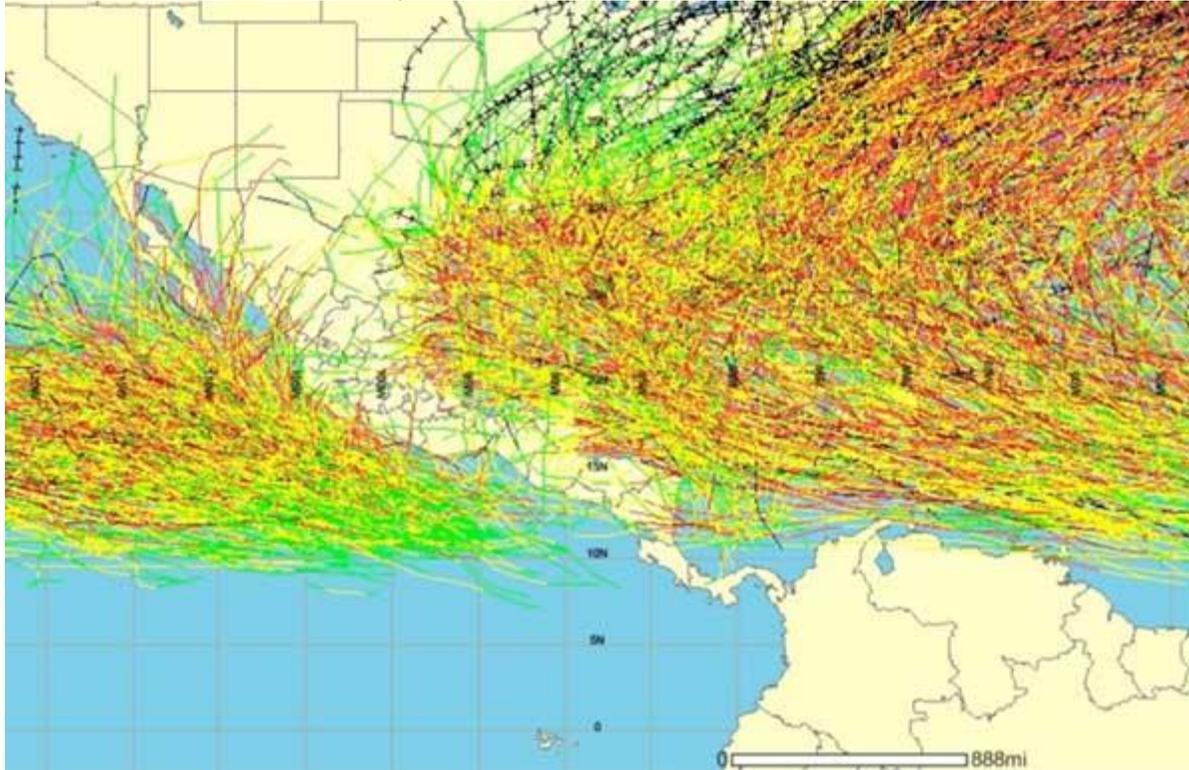
- El Golfo de México

En esta parte tan importante para el país, las tendencias del aumento del nivel del mar son notorias. En los siete sitios analizados por los especialistas se encontró una tendencia de aumento en el nivel del mar. Es importante notar que la tendencia de aumento en el nivel del mar en Veracruz, de 1.9 milímetros por año, es muy similar a la reportada por el IPCC para el océano mundial. Esto sugiere que, en principio, no ha habido en la región citada importantes movimientos verticales de la corteza terrestre, lo cual hace que el sitio sea una buena referencia para comparar con las variaciones en otros sitios. De acuerdo a los estudios realizados por Zavala y colaboradores, hay una menor tendencia al aumento del nivel del mar en Veracruz y Alvarado, con 1.9 y 1.8 milímetros por año, respectivamente. Progreso, en Yucatán, muestra una tendencia de 2.5 y le siguen Ciudad del Carmen, Campeche; Coatzacoalcos y Tuxpan, en Veracruz, con tendencias entre 2.8 y 3.4 . Mientras que en Ciudad Madero, Tamaulipas, la tendencia es mucho mayor, con un valor de 9.2 milímetros por año (*La Jornada*, 2012).

- Alerta con los huracanes

Los huracanes son una preocupación importante para la región costera del Golfo de México. Un gran número de personas e importante infraestructura se encuentran en zonas de ocurrencia de tormentas de marea, vientos huracanados y lluvias muy intensas. La temporada de huracanes del Atlántico de 2005 fue la más destructiva de la historia. Incluyó 26 tormentas con siete huracanes de categoría 3 o superior. El huracán Wilma causó daños por casi 2 mil millones de dólares en México, principalmente en Quintana Roo. Sus centros turísticos sufrieron notablemente por este huracán y una de las mayores pérdidas en la historia de los seguros en América Latina. Recuperarse de lo ocurrido le costó varios años y mucho esfuerzo a los habitantes y a la actividad turística de Cancún y la Riviera Maya, ver mapa 13 (*La Jornada*, 2012).

Mapa 13. Trazas de los huracanes en 25 años



Fuente: *La Jornada*, 2012.

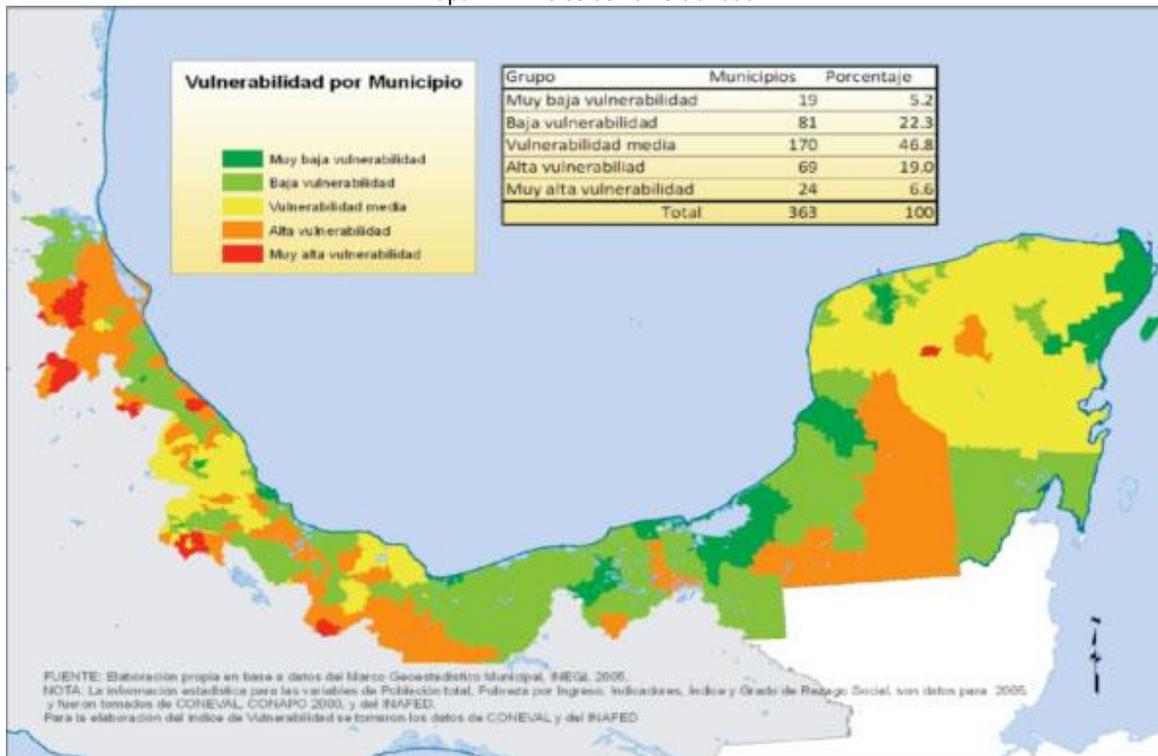
El análisis estadístico de secuencias de imágenes satelitales de la temperatura de la superficie del mar es una herramienta indispensable para identificar la variabilidad y reconocer la vulnerabilidad al cambio de las condiciones oceanográficas elementales en diversas regiones marinas que pudieran estar asociadas al cambio climático global. Cuatro regiones marinas de los mares mexicanos fueron analizadas y resultó que en todas ellas el ciclo anual de enfriamiento y calentamiento (con mínima temperatura superficial en enero o febrero, y máxima en julio o agosto) es dominante (*La Jornada*, 2012).

La correlación de las anomalías térmicas respecto al periodo típico 1996-2008 no es significativa con procesos oceánico-meteorológicos de gran escala asociados a cambios globales en el clima, como *El Niño/Oscilación del Sur*. Sin embargo, el cálculo de la tendencia de la temperatura superficial del mar en el periodo citado (sólo 13 años de extensión), indica que las cuatro regiones marinas estudiadas se enfriaron en dicho lapso (*La Jornada*, 2012).

Este polémico resultado únicamente se puede abordar y resolver analizando series de tiempo de la temperatura superficial más amplias. El incremento del nivel del mar en el Golfo de México muestra que el área afectada total corresponde al 1.26 por ciento del a extensión territorial nacional y al 3.18 por ciento de la población del país. Se verán afectadas 174 poblaciones de más de mil habitantes. El estado con mayor superficie afectada es Tabasco, con más del 21 por ciento de su territorio. Pero el que tiene una población más vulnerable es Veracruz, con más de un millón de habitantes, si el escenario de incremento en un metro se presentará ahora (*La Jornada*, 2012).

Quintana Roo, por su parte, tendrá proporcionalmente un mayor impacto pues sufrirá los efectos en el 81.1 por ciento de su población. A pesar de ser una zona de paso de huracanes, con un incremento en categoría y frecuencia, la tasa de erosión y/o acumulación son bajas, de menos de un metro, en comparación a las presentes en el sur del Golfo de México, debido a la presencia de un litoral rocoso en la línea de costa, con una protección natural que representan los manglares y arrecifes de su zona litoral. Y de alguna forma, por la presencia de la isla de Cozumel. Pero el cambio del nivel del mar, si se estima un incremento por el cambio climático de 50 cm, provocará la desaparición del 20 por ciento de las playas. Bajo un escenario de un aumento de un metro, el 90 por ciento de las playas actuales desaparecerá, ver la imagen siguiente (*La Jornada*, 2012).

Mapa 14. Niveles de vulnerabilidad



Fuente: *La Jornada*, 2012.

En el proceso de planeación de los centros urbanos y turísticos en la zona litoral resulta fundamental contar investigaciones como la antes descrita brevemente a fin de contar con la información necesaria sobre los procesos de erosión-depósito presentes en la línea de costa. Ello permitiría la toma de decisiones más precisas y adecuadas sobre el uso, manejo y ocupación de la franja litoral. Igualmente, determinar la vulnerabilidad de la línea de costa por el cambio climático global, que comprende elevación del mar y mayor frecuencia e intensidad de huracanes y nortes (*La Jornada*, 2012).

Otra área estudiada como parte de los trabajos sobre el cambio climático es la hidrodinámica de los ríos Coatzacoalcos y Pánuco. Ramírez y colaboradores concluyen que la marea por sí sola podría provocar un desbordamiento de esos ríos. Y que las inundaciones extremas podrían presentarse con un evento climatológico en el que se conjunten diferentes factores. Por ejemplo, lluvias intensas y prolongadas, nortes y condiciones de suelo saturado por el agua (*La Jornada*, 2012).



Por otro lado, los estudios realizados permiten estimar las zonas potencialmente inundables al presentarse una sobreelevación del mar, la cual podría incrementar el riesgo de inundación. Y mucho más si se combina con eventos meteorológicos extremos. Una de las regiones que presenta un alto grado de vulnerabilidad es el sistema lagunar de Carmen-Pajonal-Machona en el estado de Tabasco. El estudio realizado por García Govea y colaboradores, sostiene que para finales de siglo se prevé que el sistema lagunar dependa casi totalmente de las variaciones de la marea. Y en menor grado, de las aportaciones de agua dulce. Esto dará como resultado una salinización importante del sistema lagunar. Las zonas de inundación tienen consecuencias variables, con reducción de los niveles de agua que varían entre 10 y 90 por ciento. Lo anterior indica la complejidad que existe para predecir de manera detallada las consecuencias futuras del cambio climático (*La Jornada*, 2012).

- Los aspectos socioeconómicos

En un estudio sobre la vulnerabilidad social al cambio climático en las costas del Golfo y el Pacífico Mexicano, Rodríguez H.H.P y Bozada-Robles L., elaboraron un índice compuesto de vulnerabilidad social considerando 11 variables: desde el producto interno per cápita, el porcentaje de población femenina que participa en la población económicamente activa, el de población mayor de 15 años alfabetizada, hasta el porcentaje de población bajo pobreza alimentaria, índice de sobrevivencia infantil, hogares con acceso a servicio de salud, hogares o que no cuentan con agua potable, localidades rurales dentro del municipio y grado de acceso a infraestructuras de comunicación (*La Jornada*, 2012).

Las áreas que registran muy alta vulnerabilidad se ubican en las zonas de la sierra Madre Oriental; es decir, aquellas que por su difícil topografía poseen problemas de aislamiento. Al contrastar las zonas de vulnerabilidad social con las de riesgo, se aprecia que las de baja vulnerabilidad se hallan asociadas con las que registran mejor desarrollo urbano, ya que éstas concentran gran parte de los procesos de modernización (infraestructura y servicios de salud, educación, comunicación) y crecimiento económico. Sin embargo, también se encuentran amenazadas por situaciones de riesgo (*La Jornada*, 2012).

Por todo lo anterior es necesario estudiar mucho más a fondo la forma en que la vulnerabilidad social se encuentra articulada con los riesgos asociados al cambio climático. Pero es necesario advertir que aun las áreas que cuentan con un elevado desarrollo en materia de servicios urbanos, y que concentran los beneficios del crecimiento, también se encuentran amenazadas por situaciones de riesgo (*La Jornada*, 2012).

Así, algunas de las zonas urbanas cuentan con muy buenos indicadores del llamado desarrollo humano, pero a la vez enfrentan dinámicas de vulnerabilidad ambiental y particularmente a los fenómenos de cambio climático. La razón de ello estriba en que son ciudades que han crecido en la franja litoral y su expansión se ha dado en las inmediaciones de los ríos que desembocan al Golfo de México. Las zonas metropolitanas de Tampico-Ciudad Madero, Coatzacoalcos-Minatitlán, Villahermosa-Cárdenas, Tecolutla-Martínez de la Torre, Ciudad del Carmen-Campeche, se encuentran expuestas a dos situaciones de riesgo: por un lado, el incremento del nivel del mar y el impacto de los huracanes. Y del otro, inundaciones y desbordamientos de los ríos que desembocan en su entorno (*La Jornada*, 2012).



Es importante mencionar el estudio realizado por Díaz Castro y colaboradores en el golfo de California en el cual identifican las áreas costeras más vulnerables dentro del gran ecosistema del golfo de California. Trece regiones resultaron ser potencialmente vulnerables en Sonora, Sinaloa y la península de Baja California.

Los resultados de ese estudio muestran que para el alto golfo el porcentaje de la región afectada entre 0 y 2 metros de inundación es del 37 por ciento, 24 por ciento para Mazatlán y 19 por ciento para Los Cabos. Estos resultados deben ser tomados en cuenta al elaborar los planes de manejo de cada una de estas regiones para evitar desastres futuros (*La Jornada*, 2012).

3.6 Tsunamis

Los Tsunamis en el mundo. Cuando oímos o leemos la palabra tsunami, a todos se nos vienen a la cabeza las dramáticas imágenes que vimos en Indonesia en el año 2004 y en Japón en 2011. Pueden ser provocados por distintos fenómenos: la erupción de un volcán submarino, el deslizamiento de una ladera contra el mar, el impacto de un meteorito... aunque los más frecuentes y conocidos son los provocados por terremotos de gran magnitud, que mueven las profundidades oceánicas, a lo que conocemos como maremoto. Es parecido a cuando movemos las piernas en una piscina y empujamos el agua desde abajo. Pero hay que tener en cuenta que sólo los grandes terremotos pueden producir grandes tsunamis. Las condiciones geológicas para provocar un terremoto de magnitud 7 o más, suelen ser siempre provocadas por movimientos de subducción; es decir, que la placa tectónica oceánica se introduzca por debajo de la continental. Los tsunamis son un riesgo natural que pueden causar miles de fallecidos. Estas son las cinco zonas con mayor peligro de maremotos (Gómez, 2017):

1. Japón. En la zona del mar de Japón hay confluencia de hasta tres placas que se mueven continuamente, lo que hace que sean frecuentes los terremotos, pero también los grandes tsunamis. Es un país muy preparado que ha sabido crear barreras antitsunami, sistemas de alerta, aunque en ocasiones es difícil escapar. El 11 de marzo de 2011 un terremoto de magnitud 9.1 provocó más de 10.000 fallecidos.
2. Chile. En el otro extremo del Pacífico Chile sufrió en mayo de 1960 el terremoto más fuerte registrado hasta el momento con una magnitud de 9.5. El tsunami fue tan devastador que fallecieron más de 2000 personas pese a ser una zona poco poblada. Hubo otros anteriores, como el de 1835 que el propio Darwin llegó a vivir en la Bahía de Concepción. También otros más recientes como el del año 2010 con un terremoto 8.8.
3. Indonesia. Las islas del todo el sudeste asiático tienen un alto riesgo de tsunami, pero el movimiento de las placas es más lento que en Japón o Chile. Esto provoca que aunque haya riesgo muy alto, estos pueden ocurrir cada más tiempo. El último gran tsunami de esta zona se vivió el 26 de diciembre del año 2004 después de un terremoto 9.1 que dejó más de 220.000 fallecidos. Han tenido otros previos, como en 1883, 1861 o 1797 que también provocaron fallecidos, aunque las culturas nativas sabían actuar ante este fenómeno y muchas construcciones estaban construidas con forma de barca, sobre palos, que al ser golpeados por las olas caían y la casa se quedaba navegando.



4. Cascadia. Con este nombre se conoce a una región del extremo noroeste de los Estados Unidos y del suroeste de Canadá. Es una zona tectónicamente muy activa que ha provocado algunos de los mayores tsunamis conocidos. El 26 de enero de 1700 un terremoto de magnitud entre 8.2 y 9.1 provocó cientos de fallecidos y además cambió la forma de la costa. En 2010 un estudio de geólogos predijo con un 37% de probabilidad que un terremoto de magnitud 8.2 o mayor ocurriría antes del año 2060.

5. Islas Aleutianas y península de Kamchatca. Todo esta zona del norte y noroeste del Pacífico está en alto riesgo de tsunami y de forma frecuente suelen tener fuertes temblores que activan las alertas. Uno de los peores fue el 4 de noviembre de 1952 con una magnitud de 9,0. Originó un maremoto tan fuerte que mató a más de 2.300 personas. El último terremoto ocurrió el día 8 de mayo de 2017 con una magnitud 6.6 pero no llegó a general tsunami, aunque hizo temer lo peor.

En México. El 28 de marzo de 1787 un tsunami, provocado por el terremoto de San Sixto, arrasó las costas de Oaxaca, Guerrero y Chiapas con olas de cerca de 18 metros a lo largo de 500 kilómetros de costa. Aunque se desconoce el total de víctimas mortales, el maremoto destruyó granjas y los pocos asentamientos que existían entonces. Los maremotos que pueden llegar a costas mexicanas desde el Pacífico son originados en la Fosa Mesoamericana, zona de hundimiento de las placas de Cocos bajo la Norteamericana. A lo largo de 283 años de registro se han contado al menos, el impacto de 60 tsunamis en la costa occidental del país (Secretaría de Mariana, 2015).

Uno de los más significativos, por el número de muertes que generó (75), fue en 1932, después de que un sismo de 6.9 grados Richter produjo una ola de 10 metros que penetró cerca de un kilómetro en las costas de Colima. Otros maremotos importantes en Acapulco y Zihuatanejo han generado olas de entre 8 y 11 metros, pero hasta ahora nada comparado con lo que ocurrió en 1787, cuyo oleaje, de acuerdo con registros históricos, se mantuvo por más de 24 horas (Secretaría de Mariana, 2015).

3.7 Medidas Preventivas y de mitigación.

Los tsunamis pueden causar estragos en poblaciones costeras y sus alrededores. El 26 de diciembre de 2004, el tsunami en el Océano Índico se cobró unas 150.000 vidas y se llevó millones de acres de terreno de la costa. A continuación le explicamos algunas medidas que puede poner en marcha para evitar daños si se tiene que enfrentar a un tsunami. Consejos de seguridad (*National Geographic*, 2010):

- Cuando esté en zonas costeras, preste atención a las posibles alertas por tsunami.
- Organice una ruta de evacuación que conduzca a un terreno más elevado.
- Aprenda los signos que avisan de la llegada de un tsunami: rápido aumento o descenso del agua en la costa y ruidos procedentes de un terremoto submarino.
- Nunca se quede cerca de la orilla para ver venir un tsunami.
- Un tsunami está formado por una serie de olas. No vuelva a una zona de costa afectada por un tsunami hasta que las autoridades indiquen que es seguro.



Actividades de la unidad

Unidad 3. Riesgos Costeros- Ciclones tropicales

Secuencia didáctica para lograr la actividad como evidencia de desempeño en el desarrollo de las competencias:

- 1.- Desarrollar el encuadre del módulo mediante el mapa conceptual destacando la importancia de los riesgos costeros-ciclones tropicales desde el enfoque sistemático en el impacto de los asentamientos del hombre en el medio ambiente.
- 2.- En equipos de trabajo o en parejas, con quien se trabajó en la unidad anterior describir el espacio geográfico de la localidad que eligieron e identificar dentro de ésta las problemáticas de los riesgos costeros-ciclones tropicales que estén relacionadas con el ámbito social, económico, y natural dentro del contexto local, regional y nacional.
- 3.- Detectar de acuerdo al contenido de la unidad las medidas que han surgido para atender el tema de los riesgos costeros-ciclones tropicales en México.
- 4.- Investigar cuáles han sido las estrategias y las propuestas para mitigar la problemática de los riesgos costeros-ciclones tropicales. Posteriormente acudir a la localidad que eligieron y entrevistar a algunas personas para saber si conocen las problemáticas de los riesgos costeros-ciclones tropicales que ahí se presentan, si existe algún medio de difusión del cuidado y si consideran que estas problemáticas están relacionadas a algún tipo de prevención en su localidad.
- 5.- De manera Individualmente sugerir alternativas de solución a la problemática de los riesgos costeros-ciclones tropicales a través de un ensayo retomando como ideas principales: Los enfoques socioeconómico y espacial que la promueven.
- 6.- De acuerdo a las conclusiones del ensayo, reúnete con tu equipo y discutan ¿Cómo definirían las medidas preventivas, y qué papel juega la sociedad en este tema?
- 7.- Evaluación: todos los materiales estarán en una rúbrica diseñada y programada por el profesor, misma que será entregada a los estudiantes para que construyan su evaluación continua.
- 8.- Discusión: a través de una mesa redonda organizar una discusión tomando la temática de su ensayo, con el propósito de construir una propuesta para difundir y promover las medidas preventivas y de mitigación de los riesgos costeros-ciclones tropicales.

Unidad 4
Heladas, Granizadas, Tormentas.





Introducción

En la unidad 4 aborda las heladas, granizadas y tormentas, las cuales pueden ocurrir de manera aislada o en grupo, lo que puede afectar de manera negativa los asentamientos humanos y las zonas de producción agrícola, lo que podría ocurrir un desabasto de alimentos, destrucción de las viviendas y pérdidas humanas.

México es afectado año con año por diferentes fenómenos de origen meteorológico, algunos impactan a la población en forma impetuosa como los huracanes; pero otros, como es el caso de las heladas, dejan sentir lentamente su presencia destructiva y causan graves daños (Matías y otros, 2001: 3).

El fenómeno de la helada puede provocar pérdidas a la agricultura y afectar a la población de las zonas rurales y ciudades; sus inclemencias la sufren, sobre todo, las personas que habitan en casas frágiles o que son indigentes (Matías y otros, 2001: 3).

En la República Mexicana, las heladas ocurren principalmente durante el invierno. La mayoría de los decesos que se registran en nuestro país durante las heladas, se deben más bien a la intoxicación con bióxido de carbono, producido por los calentadores inadecuados que se utilizan en las viviendas para combatir el frío (Matías y otros, 2001: 3).

En cuanto a esta problemáticas de las heladas, granizadas y tormentas existen medidas preventivas y de mitigación para enfrentar estas situaciones y disminuir las pérdidas económicas y humanas.



4.1 Definición de heladas

Existen varias definiciones de una, helada, se puede decir que una helada ocurre cuando la temperatura del aire cercano a la superficie del terreno disminuye a 0°C o menos, durante un tiempo mayor a cuatro horas. Generalmente la helada se presenta en la madrugada o cuando está saliendo el Sol. La severidad de una helada depende de la disminución de la temperatura del aire y de la resistencia de los seres vivos a ella (Matías y otros, 2001: 3).

4.2 Factores meteorológicos que intervienen en la ocurrencia de heladas

Los cambios de la atmósfera que modifican a las condiciones del tiempo se les identifican como fenómenos meteorológicos; cuando abarcan extensas zonas del planeta se les nombra macrometeorológicos. Ejemplos de estos son el balance regional de la radiación y la circulación de los vientos. Los factores macrometeorológicos condicionan la época de ocurrencia y la extensión de las regiones donde se desarrollan las heladas (Matías y otros, 2001: 4).

4.2.1 Balance regional de la radiación

La atmósfera recibe energía proveniente del Sol en forma de radiación. Una fracción de la energía es absorbida por la troposfera (capa de la atmósfera más cercana a la Tierra donde se presentan los fenómenos meteorológicos), otra parte se dirige al exterior al ser difundida desde la atmósfera hacia el espacio y el resto llega a la superficie de la Tierra. En las noches con cielo cubierto por nubes, gran parte de la energía que se difunde desde la corteza de la Tierra (radiación de calor proveniente del suelo) es reflejada por estas masas de humedad hacia el planeta; otra parte de ella es absorbida y la restante es enviada al espacio (ver figura 19) (Matías y otros, 2001: 4).

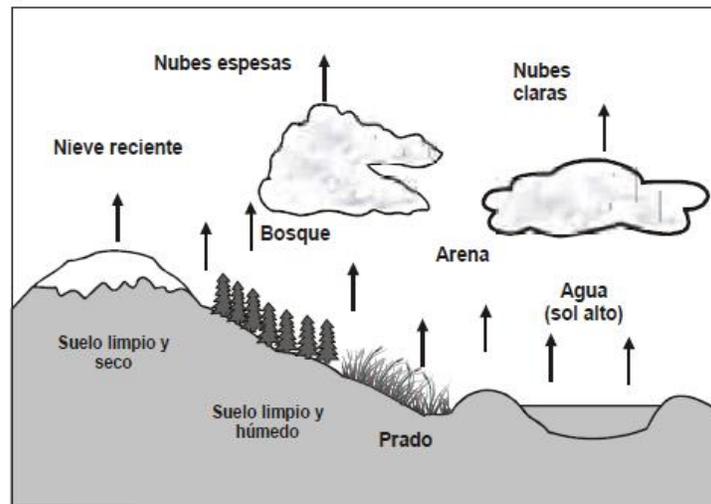
Figura 19. Las nubes reintegran calor a la tierra y disminuye la ocurrencia de heladas



Fuente: Matías y otros, 2001: 4.

Cuando de una región de la superficie terrestre se desprende una mayor cantidad de calor que la que recibe, ocurre un enfriamiento que favorece la formación de la helada (ver figura 20). Los balances de radiación en una zona de la superficie terrestre no son los mismos a lo largo del tiempo, y dependen de la ubicación sobre la Tierra, porque la inclinación de los rayos solares que llegan a la zona influye en la cantidad de energía que ésta recibe (Matías y otros, 2001: 4).

Figura 20. Enfriamiento que favorece la formación de heladas

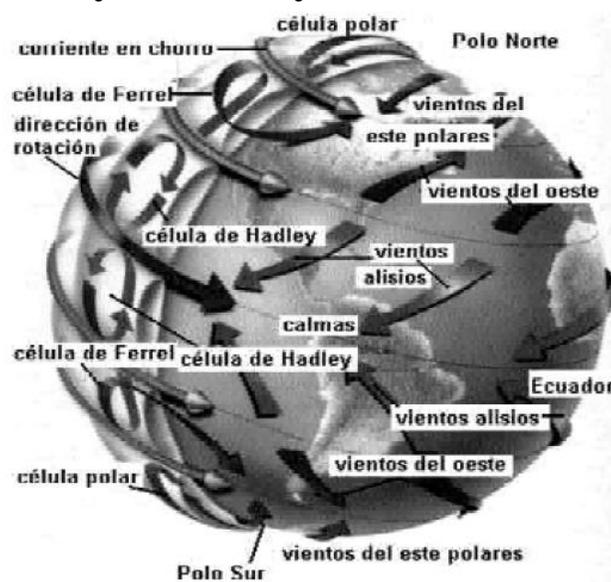


Fuente: Matías y otros, 2001: 4.

4.2.2 Circulación general de la atmósfera

Al movimiento del aire en dirección horizontal se le llama “viento” y al que se desplaza en dirección vertical se le nombra “corriente”. El movimiento del aire se realiza desde una zona de alta presión atmosférica a una de baja presión. Al conjunto de vientos que actúan sobre la Tierra, a gran escala, se le denomina circulación general de la atmósfera (ver figura 21). A los vientos se les designa con un nombre del punto cardinal de donde provienen. Por ejemplo, son vientos del Este los que vienen del Este. Adicionalmente, se les conoce como vientos dominantes a aquellos que soplan en una dirección persistentemente. Los vientos se disponen como una serie de cinturones alrededor del globo terrestre. Este comportamiento es la consecuencia de las distintas temperaturas y diferentes velocidades radiales que existen entre los polos y el ecuador debido a la rotación de la Tierra (Matías y otros, 2001: 5).

Figura 21. Circulación general de la atmósfera



Fuente: Matías y otros, 2001: 5.



Las masas de aire entre las zonas de 30° de latitud norte y sur, que se desplazan como corrientes descendentes hacia las áreas del ecuador (región de bajas presiones) se nombran “vientos alisios”. Así pues, la región donde estos vientos se debilitan se identifica como “calma ecuatorial”. Existen corrientes de aire denominadas “células de Hadley”, que en los trópicos ascienden y en las zonas altas se desplazan hacia el ecuador, donde descienden (Matías y otros, 2001: 5).

Aun cuando casi todo el aire cálido que se asienta en las franjas a 30° de latitud norte y sur, vuelve hacia el ecuador, una parte sigue desplazándose hacia los polos. A los 60° de latitud norte y sur, el aire entra en contacto con el aire polar frío a estos últimos se les denominan “frentes polares”. La diferencia de temperatura entre estas dos masas de aire provoca que el aire más cálido se eleve. Las circulaciones que se producen entre los 30° y 60° de latitud norte y sur, se llaman “células de Ferrel”. El resto del aire se eleva en los frentes polares que siguen moviéndose en dirección a los polos. Cuando se acerca a éstos, se enfría, desciende y regresa hacia los 60° de latitud norte y sur. Las llamadas “células polares de Hadley” son más débiles que las de los trópicos debido a la menor energía solar que reciben las regiones polares (Matías y otros, 2001: 5).

4.3 Elementos meteorológicos que afectan la formación de heladas

El estado de la atmósfera se manifiesta a través de “elementos del tiempo”, como son la temperatura, la precipitación, la humedad, la dirección y velocidad del viento, la presión atmosférica, la nubosidad, la radiación solar y la visibilidad. Éstos varían de un lugar a otro y a lo largo del tiempo. Los principales elementos del tiempo que influyen en la formación de las heladas son el viento, la nubosidad, la humedad atmosférica y la radiación solar (Matías y otros, 2001: 6-7):

- Viento. El viento es fundamental para que se desarrolle una helada, pues cuando hay corrientes de aire se mezcla el aire frío, que se encuentra cercano al suelo, con el más caliente que está en niveles superiores, lo que hace más difícil el desarrollo de una helada. Por tanto, una de las condiciones que favorece la distancia a la superficie del suelo. Sin embargo, existe una inversión térmica cuando la temperatura es mayor conforme aumenta la elevación. Diversas condiciones meteorológicas producen las inversiones térmicas; cuando se presenta una inversión térmica, las capas de aire son arrastradas por otras descendentes y más frías. Este fenómeno se manifiesta en los valles, principalmente en invierno y está asociado con los cielos despejados y temperaturas bajas cercana a la superficie de la Tierra (ver figura 22).

Figura 22. Elementos que favorecen la inversión térmica



Fuente: Matías y otros, 2001: 6.

- Nubosidad. Las nubes son extensos conjuntos de pequeñas gotas de agua y cristales de hielo suspendidos en el aire. Se forman cuando el vapor de agua presente en el aire llega a los niveles altos de la atmósfera y se condensa porque la temperatura es más baja. Cuando el cielo está cubierto por nubes, éstas disminuyen la pérdida de calor del suelo por radiación hacia la atmósfera y devuelven parte de ese calor a la Tierra (ver figura 20). Para que ello ocurra, la temperatura del aire en movimiento debe ser mayor a la del punto de rocío (la temperatura a la cual el aire no admite más humedad). Cuando sigue descendiendo la temperatura puede llegar a los 0°C y el vapor de agua que contiene produce una capa delgada de hielo en la superficie de la Tierra, que se conoce como escarcha blanca. Si en la noche, el cielo está despejado, la pérdida de calor desde la superficie de la Tierra es continua. Así disminuye el calor de la tierra (ver figura 23) y con ello se favorece la ocurrencia de las heladas.

Figura 23. Cuando el cielo está despejado aumenta la radiación de calor del suelo hacia el espacio y favorece la ocurrencia de heladas.



Fuente: Matías y otros, 2001: 7.

- **Humedad atmosférica.** Cuando disminuye la temperatura a los 0°C o menos, y el viento es escaso, el vapor de agua contenido en el aire, se condensa; si la humedad es abundante, ésta produce niebla y cuando tiene poco contenido de humedad, se forma la helada. Por ello una gran humedad atmosférica reduce la probabilidad de ocurrencia de heladas. Cuando se presenta una helada, en los cuerpos de agua de una zona y en objetos sobre el terreno se pueden formar capas de hielo (ver fotografía 10).

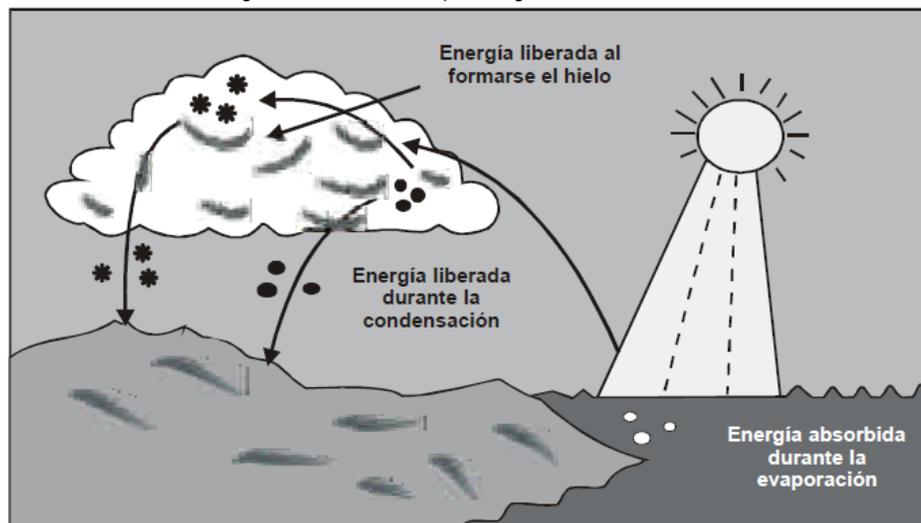
Fotografía 10. Formación de hielo en algunos objetos sobre la superficie del suelo



Fuente: Matías y otros, 2001: 7.

- **Radiación Solar.** Una cantidad de radiación solar es absorbida por la superficie de la Tierra y otra es devuelta desde su superficie a la atmósfera (radiación reflejada). Durante el día, el suelo retiene el calor y durante la noche lo pierde; estos procesos dependen de la nubosidad y del viento que existan sobre ciertas regiones del planeta (ver figura 24). Cuando los días son más cortos y las noches más largas, aumenta la ocurrencia de heladas; aunque exista una menor acumulación de calor en el suelo, habrá un mayor tiempo para que se transmita hacia el aire.

Figura 24. Elementos que integran la radiación solar



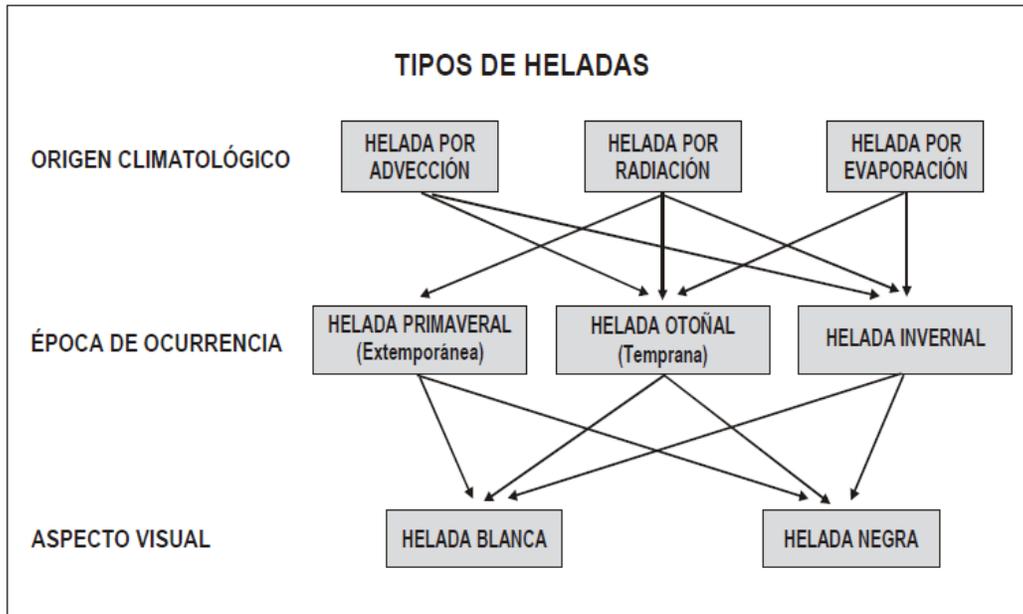
Fuente: Matías y otros, 2001: 7.



4.4 Clasificación de las heladas

Las heladas se pueden agrupar desde los puntos de vista de origen climatológico, época de ocurrencia o aspecto visual. Algunas de las categorías se relacionan entre sí (ver figura 25) (Matías y otros, 2001: 8).

Figura 25. Tipos de heladas. Por ejemplo, una helada puede ser por advección en la época otoñal y ser negra



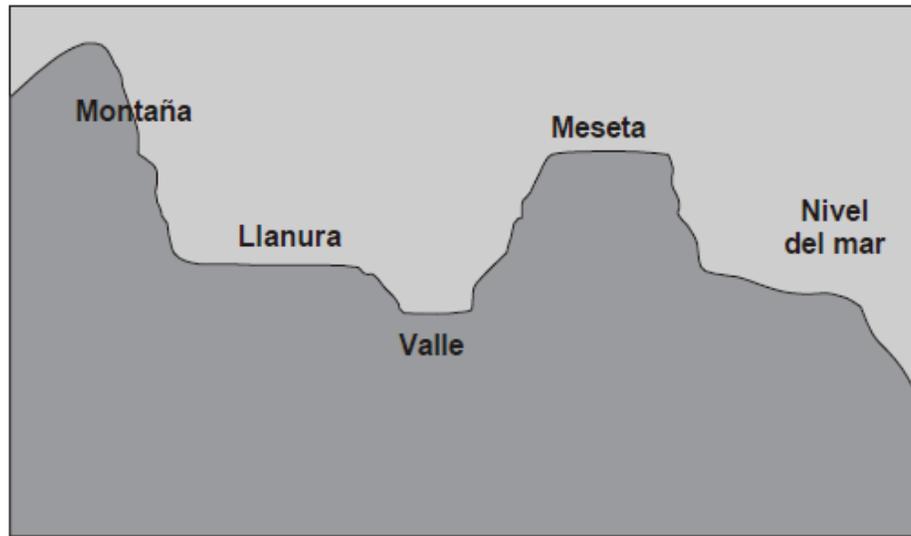
Fuente: Matías y otros, 2001: 8.

Clasificación de las heladas a partir de su origen climatológico. Esta categorización responde a las siguientes (Matías y otros, 2001: 8-9):

- Heladas por advección. Esta clase de heladas se forma cuando llegan grandes masas de aire frío de origen continental a una región hasta de 100 km², ubicada en las partes bajas de las montañas, en las cañadas o en valles (ver figura 26). Se presentan indistintamente en el día o noche. Ellas van acompañadas de vientos moderados a fuertes (velocidades mayores de 15 km/h) y durante ellas no existe inversión térmica (inciso. Los cultivos se enfrían por contacto y los daños que sufren dependen de su naturaleza y etapa en que se encuentre su desarrollo. Los daños en los cultivos se deben al continuo movimiento de aire frío sobre ellos, por lo que es muy difícil protegerlos contra esta clase de helada. Esta helada se puede formar también cuando no hay viento, el cielo está despejado, existe una baja concentración de vapor de agua en el aire y aparecen fuertes inversiones térmicas cercanas a la superficie.



Figura 26. La forma del relieve influye en la formación de heladas, en los valles ocurren con mayor frecuencia



Fuente: Matías y otros, 2001: 8.

- Heladas por radiación. Estas heladas se presentan por la pérdida de calor del suelo durante la noche. Como se mencionó, durante el día el suelo se calienta, pero al anochecer pierde calor por radiación, con mayor cantidad en las noches largas de invierno; por ello, las heladas más severas ocurren en esta estación del año (ver fotografía 11). Los lugares más propensos a la formación de heladas por radiación son tanto los valles como las cuencas y hondonadas próximas a las montañas. Ello se debe a la acumulación del aire frío que desciende durante la noche (ver fotografía 12). Se originan cuando el aire cercano a la superficie del suelo tiene una humedad relativa baja y disminuye aún más por la llegada de un viento con aire seco. Este último causa la evaporación del agua que se encuentra sobre las plantas, lo que provoca su enfriamiento. Esta helada, aunque poco frecuente, afecta a las plantas con flores y a las hortalizas.

Fotografía 11. Helada en los suelos de las faldas del volcán Zinacantepec, Estado de México



Fuente: Matías y otros, 2001: 9.

Fotografía 12. Helada en un valle en el Ajusco, Distrito Federal



Fuente: Matías y otros, 2001: 9.

Clasificación de las heladas por la época en que ocurren. De acuerdo con la estación del año en que se presentan, se tienen tres clases de heladas (Matías y otros, 2001: 10):

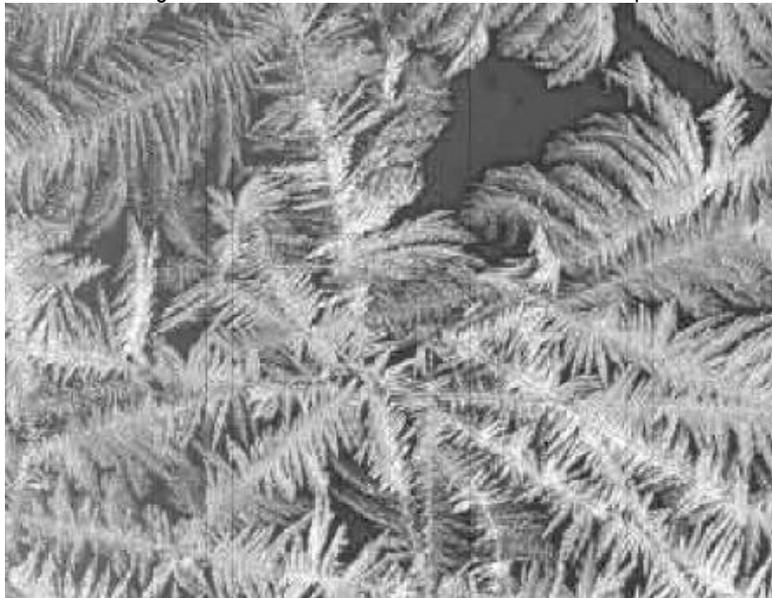
- Heladas primaverales. Este tipo de helada afecta principalmente a los cultivos de ciclo anual (como el maíz) cuando se encuentran en la etapa de brotación de ramas o con pocos días de nacimiento. Se presentan cuando en el ambiente se genera un descenso de temperatura.
- Heladas otoñales. También llamadas heladas tempranas, son perjudiciales para los cultivos porque pueden interrumpir bruscamente el proceso de formación de botones de las flores y la maduración de frutos (ver fotografía 13). A estas heladas se le atribuye la reducción de la producción agrícola de una región. Se forman por la llegada de las primeras masas de aire frío sobre el país provenientes del Polo Norte durante los meses de septiembre y octubre.
- Heladas invernales. Se forman durante el invierno si la temperatura ambiente disminuye notablemente. Estas heladas afectan principalmente a los árboles perennes con frutos y especies forestales, especialmente cuando se hace más intenso el frío. Ellas ocurren cuando las plantas se encuentran en periodo de *reposo*, lapso en el que las plantas disponen de mayores posibilidades de soportar bajas temperaturas (ver fotografía 14).

Fotografía 13. El vapor de agua se convierte en cristales de hielo sobre la vegetación y otras superficies



Fuente: Matías y otros, 2001: 9.

Fotografía 14. Helada sobre las ramas en un árbol de pino



Fuente: Matías y otros, 2001: 9.

Clasificación de las heladas por su efecto visual. Atendiendo a la apariencia de los cultivos expuestos a las bajas temperaturas del aire se tienen dos tipos de heladas: la blanca y la negra. El contenido de humedad en las masas de aire determina estos tipos de heladas. La helada blanca se origina cuando estas masas de aire son húmedas; en cambio, cuando tienen poco contenido de vapor de agua, se forma la helada negra (Matías y otros, 2001: 11):

- Helada blanca. Para que se presente esta helada es indispensable que el aire cercano al follaje y las flores tengan temperaturas iguales o menores que 0°C , de esta manera, el aire alcanza la temperatura del punto de rocío, ya que con ello existe condensación y de



inmediato el vapor de agua del aire pasa al estado sólido para formar hielo. Esta última forma capas de color blanco sobre la superficie de las plantas y en objetos expuestos; se observan principalmente en las mañanas despejadas y sin viento (ver fotografía 15).

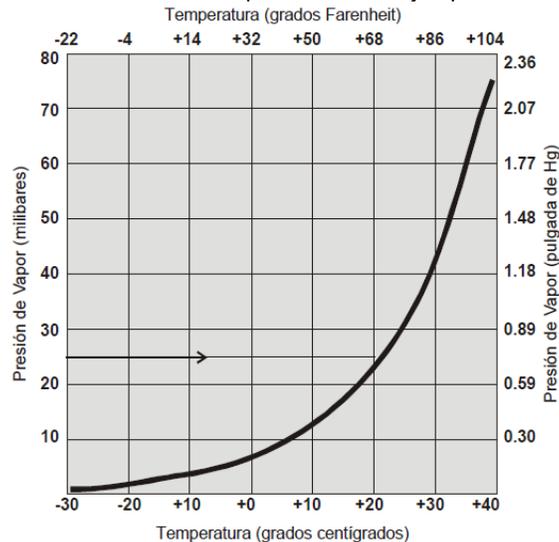
- Helada negra. Se desarrolla cuando el aire tiene poco vapor de agua (humedad baja) y la temperatura del punto de rocío es inferior a 0°C ; de modo que existe escasa condensación y nula formación de hielo sobre la planta. Sin embargo, los cultivos son dañados y al día siguiente las plantas presentan una coloración negruzca, por la congelación de la savia de las plantas o del agua de sus tejidos. Durante este tipo de helada sucede que al congelarse el agua, se origina un incremento de su volumen, que deriva en el rompimiento y quemaduras en el follaje. Estas heladas causan daños más severos que las blancas. Si la temperatura del punto de rocío está por debajo del punto de congelación (menor que 0°C) el vapor de agua que contiene el aire cambia directamente a hielo sin pasar por el estado líquido, presentándose el proceso llamado sublimación. Por ejemplo, la temperatura a la cual se produce la saturación del aire (punto de rocío) cuando tiene una presión de vapor de 24 mb es de 20°C como puede comprobarse con la esquema 1.

Fotografía 15. Helada blanca sobre las hojas de una planta



Fuente: Matías y otros, 2001: 11.

Esquema 1. Relación entre la temperatura del aire y la presión de saturación



Fuente: Matías y otros, 2001: 11.



4.5 Efectos de las heladas en los cultivos

Los cultivos son vulnerables a la helada, cuando la temperatura del aire desciende hasta formar cristales de hielo en el interior de sus células durante cierto tiempo. El proceso de deterioro de las plantas depende del estado vegetativo en que se encuentre y de la especie a la que pertenece. A continuación se describen algunos de estos efectos (Matías y otros, 2001: 12-15):

- Internos. Ruptura de las membranas de la célula por el crecimiento de cristales de hielo dentro del protoplasma (deshidratación).
- Externos. Muerte de hojas y tallos tiernos, destrucción de un gran porcentaje de flores y frutos pequeños, e incluso la muerte total de la planta. La resistencia del cultivo a la helada depende de la etapa de desarrollo; ya que, es más resistente cuando se encuentra en el periodo de germinación, mientras que en la floración es mayor el daño que sufre.
- Inmediatos. Sus efectos son la deshidratación y el rompimiento de la membrana.
- Acumulativos. Si bien son causados por temperaturas bajas, no necesariamente a 0° C a lo largo de periodos prolongados, provocando así el efecto de deshidratación en un tiempo de tres a cuatro días. Comúnmente se manifiesta con la intoxicación de la planta por las sales minerales cuando el fenómeno se repite.
- Diferencia entre helada y nevada. Durante una helada, no ocurre precipitación debido a que el vapor de agua contenido en el aire en lugar de ascender, se congela y se deposita en el piso. Mientras que, en la nevada sí existe precipitación. Ella ocurre cuando el vapor de agua contenido en el aire asciende hasta alcanzar zonas que tienen temperaturas similares a las de congelación donde forma conglomerados de cristales de hielo; como estas zonas están cercanas a la superficie, no tienen tiempo suficiente para fundirse antes de llegar al suelo. Como la humedad del aire disminuye con la temperatura, las nevadas más intensas se originan cuando la temperatura de las masas de aire cerca de la superficie del terreno es del orden de 0° C, sin embargo, se ha observado nevadas cuando la temperatura del aire es de 4° C (fotografía 16a y b). En una nevada los cristales de hielo caen en grupos ramificados, llamados copos de nieve. Cuando la temperatura es menor a -30° C, los cristales pueden flotar en el aire.

Fotografía 16. Aspectos que muestran el paisaje durante una helada o una nevada

a) Helada



b) Nevada

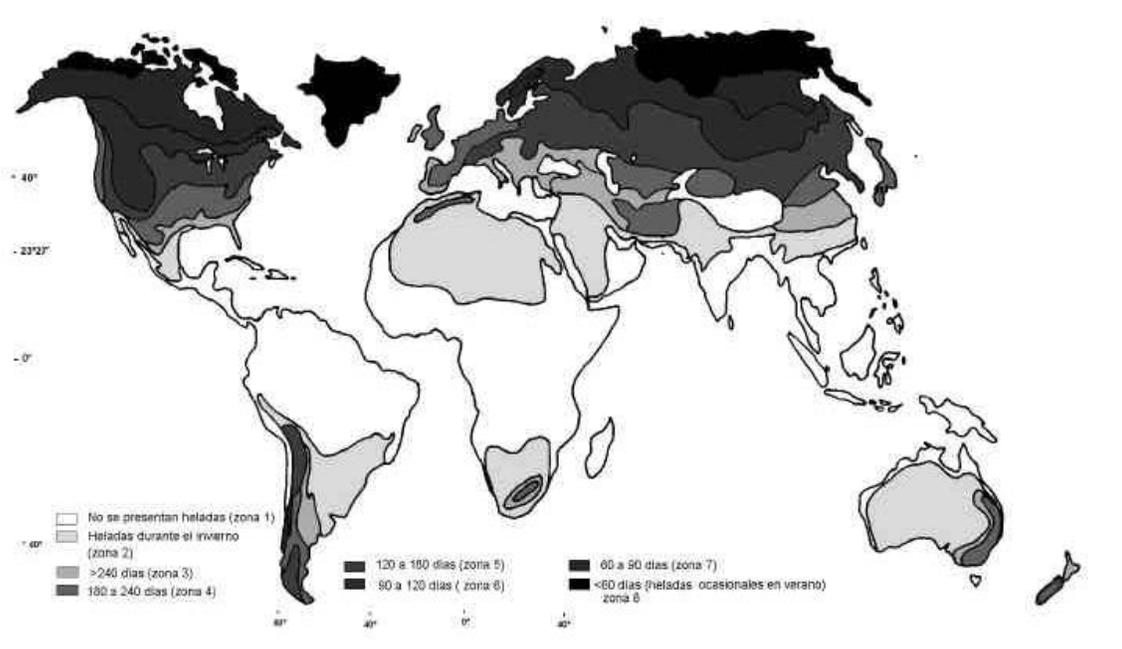


Fuente: Matías y otros, 2001: 12.

- Distribución de las Heladas Las heladas a escala mundial. Las heladas son un fenómeno natural que se presenta en casi todo el planeta. Se ubican a escala global ocho zonas (ver mapa 15). La primera (zona 1) está localizada en los trópicos (entre las latitudes de $23^{\circ}27'$ norte y sur); en dicha área la ocurrencia de heladas es escasa; sin embargo, pueden presentarse en las montañas tropicales del sur y sureste de Asia, en lugares donde la elevación de la corteza terrestre respecto al nivel del mar es mayor a los 1500 m. La zona 2 se refiere a las regiones donde las heladas son ocasionales durante la estación de invierno y, la zona 3 es representativa de heladas durante el invierno a lo largo de 120 días. En la zona 4 que comprende los paralelos 30° a 50° N, el periodo es de 125 a 185 días con heladas. Debido a la influencia marítima, esta zona se extiende en las áreas costeras de latitudes altas. Cuando el periodo es menor que 60 días libres de heladas, es decir, más de

300 días con manifestación de heladas, las oportunidades para un desarrollo agrícola son muy limitadas; estas áreas se localizan a partir de los 50°N y 45°S.

Mapa 15. Distribución mundial del periodo libre de heladas en días (Kalma et al., 1992)

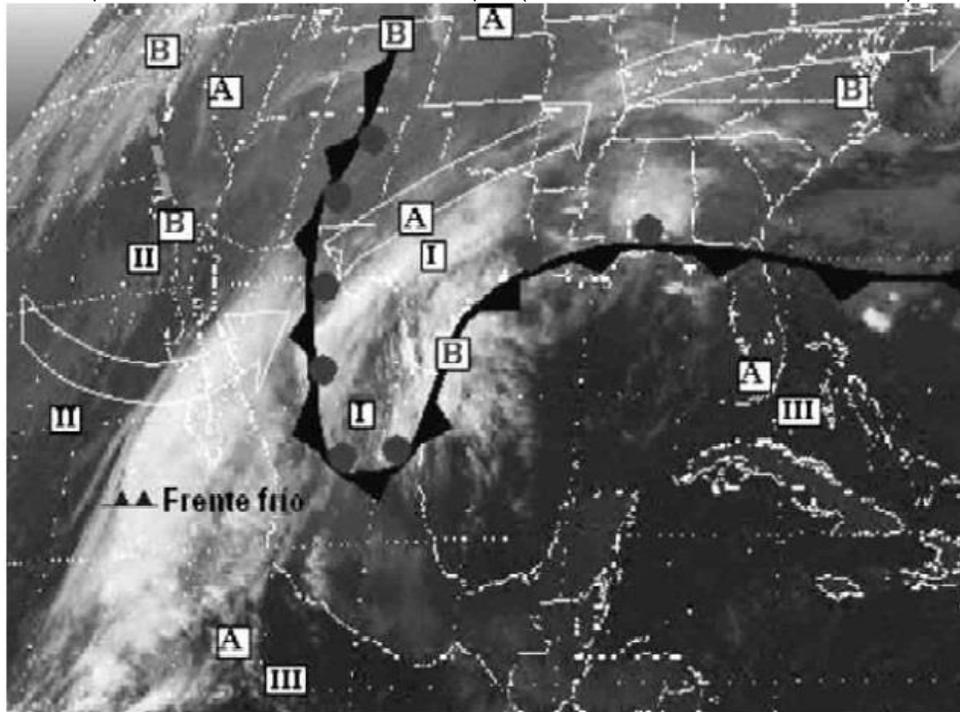


Fuente: Matías y otros, 2001: 13.

- Las heladas en México. En el norte y centro de la República Mexicana, durante los meses fríos del año (noviembre-febrero), se presentan temperaturas menores de 0°C, debido al ingreso del aire polar continentales, generalmente secas, provenientes de Estados Unidos. Las heladas más intensas están asociadas al desplazamiento de las grandes masas polares que desde finales del otoño, se desplazan de norte a sur sobre el país. Como se aprecia en la imagen del día 1 de marzo del 2001 (ver mapa 16), la masa polar atraviesa el norte del país ocasionando un descenso de la temperatura en la Sierra Madre Occidental y en el Altiplano Mexicano (zona delimitada por el frente).

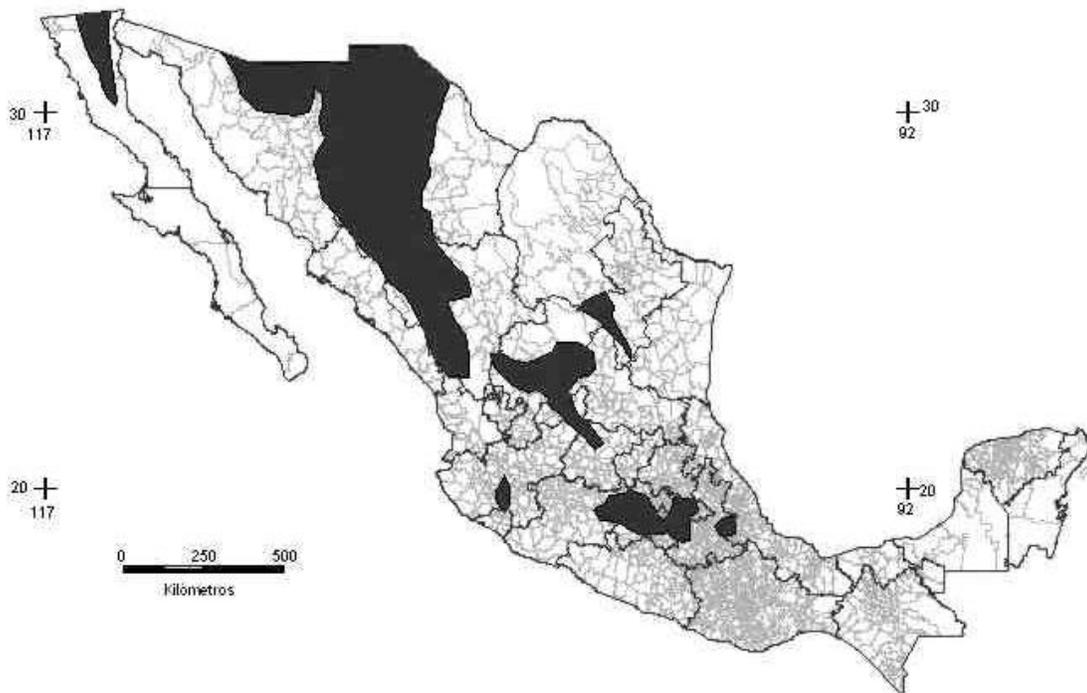
Las heladas que ocurren en México durante los meses del verano causan fuertes daños a la agricultura. Las regiones más afectadas están localizadas en la Mesa Central del Altiplano, en la Sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua y Durango, así como en las Sierras Tarahumara, de Durango y Tepehuanes. Además, en las partes altas del Sistema Volcánico Transversal sobre el paralelo 19°N, esencialmente en los estados de México, Puebla y Tlaxcala se registran temporadas con más de 100 días al año con heladas. En contraste, con casi cero días de heladas al año se encuentran principalmente las llanuras costeras del país, tanto en la vertiente del Golfo de México, al sur del río Pánuco y hasta la Península de Yucatán, incluyendo la región del Istmo de Tehuantepec, así como en las costas del océano Pacífico (ver mapa 17).

Mapa 16. Masa de aire frío en el norte del país (Comisión Federal de Electricidad, 2001)



Fuente: Matías y otros, 2001: 14.

Mapa 17. Regiones de mayor peligro por helada en México (más de 50 días al año)



Fuente: Matías y otros, 2001: 15.



4.6 Génesis de las tormentas severas

Se puede definir a una tormenta severa como aquella tormenta que es susceptible de producir daños materiales importantes, muertes o ambos. Generalmente, las tormentas severas vienen acompañadas de lluvias intensas, vientos fuertes y pueden producir granizo, rayos y truenos, inundaciones repentinas e incluso, tornados. Si se presentan sobre el océano, también producen oleaje alto y marejada intensa. Para la formación de una tormenta severa es necesario que se desarrollen las nubes conocidas como *cumulunimbus*. Éstas son densas y de considerable dimensión vertical, en forma de coliflor. Una parte de su región superior es generalmente lisa, fibrosa o estriada y casi siempre aplanada, la cual se extiende frecuentemente en forma de yunque o de vasto penacho. En la fotografía 17 se muestran nubes *cumulunimbus* típicas, la cual puede desarrollar una tormenta severa. La parte superior de las nubes *cumulunimbus* pueden llegar hasta la parte superior de la troposfera, a unos 12 km de altitud y, en ocasiones, a la baja estratosfera (arriba de los 12 km). Las nubes de este tamaño no se desarrollan al menos que tengan la suficiente energía, y esto significa que la masa de aire ambiental necesita contener importantes cantidades de vapor de agua distribuidas por toda la capa vertical. Además de estas condiciones se necesita de un mecanismo disparador para el desarrollo de las nubes y la ausencia de factores que inhiban o restrinjan su desarrollo hasta su madurez, tales como una inversión térmica en los niveles medios de la atmósfera. Generalmente las tormentas severas muestran algún tipo de organización de escala mayor a la de las nubes individuales. Entre los tipos de tormentas severas observados frecuentemente están los conocidos como la *línea de chubasco*, la tormenta de multiceldas y la tormenta de supercelda, que se describirán más adelante (Prieto y otros, 2014:4).

Fotografía 17. Nubes Cumulunimbus

a)



b)



c)



Fuente: Prieto y otros, 2014:4.

4.6.1 Formación de tormentas por fuentes de ascenso de aire húmedo

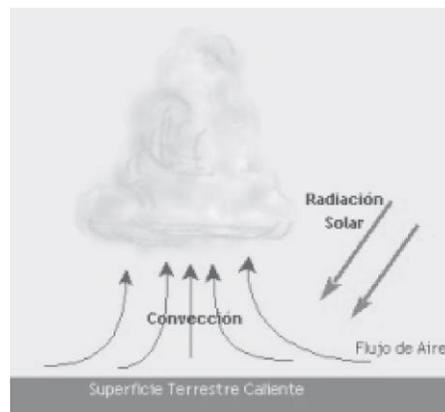
Hay cuatro procesos principales que proporcionan la fuente de ascenso para que el aire húmedo forme una nube (Prieto y otros, 2014: 5).

4.6.2 Formación de nubes por convección

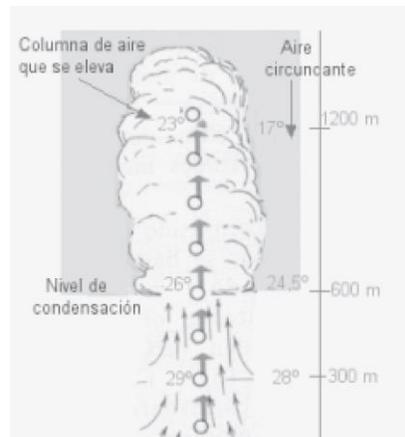
Cuando la superficie terrestre se calienta por la radiación solar, los flujos de aire cercanos se calientan. Si la energía es suficiente para que la temperatura se incremente en la capa baja de la atmósfera, se produce un ascenso térmico. El ascenso térmico enfría el aire en $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ cada 300 metros y si el aire alcanza el punto de condensación, iniciará la formación de nubes, siendo inicialmente sustentado por una serie de remolinos de ascenso, pero si se desarrolla lo suficiente puede atraer aire húmedo de sus alrededores y entonces se alimenta por sí mismo, en un flujo constante en forma ascendente que libera el calor latente al condensarse el vapor de agua, aumentando así el tamaño de la nube. Si la nube tiene bastante energía para continuar su elevación, puede convertirse en una nube de tipo *cumulonimbus* figura 27 para posteriormente iniciar una tormenta de lluvia y de viento (Prieto y otros, 2014: 5).

Figura 27. Formación de nubes por convección del aire calentado por la radiación solar

a)



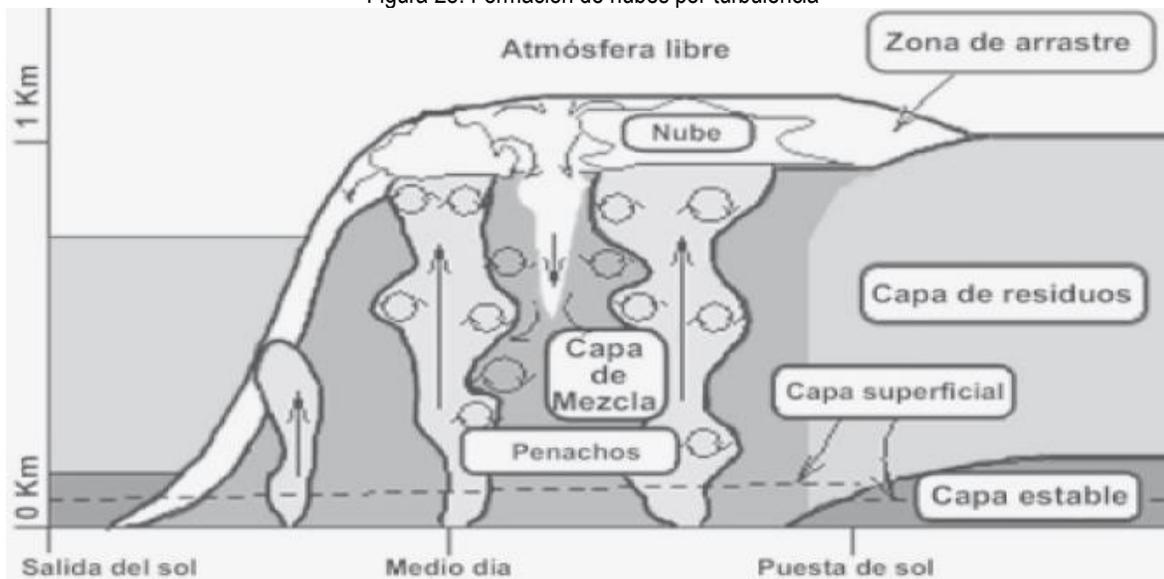
b)



Fuente: Prieto y otros, 2014: 5.

- Formación de nubes por fricción turbulenta. Las corrientes de aire que fluyen sobre la tierra o el agua producen una capa turbulenta de hasta 150 metros de altura con vientos ligeros, o más de 1,000 metros con vientos fuertes, antes de la puesta del sol (después la capa se estabiliza). Estas capas de aire turbulento pueden llegar a producir nubes de tipo estratiforme que, si son suficientemente densas, pueden ocasionar lloviznas. En la figura 28 se muestra el esquema de la formación de nubes por turbulencia dentro de la capa más superficial de la atmósfera (Prieto y otros, 2014: 6).

Figura 28. Formación de nubes por turbulencia

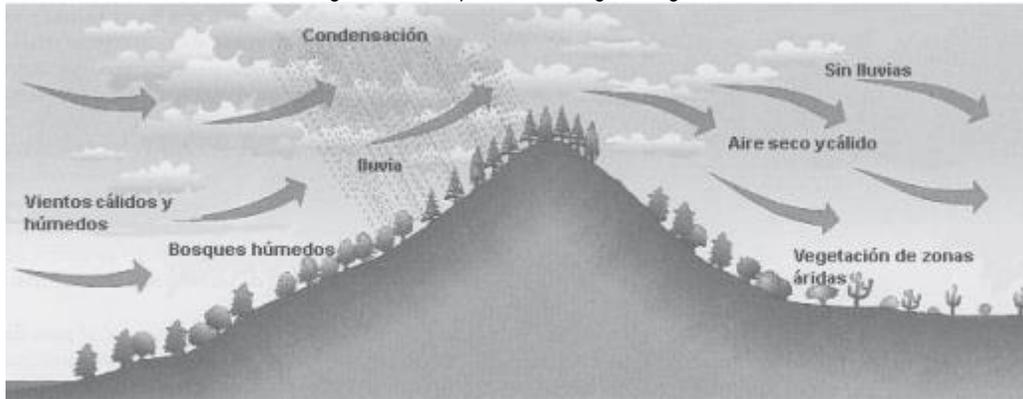


Fuente: Prieto y otros, 2014: 6.

- Formación de nubes por ascenso orográfico. Una corriente de aire con flujo horizontal que alcanza una barrera montañosa es forzada a ascender y, mientras se eleva, el aire tiende a enfriarse. Si el ascenso y el contenido de humedad son adecuados, ocurre la condensación del vapor de agua y la nube se forma en o sobre la barrera montañosa de dos posibles

maneras: si el aire es estable, la nube es de tipo *cumulus*, si el aire es ligeramente inestable y hay mayor inestabilidad atmosférica, puede desarrollarse una nube *cumulunimbus*. En la figura 29 se muestra el esquema de la formación de nubes por ascenso orográfico, así como la precipitación que tiene ese origen (Prieto y otros, 2014: 6).

Figura 29 Precipitación de origen orográfico



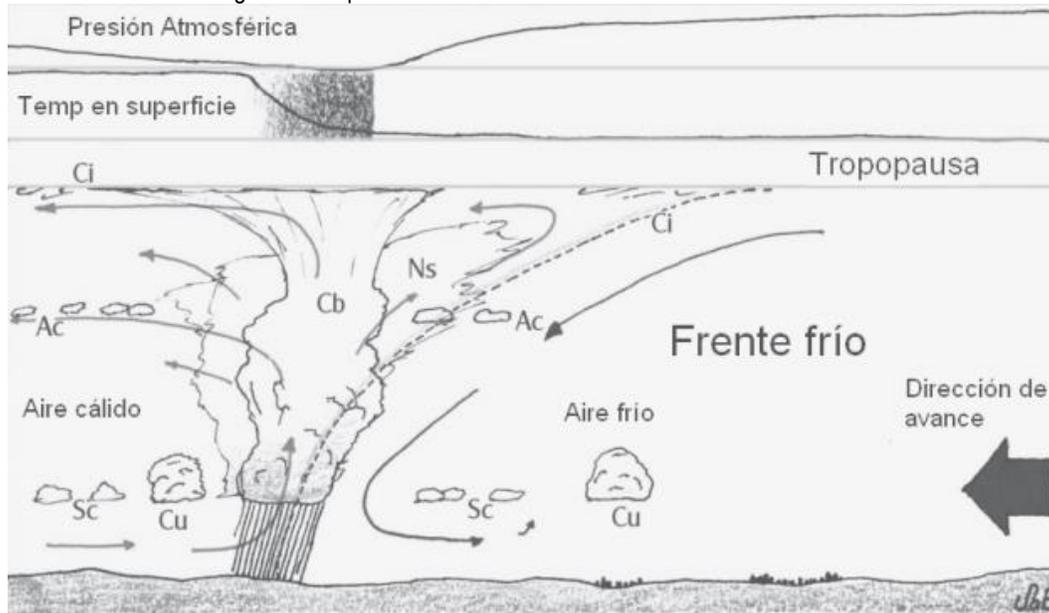
Fuente: Prieto y otros, 2014: 6.

4.6.3 Generación de tormentas severas por frentes fríos

Formación de nubes por convergencia / ascenso en general Cuando dos masas de aire tienen un movimiento horizontal y convergente hacia una región en particular generan ascenso del aire (movimiento convectivo) formando nubes de gran desarrollo vertical (por ejemplo, *cumulus congestus* y, sobre todo, *cumulunimbus*). Por ejemplo, el aire que se encuentra en un área amplia delante de un frente frío es levantado por la acción frontal debido a que éste actúa como una cuña. Generalmente, el aire asciende muy lentamente, posiblemente de 0.5 a 1.5 metros/ minuto y se enfría; si es bastante húmedo se condensa produciendo extensas capas de nubes de tipo estratiforme. Sin embargo, cuando el movimiento de los frentes fríos es muy rápido puede provocar un ascenso del aire mucho más rápido produciendo nubes de tipo *cumulunimbus* (Prieto y otros, 2014: 7).

La generación de tormentas severas por frentes fríos en meteorología, un frente es una franja de separación entre dos masas de aire de diferentes temperaturas, y se clasifican como fríos, cálidos, estacionarios y ocluidos, según sus características. La palabra frente tiene origen en el lenguaje militar (como frente de batalla) y se asemeja a una batalla porque el choque entre las dos masas produce una actividad muy dinámica de tormentas eléctricas, ráfagas de viento y fuertes aguaceros. Algunos frentes fríos se mueven rápidamente. Son fuertes y pueden causar perturbaciones atmosféricas tales como tormentas eléctricas, chubascos, tornados, vientos fuertes y cortas tempestades de nieve durante su paso, acompañadas de condiciones secas a medida que el frente avanza. Dependiendo de la época del año (otoño, invierno o primavera) y de su localización geográfica, los frentes fríos pueden presentarse con un periodo de entre 5 a 7 días en promedio. En la figura 30 se muestra un esquema de un corte transversal de un frente frío. La velocidad de desplazamiento del frente es tal, que el efecto del descenso brusco de temperatura se observa en pocas horas (Prieto y otros, 2014: 7).

Figura 30 Esquema de un corte transversal de un frente frío donde



Fuente: Prieto y otros, 2014: 7.

Ac = Alto cumulus, Cb = Cumulonimbus, Ci = Cirrus, Cu = Cumulus,
Ns = Nimbostratus y Sc = Estratocumulus

- Formas de precipitación. El término precipitación se usa para designar cualquier estado del agua que cae desde las nubes a la tierra. Existe una clasificación sobre los tipos de precipitación, pero generalmente se puede hablar de tres tipos: lluvia, granizo y nieve. Las nubes, al ascender, se expanden y al hacerlo se enfrían, provocando la condensación del vapor de agua. La condensación hace que la fuerza de gravedad supere a la fuerza de sustentación de las gotas y el agua caiga hacia el suelo, originándose las diferentes precipitaciones. Cada gota de lluvia puede estar formada por un millón de gotitas de agua que el aire es capaz de sostener. Dependiendo de la temperatura a la que se condense el vapor de agua puede formar gotitas o cristales de hielo. Cuando las gotitas de agua aumentan de tamaño y adquieren un peso suficiente, se produce la precipitación y caen a tierra. Si el aire está lo suficientemente caliente las partículas de hielo se funden y llegan al suelo en forma de lluvia. La precipitación no es igual todo el tiempo y se maneja una clasificación de acuerdo con la intensidad con la que caen las las gotas de agua o cristales de hielo (tabla 26) (Prieto y otros, 2014: 8).



Tabla 26 Clasificación de los diferentes tipos de precipitación

Tipos de Precipitación	Características
Gotas de llovizna	Gotitas de agua con peso suficiente para caer, las cuales tienen entre 0.2 y 0.5 mm en diámetro.
Gotas de lluvia	Gotas de agua con diámetro > 0.5 mm.
Lluvia torrencial	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, mayor a 150 mm.
Lluvia intensa	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 70 a 150 mm.
Lluvia fuerte	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 20 a 70 mm.
Lluvia moderada	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 5 a 20 mm.
Lluvia ligera	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 0.1 a 5 mm.
Lluvia congelada y llovizna congelada	Gotas de lluvia súper-enfriadas y gotas de llovizna que se congelan cuando llegan a una superficie con temperaturas menores a 0 °C.
Aguanieve	Mezcla de lluvia y nieve, pequeñas bolitas de hielotransparente, o copos de nieve que se han fundido y vuelto a helar.
Granos de nieve	Partículas de hielo, pequeñas, opacas, aplanadas y alargadas, que tienen un peso suficiente para caer al piso, pero que no se rompen o rebotan cuando golpean el suelo; con un diámetro > 1 mm.
Nieve	Cristales de hielo agrupados en patrones intrincados de formas geométricas.
Nieve muy ligera	Superficie cubierta o mojada parcialmente por la nieve.
Nieve ligera	Visibilidad > 1 km.
Nieve moderada	Visibilidad entre 500 m y 1 km.
Nieve fuerte	Visibilidad < 500 m.
Nieve húmeda	Altura de la nieve dividida por la altura de la misma cantidad de nieve derretida ≥ 10 .
Nieve seca	Altura de la nieve dividida por la altura de la misma cantidad de nieve derretida < 10 .
Granos de hielo	Las gotas de agua o los copos de nieve derretidos que caen a través de una capa de aire frío (temperatura menor a 0 °C) y se congelan antes de llegar al suelo. Generalmente rebotan y hacen un sonido audible cuando golpean el suelo.
Granizo	Granos de hielo que tienen un diámetro > 5 mm.
Granizo "blando"	Partículas de hielo opacas de un diámetro entre 2 y 5 mm; a menudo se rompen cuando llegan al suelo; se comprimen fácilmente cuando se aplastan.

Fuente: Prieto y otros, 2014: 8.

4.7 Tormentas Eléctricas

Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Las tormentas se asocian a nubes convectivas (cumulonimbus) y pueden estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos; pero en ocasiones puede ser nieve, nieve granulada, hielo granulado o granizo (OMM, 1993). Son de carácter local y se reducen casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados. Asimismo, el desarrollo económico y poblacional de las ciudades hace posible que ocurran con mayor frecuencia efectos negativos generados por tormentas eléctricas, por lo que es necesario implementar las medidas necesarias que minimicen sus efectos. El rayo es una descarga



electrostática que resulta de la acumulación de cargas positivas y negativas dentro de una nube de tormenta fotografía 18. Cuando las cargas adquieren la fuerza suficiente, aparecen los rayos, cuya manifestación visible es el relámpago, es decir, un destello de luz que se produce dentro de las nubes o entre éstas y el suelo. La mayor cantidad de relámpagos ocurren dentro de la nube, mientras que el 20% se presenta entre la nube y el suelo (Prieto y otros, 2014: 14-18):

- Características de las tormentas eléctricas. Una tormenta eléctrica se forma por una combinación de humedad, entre el aire caliente que sube con rapidez y una fuerza capaz de levantar a éste, como un frente frío, una brisa marina o una montaña. Todas las tormentas eléctricas contienen rayos, los cuales pueden ocurrir individualmente en grupos o en líneas, ver fotografía 18. El ciclo de duración de una tormenta es de sólo una o dos horas y empieza cuando una porción de aire está más caliente que el de su entorno, o bien, cuando el aire más frío penetra por debajo de ella. El estado de madurez de una tormenta está asociado con grandes cantidades de precipitación y rayos.

Un rayo alcanza una temperatura en el aire que se aproxima a los 30,000 grados centígrados en una fracción de segundo. El aire caliente provoca que éste se expanda rápidamente, produciendo una onda de choque que llega en forma de sonido llamado trueno, éste viaja hacia fuera y en todas direcciones desde el rayo.

Los rayos pueden ser de los siguientes tipos: a) Nube-aire. La electricidad se desplaza desde la nube hacia una masa de aire de carga opuesta. b) Nube-nube. El rayo puede producirse dentro de una nube con zonas cargadas de signo contrario. c) Nube-suelo. Las cargas negativas de las nubes son atraídas por las cargas positivas del suelo.

Fotografía 18 Tormenta eléctrica en el estado de Nayarit, 17 de julio de 2006. *La Jornada*



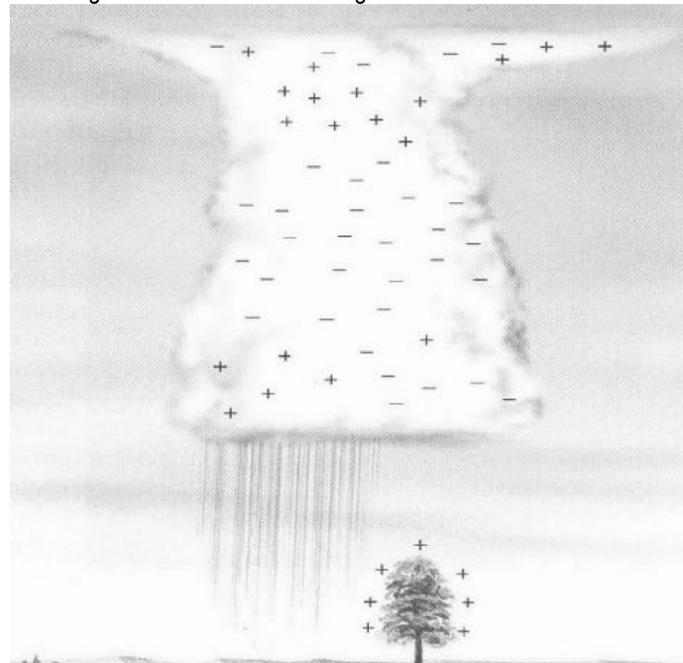
Fuente: Prieto y otros, 2014: 14.

- Datos generados por las tormentas eléctricas. Los efectos de las tormentas eléctricas van desde herir o causar el deceso de una persona de forma directa o indirecta hasta dañar la infraestructura de la población, que provocaría la suspensión de la energía eléctrica, además de afectar algunos aparatos (radio, televisión, computadoras, refrigeradores, etc.). En ocasiones, las descargas eléctricas pueden provocar la muerte del ganado y son la

causa más común del retraso de las aeronaves y de los accidentes aéreos, siendo el mayor peligro para la aviación. Los riesgos asociados a los rayos especialmente aquéllos que pueden producir heridos y decesos, han sido estudiados por países como Estados Unidos de América, Canadá y Reino Unido, entre otros. Dichos trabajos se refieren a la exposición de las personas durante una tormenta eléctrica y sus consecuencias, las cuales pueden ser parálisis, quemaduras, intensos dolores de cabeza, pérdida de audición y de la memoria, hasta llegar a la muerte.

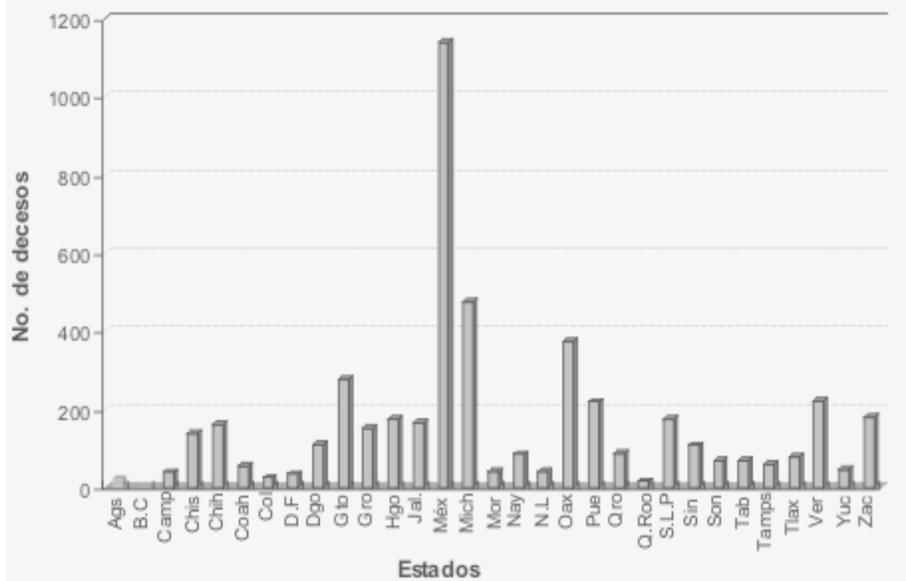
En México se registran, desde 1985 el número de decesos generados por el alcance de rayos. En los últimos 22 años se reportaron 4,848 defunciones en 31 estados del país; en promedio, al año se llegan a presentar 220 pérdidas humanas por tormentas eléctricas. El único estado que no ha registrado muertes es Baja California Sur, mientras que en el Estado de México se localiza el mayor número de casos, con 1,140 figura 31. Asimismo, en 1985 se presentó el mayor número de pérdidas humanas con 358, mientras que en 2006 fueron sólo 116, es decir, hubo una disminución de más del 50% figura 32 y 33. Este decremento se debió probablemente a que la gente conoce mejor el fenómeno y sus consecuencias, así como las medidas de protección.

Figura 31. Distribución de cargas en una nube de tormenta



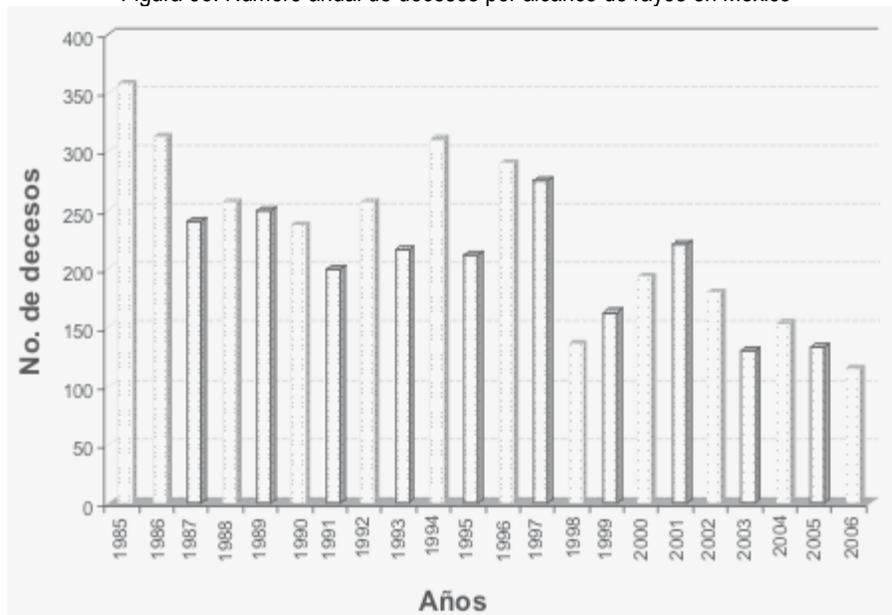
Fuente: Prieto y otros, 2014: 15.

Figura 32. Número de decesos por alcance de rayos durante 1985-2006. Secretaría de Salud, 2007



Fuente: Prieto y otros, 2014: 16.

Figura 33. Número anual de decesos por alcance de rayos en México

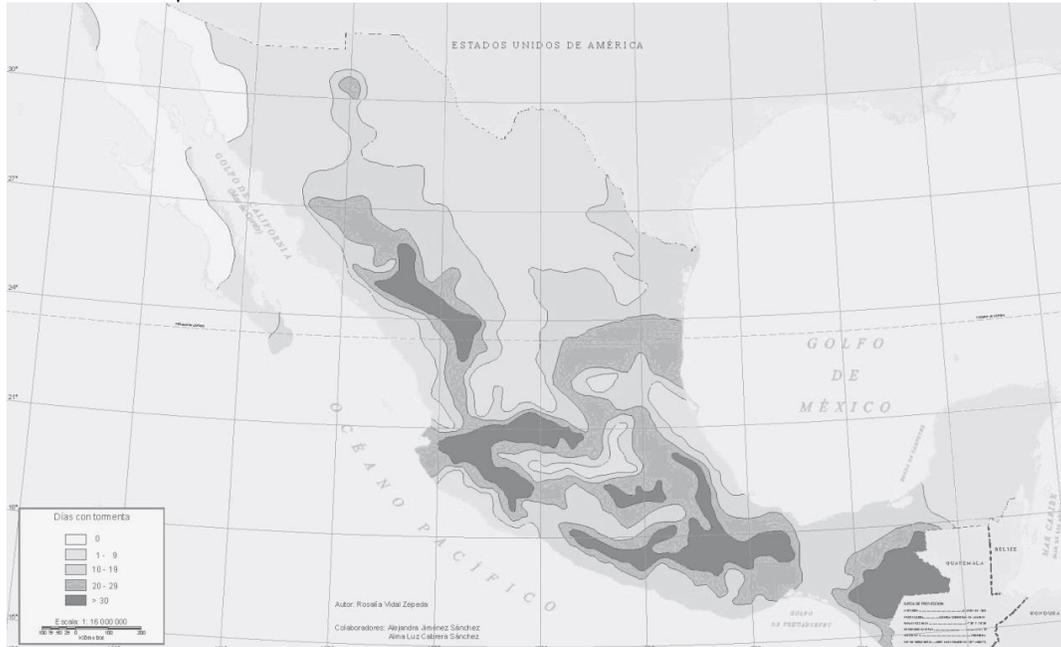


Fuente: Prieto y otros, 2014: 16.

- Distribución de las tormentas eléctricas en México. Las tormentas eléctricas en México ocurren entre mayo y octubre. Se presentan con mayor frecuencia durante horas de la tarde o de la noche. Además, su ámbito es local o regional y son intermitentes como resultado de la topografía del país. Así, el promedio anual de días con tormenta es de 30 y el máximo es de 100 sobre las sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre del Sur, Madre de

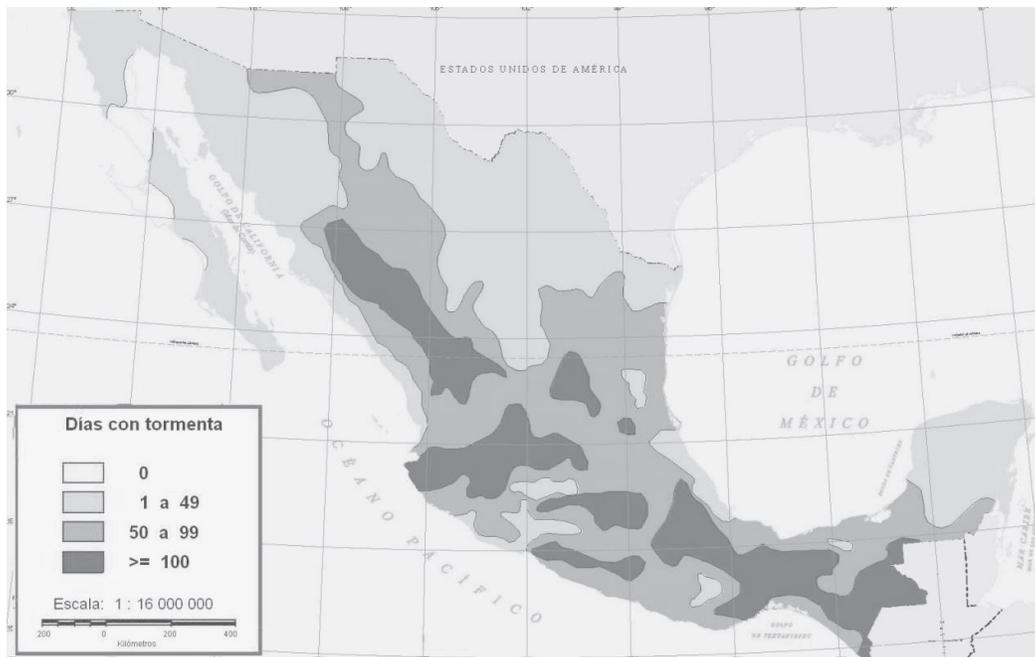
Chiapas, Montañas del Norte de Chiapas y Sistema Volcánico Transversal mapa 18 y 19. Por otra parte, las nubes convectivas de gran desarrollo vertical, como las que ocurren en la cuenca de México durante la temporada de lluvias, generalmente desarrollan campos eléctricos en su interior, resultado de la interacción entre las gotitas de agua a temperaturas por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, el granizo y los cristales de hielo

Mapa 18. Promedio anual de días con tormenta eléctrica en México. UNAM, 2007



Fuente: (Prieto y otros, 2014: 17).

Mapa 19. Máximo anual de días con tormenta eléctrica en México. UNAM, 2007



Fuente: (Prieto y otros, 2014: 18).



4.8 Tormentas de Nieve (nevadas)

Las tormentas de nieve son una forma de precipitación sólida en forma de copos. Un copo de nieve es la aglomeración de cristales transparentes de hielo que se forman cuando el vapor de agua se condensa a temperaturas inferiores a la de solidificación del agua. La condensación de la nieve tiene la forma de ramificaciones intrincadas de cristales hexagonales planos en una variedad infinita de patrones. Los copos de nieve tienen diferentes formas y tamaño, ello depende de la temperatura y humedad de la atmósfera, aunque todos presentan estructuras hexagonales. Fotografía 16 debido a la manera en cómo se agrupan las moléculas de oxígeno e hidrógeno al congelarse el agua (Prieto y otros, 2014: 23).

Los fenómenos meteorológicos que provocan las nevadas son los que ocurren generalmente durante el invierno, como son las masas de aire polar y los frentes fríos, que en algunas ocasiones llegan a interactuar con corrientes en chorro, líneas de vaguadas, y entrada de humedad de los océanos hacia tierra. Estos fenómenos provocan tormentas invernales que pueden ser en forma de lluvia, aguanieve o nieve (ver fotografía 17) (Prieto y otros, 2014: 23-25):

Fotografía 16 Ejemplo de forma de los copos de nieve



Fuente: Prieto y otros, 2014: 23.

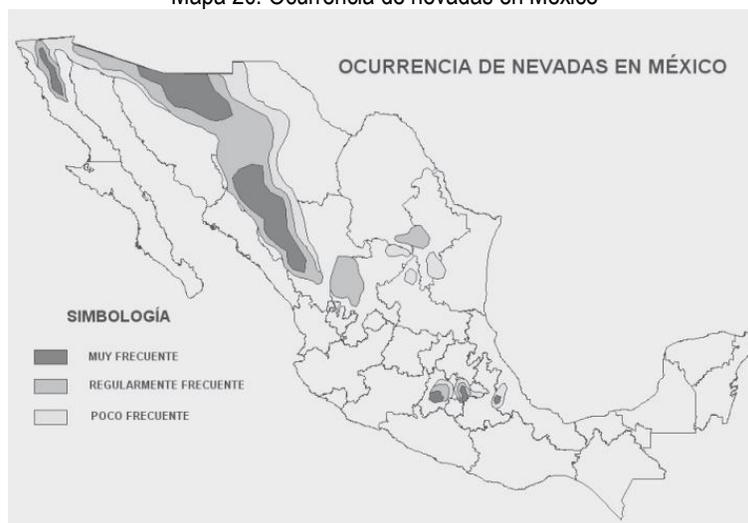
Fotografía 17. Nevadas de San Pedro Mártir, Baja California. Cortesía Hayde Bustamante



Fuente: Prieto y otros, 2014: 23.

- Daños generados por las nevadas. Los efectos negativos de las nevadas en la población son las bajas temperaturas que se asocian a ellas, que pueden provocar enfermedades en las vías respiratorias o en el peor de los casos, muerte por hipotermia lo cual ocurre, sobre todo, a indigentes o personas de bajos recursos económicos, por habitar en viviendas precarias. En las ciudades, las nevadas pueden ocasionar graves daños como son: el desquiciamiento del tránsito, apagones y taponamiento de drenajes, acumulación de nieve en los techos de las casas y su colapso, bloqueo de caminos, congelamiento de la red de agua potable, suspensión de las actividades aéreas, suspensión de labores y clases en las escuelas. En las zonas rurales, si el fenómeno es de poca intensidad, no provoca daños importantes a la agricultura; en cambio, si la nevada es fuerte, la afectación puede ser extensa, dependiendo del tipo de cultivo y de la etapa de crecimiento en la que se encuentre, el ganado que está a la intemperie puede morir congelado, etc.
- Distribución de las nevadas en México. Debido a la situación geográfica de nuestro país son pocas las regiones que padecen de nevadas, siendo más acentuado este fenómeno en regiones altas como montañas o sierras, principalmente, durante el invierno. Un caso extraordinario ocurrió en el invierno de 1967, donde aproximadamente el 50% del territorio nacional resultó afectado por una nevada, incluso en el Valle de México. Las nevadas principalmente ocurren en el norte del país y en las regiones altas, y rara vez se presentan en el sur. Durante la estación invernal en las sierras del estado de Chihuahua suceden en promedio más de seis nevadas al año, mientras que en algunas regiones al norte de Durango y Sonora, las nevadas tienen una frecuencia de tres veces al año mapa 20. También se han registrado nevadas que han afectado a las ciudades del centro del país, como las de Toluca, México, Puebla, Tlaxcala y San Luis Potosí. Eventualmente pueden formarse nevadas en el altiplano de México por la influencia de las corrientes frías provenientes del norte del país. Históricamente las zonas donde su ocurrencia es más frecuente son los volcanes como el Pico de Orizaba, Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca; también en las sierras de Chihuahua, Durango, Sonora, Coahuila, Baja California y Nuevo León y, en menor frecuencia, en la zona del Bajío (Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Jalisco), así como en las partes altas del Valle de México, como es el Ajusco.

Mapa 20. Ocurrencia de nevadas en México





Fuente: Prieto y otros, 2014: 25.

4.9 Tormentas de Granizo (granizadas)

Las tormentas de granizo se asocian, pues, a nubes de enorme desarrollo vertical, generalmente cumulonimbos, esto es, nubes de gran desarrollo vertical, con una base a poca altitud (unos 800 m del suelo), y cuya altura llega algunas veces hasta los 9.000 y 10.000 metros, siendo su ascenso detenido por la discontinuidad de la tropopausa. Su base horizontal, que alcanza tonalidades muy oscuras, puede ocupar hasta 30 km. de ancho. Su parte superior es generalmente aplanada y en forma de «yunque». Están constituidos por gotitas de agua, cristales de hielo, gotas de lluvia, y suelen presentarse aisladamente o en filas en forma de muralla. En estas nubes se producen energéticos movimientos ascendentes y descendentes de viento advectivas (Olcina y Mejías, 2002).

La formación de granizo está vinculada a dos tipos de tormenta, las tormentas *advectivas* y las tormentas *convectivas*. Las primeras se relacionan con los frentes nubosos de una borrasca, teniendo un carácter emigrante y cuya aparición se puede producir en cualquier época del año y a cualquier hora del día o de la noche; en estas situaciones el granizo formado suele ser de pequeño tamaño (granular). Por contra las tormentas *convectivas* tienen carácter local y suelen presentarse durante las tardes de la primavera y el verano, cuando el aire cálido y húmedo próximo al suelo es desalojado por otro más frío de los niveles altos de la atmósfera, en las solanas de las zonas próximas a embalses, o bien cuando las brisas marinas costeras son disparadas hacia la vertical por las montañas cercanas al litoral. En estos casos el granizo formado es de mayor tamaño y precipita con mayor intensidad que en las situaciones advectivas (Olcina y Mejías, 2002).

La génesis del granizo se produce en el interior de potentes formaciones nubosas, donde coexisten cristales de hielo junto a diminutas gotas de agua en estado de subfusión, que se ven sometidos a una temperatura que oscila entre los -5°C y -15°C . La precipitación de los nódulos de granizo no es un proceso sencillo, pues para su consecución son necesarias unas condiciones muy determinadas, que contraponen la fortaleza de las corrientes de aire existentes en el interior de estas nubes con la gravedad. Es con el aumento del tamaño de los cristales cuando se produce su precipitación a través de la nube, arrastrando en este proceso tanto a cristales de hielo como a gotas de agua. Durante el descenso, estos núcleos de hielo son empujados por fuertes corrientes de aire ascendente que llegan a superar los 30 m/seg. Este proceso de ascenso y descenso se repite un número indeterminado de veces, añadiéndose nuevas gotas de agua que aumentan su grosor en capas concéntricas, hasta que su tamaño impide que sean transportados por las corrientes de aire y, por efecto de la gravedad, caen al suelo advectivas (Olcina y Mejías, 2002).

Por tanto, su diámetro responde a la entidad de la corriente de viento ascendente. La formación de un núcleo de 8 cm de diámetro, por ejemplo, precisa corrientes de ascenso de 200 km/h. Los cristales del granizo presentan capas opacas y transparentes, según la fase de congelación que las genere: la congelación rápida de las gotas subenfriadas sobre el granizo, englobando aire intermedio, en partes de la nube con bajo contenido en agua líquida, origina las capas opacas del granizo, mientras que las transparentes se deben a la congelación lenta de gotas subenfriadas sobre el núcleo inicial, en zonas de la nube con alta concentración de agua. El granizo permanece poco tiempo en el interior de la nube, calculándose un período máximo de media hora entre su formación y precipitación. El marcado carácter local de este fenómeno se refleja en su forma de precipitar, a través de una estructura de *calle*s o franjas. Este proceso, ligado al desplazamiento del

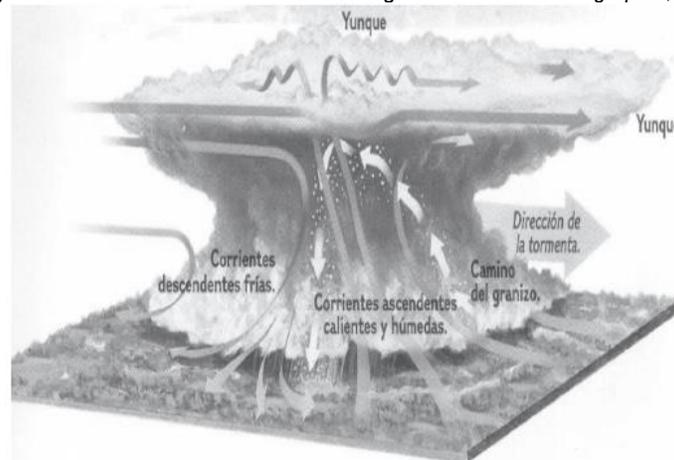


cumulonimbo tormentoso, provoca que pueda azotar a una finca y, sin embargo, no afecte a la colindante (Olcina y Mejías, 2002).

Así también, el granizo es un tipo de precipitación en forma de piedras de hielo y se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo *cumulunimbus* figura 34 son arrastrados por corrientes ascendentes de aire. Las piedras de granizo se forman dentro de una nube *cumulunimbus* a alturas superiores al nivel de congelación y crecen por las colisiones sucesivas de las partículas de hielo con gotas de agua sobreenfriada, esto es, el agua que está a una temperatura menor que la de su punto de solidificación, pero que permanece en estado líquido y queda suspendida en la nube por la que viaja. Cuando las partículas de granizo se hacen demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire, caen hacia el suelo. El tamaño de las piedras de granizo está entre los 5 milímetros de diámetro hasta pedriscos del tamaño de una pelota de golf y las mayores pueden ser muy destructivas, como para romper ventanas y abollar la lámina de los automóviles, pero el mayor daño se produce en los cultivos o a veces, varias piedras pueden solidificarse formando grandes masas de hielo y nieve sin forma (Prieto y otros, 2014: 28).

El depósito del granizo sobre la superficie terrestre exhibe un patrón angosto y largo a manera de un corredor. La mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20 y 50, tanto en el hemisferio norte como en el sur (Prieto y otros, 2014: 28-29):

Figura 34. Formación de las tormentas de granizo. *National Geographic*, 1998



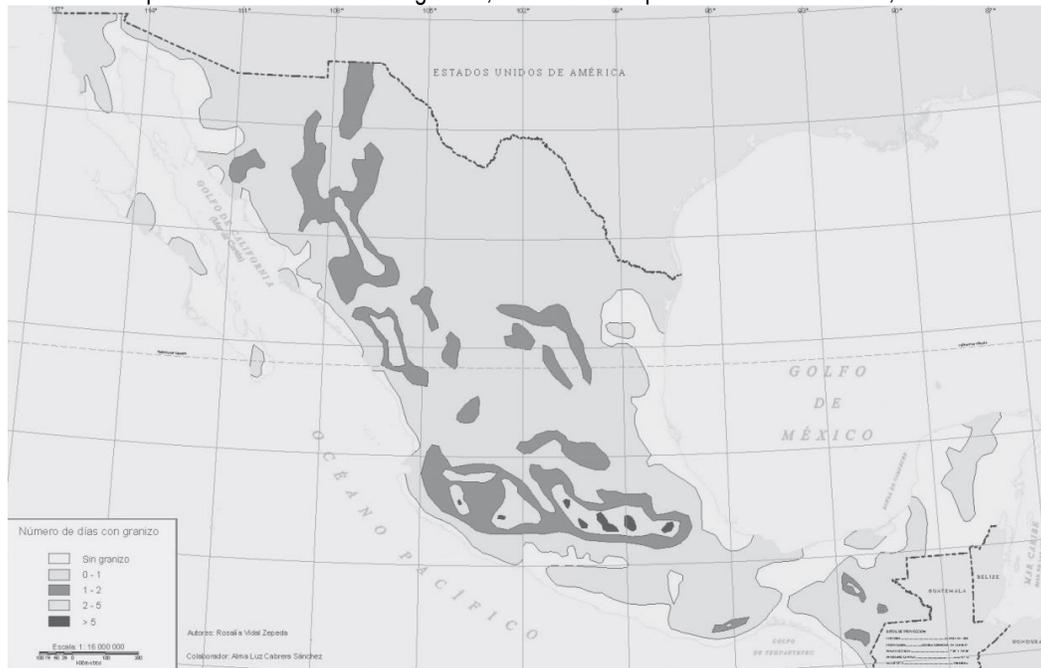
Fuente: Prieto y otros, 2014: 28.

- Daños que causan las tormentas de granizo (granizadas). En México los daños más importantes por granizadas se presentan principalmente en las zonas rurales, ya que se destruyen las siembras y plantíos, causando, en ocasiones, la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones, alcantarillas y vías de transporte y áreas verdes cuando se acumula en cantidad suficiente puede obstruir el paso del agua en coladeras o desagües, generando inundaciones o encharcamientos importantes durante algunas horas. La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño.



- Distribución de las granizadas en México. En la República Mexicana se producen granizadas principalmente en la región del altiplano, particularmente en los valles de la porción sur de éste y en la Sierra Madre Occidental, así como en la Sierra Madre del Sur y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora mapa 21. Las ciudades que con mayor frecuencia son afectadas son Puebla, Pachuca, Tlaxcala, Zacatecas y el Distrito Federal, donde se tiene la mayor incidencia, durante los meses de mayo, julio y agosto.

Mapa 21. Número de días con granizo, al año en la República Mexicana. UNAM, 2007



Fuente: Prieto y otros, 2014: 29.

4.10 Tornados

Un tornado es la perturbación atmosférica más violenta en forma de *vórtice*, el cual aparece en la base de una nube de tipo *cumuliforme*, resultado de una gran inestabilidad, provocada por un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica alrededor de éste. De acuerdo con el Servicio Meteorológico de los EUA (NWS, 1992), los tornados se forman cuando chocan masas de aire con diferentes características físicas de densidad, temperatura, humedad y velocidad, fotografía 20 (Prieto y otros, 2014: 34).

Algunos tornados están constituidos por un solo vórtice, mientras que otros forman un sistema de varios de ellos que se mueven en órbita alrededor del centro de la circulación más grande del tornado. Estos vórtices se pueden formar y desaparecer en segundos, fotografía 21a y b (Prieto y otros, 2014: 34).

Cuando se observa un tornado se puede distinguir una nube de color blanco o gris claro, mientras que el vórtice se encuentra suspendido de ésta; cuando el vórtice hace contacto con la tierra se presenta una nube de un color gris oscuro o negro debido al polvo y escombros que son succionados del suelo por la violencia del remolino. Estos vórtices llamados también chimeneas o mangas, generalmente rotan en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte y al



contrario en el hemisferio sur. En algunas ocasiones se presentan como un cilindro, con dimensiones que pueden ser desde decenas de metros hasta un kilómetro; el diámetro puede variar ligeramente entre la base de la nube y la superficie del suelo (Prieto y otros, 2014: 34).

Fotografía 20 Tornado en Estados Unidos



Fuente: Prieto y otros, 2014: 34.

Fotografía 21 Tornado en Estados Unidos

a)



b)



Fuente: Prieto y otros, 2014: 34.

En la tabla 27, se presentan las diferencias que existen entre un tornado, un huracán y un remolino, con el fin de dejar claro que son fenómenos distintos. Dentro de un huracán se pueden registrar tornados, pero no viceversa, con lo cual se marca la primera gran diferencia; un huracán tiene una mayor escala de desarrollo y un tornado es de carácter local (la rapidez con la que ocurre lo hace más peligroso). Es importante señalar que el remolino no se deriva de una tormenta severa (Prieto y otros, 2014: 35-41):

Tabla 27. Diferencias entre tornado, huracán y remolino

	Tornado	Huracán	Remolino
Origen	Se origina sobre la superficie de la tierra o en un cuerpo de agua. Se desarrolla por una inestabilidad atmosférica.	Se forman sobre los océanos cuando la temperatura de la superficie del agua es superior a 27 °C.	Se desarrollan sobre la superficie de la tierra, cuando dos corrientes superficiales de aire chocan (derivado de las altas temperaturas lo que origina el almacenamiento de grandes cantidades de energía).
Latitud	Se forman entre 15° y 50° Norte y Sur.	Se forman por lo común entre 5° y 15° en ambos hemisferios.	Se forman sobre tierra a cualquier latitud.
Velocidad del viento (km/h)	La velocidad del viento varía entre 60 y 420 km/h, en algunos casos excede los 500 km/h.	La velocidad del viento varía de 120 y 240 km/h y en ciertas ocasiones, sobrepasa los 250 km/h.	La velocidad del viento no excede de 20 km/h
Diámetro	El promedio es de 250 metros, oscilando entre los 100 metros y 1 km.	Puede variar de 500 a 1,800 km.	Es muy variable, puede ser de 1 a 100 metros.
Ciclo de vida	Los tornados tienen una duración que va desde unos minutos a algunas horas en casos muy excepcionales	Los huracanes duran desde unos pocos días a algunas semanas.	Los remolinos se manifiestan en periodos cortos de duración de segundos a minutos.
Asociados a otros fenómenos	Se producen en conexión con líneas de inestabilidad, frentes o nubes de tormentas. Los puede originar un huracán	No están asociados a ningún frente.	No están asociados a ningún frente o nube de tormenta

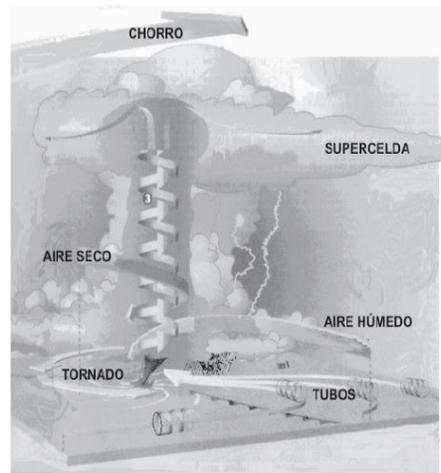
Fuente: Prieto y otros, 2014: 35.

- Clasificación de los tornados. Los tornados según su origen se pueden clasificar en:
 - Tornados Superceldas. Estos tornados tienen su origen en una tormenta severa de larga duración cuyo viento se encuentra en rotación, conocida como *mesociclón o supercelda*. Se forma cuando una columna de nube *cumulunimbus* genera corrientes ascendentes dentro de ella misma, puede llegar a extenderse hasta



algunos kilómetros de diámetro, lo que origina un tipo de tormenta convectiva con ciertas condiciones que pueden generar fuertes vientos, grandes granizadas y tornados violentos que puede devastar sobre una larga trayectoria (para mayor explicación ver el apartado Génesis de las Tormentas Severas). En la figura 35 se observa que las fuertes corrientes ascendentes dentro de la supercelda atraen las corrientes de aire del entorno, de manera que la rotación se va concentrando e incrementando. A medida que la rotación incrementa su velocidad, las corrientes se convierten en una columna estrecha y giratoria.

Figura 35. Formación de un tornado



Fuente: Prieto y otros, 2014: 36.

- Tornados no-superceldas. Los tornados no-superceldas suelen ser de menor magnitud a diferencia de los tornados superceldas. El meteorólogo Bluestein de la Universidad de Oklahoma, utilizó por primera vez el término *Landspout* para identificar un tipo distinto de tornados. Este tipo de tornados se forma cuando una nube *cumulopus congestus*, en rápida formación, atrae el aire que circula lentamente y de manera giratoria en los niveles inferiores de la superficie de la tierra. En la fotografía 22 se muestra un tornado no-supercelda o *Landspout* en San José Notario, municipio de Huamantla, en el estado de Tlaxcala, el 29 de mayo de 2007. Los tornados no-supercelda que ocurren en el mar o en otro cuerpo de agua reciben el nombre de tromba o *waterspout* (Smith R, 1996). Es importante aclarar que una tromba es un tornado que se forma o transita sobre un cuerpo de agua, como un río, un lago o el mar. Está íntimamente relacionada con una nube *cumulunimbus*, como subproducto de una tormenta eléctrica severa de carácter local. Suelen ser peligrosos ya que representan una amenaza para los barcos, aviones o cualquier ser vivo; algunos meteorólogos, como Llaugé (1971) sugieren que éstos se forman en un montículo líquido de casi un metro de alto debido a que la presión en el agua es mayor que la existente en el aire del vórtice, lo que obliga a que la superficie del agua se eleve fotografía 23.

Fotografía 22 *Landspout* en San José Notario, Huamantla, Tlaxcala



Fuente: Prieto y otros, 2014: 37.



Fotografía 23. Tromba o Waterspout en la zona petrolera del activo Cantarell, Campeche. 06-09-07



Fuente: Prieto y otros, 2014: 37.

- Daños que causan los tornados. Los tornados pueden ser locales, pero la rapidez con que se desarrollan los hacen muy peligrosos para la gente. Los daños que ocasionan son diversos, entre los que destacan: pérdidas económicas a la agricultura, a las viviendas, a la infraestructura urbana, lesiones, cortaduras e incluso, pérdidas humanas. Los daños de los tornados son el resultado de la combinación de varios factores:
 - La fuerza del viento provoca que las ventanas se abran, se rompan cristales, haya árboles arrancados de raíz y que automóviles, camiones y trenes sean lanzados por los aires.
 - Los impactos violentos de los desechos que porta y que son lanzados contra vehículos, edificios y otras construcciones, etc.
 - La baja presión del interior del tornado, provoca la falla de algunos elementos estructurales y no estructurales sobre las que se posa, como las ventanas.

Existen varias escalas para medir la intensidad de un tornado, pero la aceptada universalmente es la Escala de Fujita (también llamada Fujita-Pearson Tornado Intensity Scale), elaborada por Tetsuya Fujita y Allan Pearson de la Universidad de Chicago en 1971. Esta escala se basa en la destrucción ocasionada a las estructuras realizadas por el hombre y no al tamaño, diámetro o velocidad del tornado. Por lo tanto, no se puede calcular su intensidad a partir de la observación directa; se deben evaluar los daños causados por el meteoro. Hay seis grados (del 0 al 5) y se antepone una F en honor del autor. A diferencia de los Estados Unidos de América, en México no existe sistema alguno que permita alertar la presencia de este fenómeno hidrometeorológico; sin embargo, ya comienza a haber instrumentación capaz de detectar superceldas y, tal vez, tornados, como es el caso del radar Doppler "Mozotal", recientemente instalado en el estado de Chiapas, operado por el Servicio Meteorológico Nacional, y cuya imagen puede ser consultada en la página de internet de esta institución.



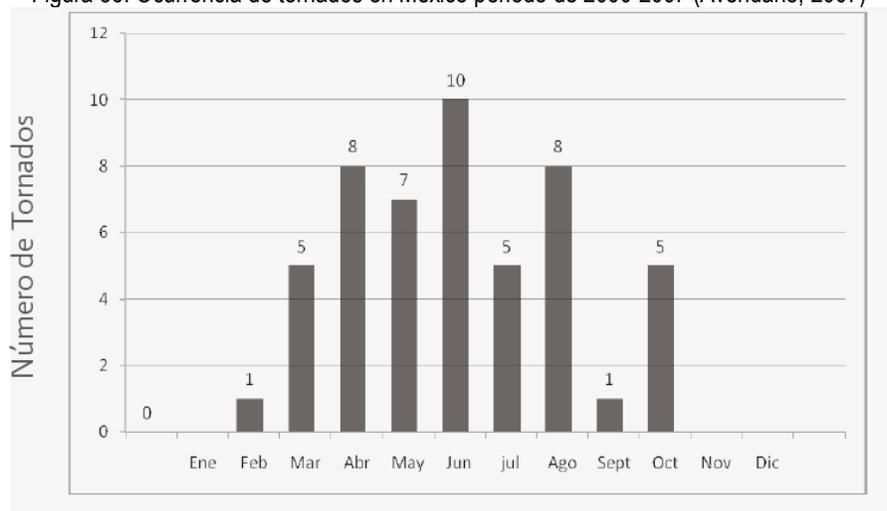
Tabla 28. Escala de Fujita para tornados, basada en los daños causados (1971)

Número en la escala	Denominación de intensidad	Velocidad del viento km/h	Tipo de daños
F0	Vendaval	60-100	Daños en chimeneas, rotura de ramas, árboles pequeños rotos, daños en señales y rótulos.
F1	Tornado moderado	100-180	Desprendimiento de algunos tejados, mueve coches y camper, arranca algunos árboles pequeños.
F2	Tornado importante	180-250	Daños considerables. Arranca tejados y grandes árboles de raíz, casas débiles destruidas, así como objetos ligeros que son lanzados a gran velocidad.
F3	Tornado severo	250-320	Daños en construcciones sólidas, trenes afectados, la mayoría de los árboles son arrancados.
F4	Tornado devastador	320-420	Estructuras sólidas seriamente dañadas, estructuras con cimientos débiles arrancadas y arrastradas, coches y objetos pesados arrastrados.
F5	Tornado increíble	420-550	Edificios grandes seriamente afectados o colapsados, coches lanzados a distancias superiores a los 100 metros, estructuras de aceros sufren dañados.

Fuente: Prieto y otros, 2014: 38.

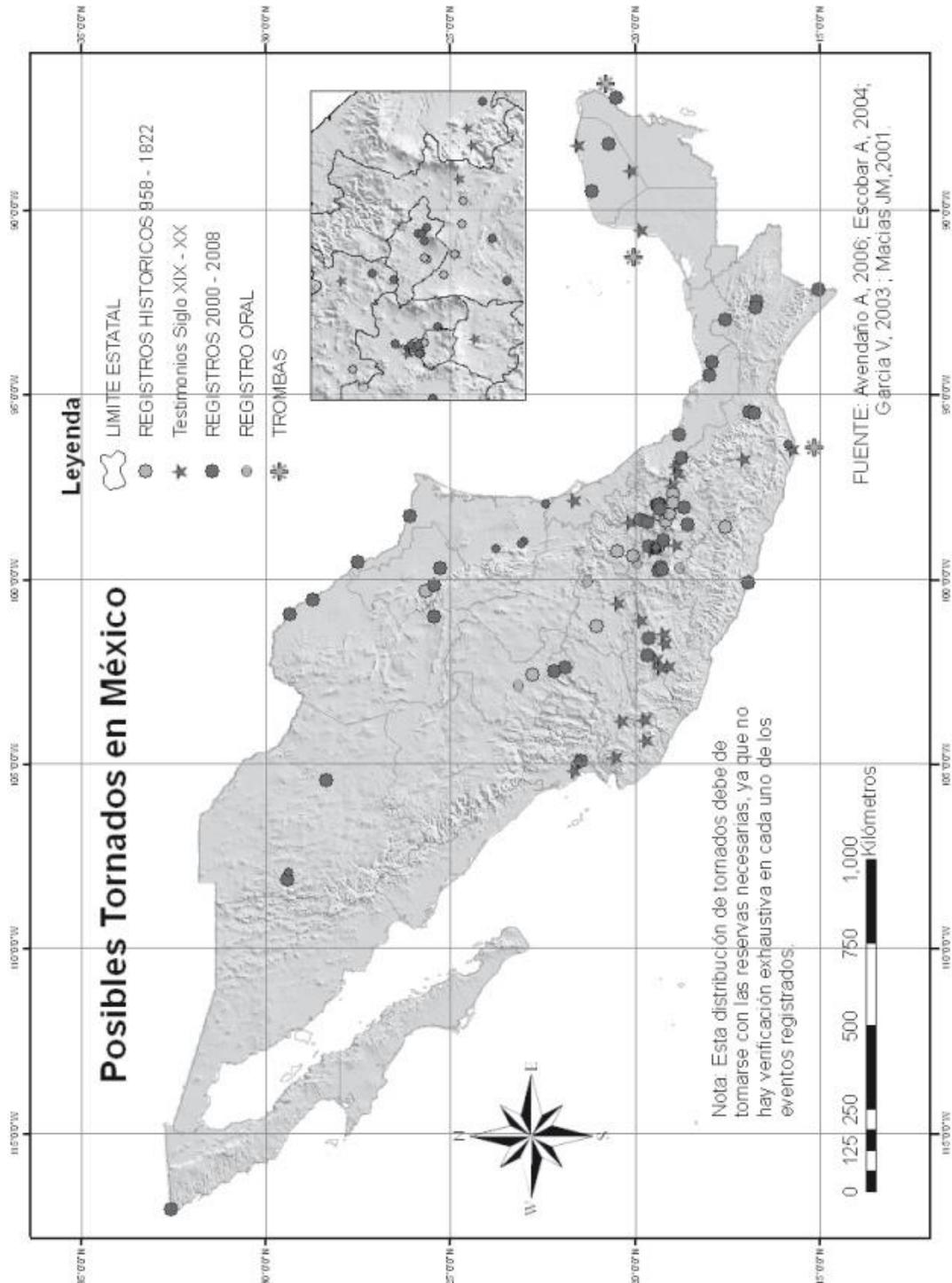
- Distribución de los tornados en México. En nuestro país se presentan las condiciones meteorológicas necesarias para la formación de los tornados superceldas y no-superceldas (Macías, 2001). En algunos lugares se presentan estacionalmente y en otros esporádicamente. En la actualidad, los registros que se han logrado recabar para conocer la frecuencia e intensidad de estos fenómenos, además de su localización geográfica, son pocos, remitiéndose exclusivamente a una recopilación de información existente entre testimonios históricos en la época de 1822 y 1958, siglo XIX y XX, notas periodísticas 2000-2007 e información popular obtenida en trabajo de campo, la cual se muestra en la figura 36 (Avendaño, 2006). Esta distribución de tornados debe de tomarse con las reservas necesarias, ya que no hay una validación en cada uno de los eventos registrados. Como se puede observar, la presencia del fenómeno se percibe entre los meses de febrero a octubre, siendo abril, junio y agosto los meses con mayor actividad. Es necesario mencionar que la falta de estudios y estadísticas sobre el tema no garantiza que el comportamiento mostrado en la gráfica sea confiable, ya que el fenómeno no guarda un patrón de comportamiento definido, aunque sí está asociado con la temporada de lluvias (ver mapa 22).

Figura 36. Ocurrencia de tornados en México periodo de 2000-2007 (Avendaño, 2007)



Fuente: Prieto y otros, 2014: 39.

Mapa 22. Ocurrencia de tornados en México con base en reportes periodísticos e investigación de campo



Fuente: Prieto y otros, 2014: 40.

En el campo son bien conocidos los tornados por los campesinos. Históricamente en las regiones rurales la gente los ha enfrentado de diversas maneras, según sus creencias y tradiciones. En México se puede encontrar una innumerable cantidad de nombres que



aluden al fenómeno tornádico: “culebras” o “víboras de agua” o “granizo” y “de aire”, “colas de nube” o “colas”, “dragón”, “serpiente”, “cutzanda”, “manga de agua” o “manga”, “tromba”, etc. En la fotografía 24 se muestran algunas fotografías de tornados que se han presentado en la República Mexicana: a) Tornado en Tzitzuntzan, Michoacán. Según las personas el suceso se dio alrededor de las 16:30 p.m. del sábado 26 de agosto de 2000. b) El tornado de Huitzilzingo, Chalco, Estado de México, sábado 10 de febrero de 2007. c) Tornado en los llanos de Apan Hidalgo, México, 1 de abril de 2002. d) Waterspout o tromba en la zona petrolera del activo Cantarell, ciudad del Carmen, Campeche, 6 de septiembre de 2007. e) El tornado de San José Notario, Huamantla, Tlaxcala, 29 de mayo de 2007.

Fotografía 24 Testimonio fotográfico de tornados en la República Mexicana





Fuente: Prieto y otros, 2014: 41.

4.11 Medidas Preventivas y de mitigación.

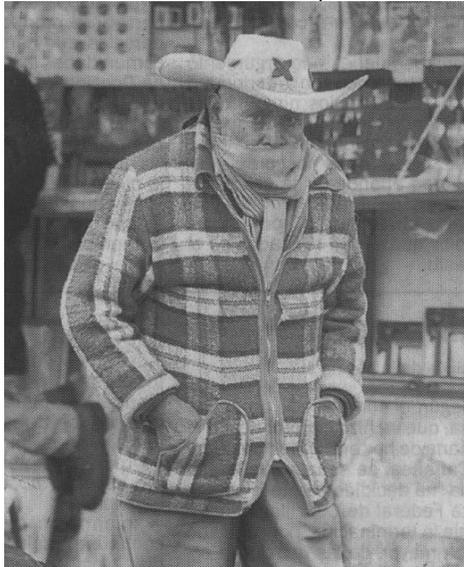
Las medidas preventivas y de mitigación de las “heladas” son las siguientes (Matías y otros, 2001: 16-19):

- Medidas de protección contra las heladas. A lo largo de la historia del planeta, los seres humanos han luchado contra las inclemencias del tiempo, hasta el grado de lograr una adaptación a los distintos climas; tal es el caso de los esquimales. Ellos se protegen contra el frío al mantener una distribución equilibrada de grasa subcutánea y esta es una ventaja fisiológica, además de su constitución fornida.
- Medidas de protección en las personas. Durante el periodo invernal ocurren problemas en la salud de la población, especialmente en los niños y personas de la tercera edad, por presentar niveles bajos de defensa. Si se recuerda que el calor corporal de 37° permite sobrevivir a los humanos de manera cómoda y sana, las variaciones por encima o por debajo de ésta provocan enfermedades como hipotermia y congelamiento o en caso contrario hipertermia si la temperatura es excesiva (ver fotografía 25).



- Medidas de protección en cultivos. La preocupación de los agricultores para proteger sus cultivos de las heladas se debe a las fuertes pérdidas económicas y naturales que pueden presentarse durante el ciclo agrícola. Existen varios métodos para reducir los efectos de las heladas en cultivos, los cuales se agrupan en indirectos (o pasivos) y directos (o activos). Los métodos indirectos disminuyen la afectación durante el periodo de helada, por la elección apropiada de las especies, variedades, épocas de cultivo y ubicación de las distintas plantas. Los métodos directos se basan en acciones tomadas antes y durante el periodo de peligro de la helada. En algunos, se reduce la pérdida de calor del suelo protegiéndolo con cajones, cestos, entablillados de madera, u otros elementos vegetales, o bien, produciendo nieblas o humos artificiales en la capa de aire adyacente a la superficie del suelo y reponen las pérdidas de calor agregando una cierta cantidad de él.
- Métodos directos (activos). Entre otros métodos están los siguientes:
 - a) Protección o cubierta de los cultivos (plástico, fibra de vidrio, red, túneles, calentadores, aluminio pulverizado y aislador de espuma) y hasta barreras forestales. Por ejemplo, los abrigos de fibra de vidrio son grandes aisladores de calor para las plantas, presentan un tiempo de duración moderado, asimismo ayudan a una rápida regeneración en caso de ocurrir una helada y su costo es relativamente barato. Una desventaja es que propician que las hormigas se concentren, además de ser más difícil de instalar y manipular que otros abrigos (ver fotografía 26a y b).

Fotografía 25. Las heladas afectan la salud de los campesinos, además de dañar los cultivos



Fuente: Matías y otros, 2001: 16.

Fotografía 26. Dos formas de proteger a los cultivos. (a) Abrigo de fibra de vidrio y (b) Abrigo de espuma de poliestireno rígido



Fuente: Matías y otros, 2001: 16.

- b) Generación de humo y neblinas artificiales (nubes de humo desde un bote de combustible, combustión química, humo de caldera). Para la generación de niebla, los agricultores usan ramas de árboles podados, estiércol, aserrín, paja, madera y pasto. Aunque no es recomendable por la contaminación ambiental y otros aspectos ecológicos, hoy en día hasta llantas de autos son quemadas. También se han utilizado sustancias químicas, como fósforo rojo, cloruro de amonio, cloruro de zinc, amoníaco, entre otros. Sin embargo, este tipo de sustancias causan contaminación en el aire, incendios y algunos inconvenientes con la fauna nativa, por lo que resultan contraproducentes y deben ser prohibidos.



- c) Calentamiento directo del aire y la planta (calentadores líquidos, calentadores sólidos, calentadores eléctricos). El calentamiento consiste en calentar el aire o medio ambiente de un cultivo momentos antes de que la temperatura sea crítica para las plantas. El objetivo del método es desprender más calor con menos humo. Los calentadores de petróleo pueden agruparse en: 1) calentador sin chimenea; 2) calefactor con chimenea a combustión lenta; 3) calefactor con chimenea a combustión forzada por ventilación calefactor de combustión forzada por presión del combustible.
- d) Irrigación y goteo. Inundación del terreno para liberar el calor latente. El uso del agua para contrarrestar las heladas es un método muy antiguo. Se conocen varias formas de riego: 1) inundación, 2) canales y 3) aspersión.
- *Riego por inundación.* Consiste en utilizar el agua como aislante. Debido al calor específico que posee, puede ceder grandes cantidades de calor experimentando una leve variación de temperatura. No obstante, las posibilidades de riego son limitadas, debido a que no todos los cultivos toleran una inmersión prolongada y a la limitada disposición de grandes cantidades de agua.
 - *Riego por canales.* Tiende a modificar las condiciones térmicas del suelo, con lo cual se disminuye la probabilidad de helada.
 - *Riego por aspersión.* Consiste en aprovechar el calor latente de solidificación del agua. En algunos casos, provoca la modificación calórica del suelo. El agua, al caer sobre la planta se congela liberando una determinada cantidad de calor latente que recibirá el cultivo en el lugar donde la gota de agua cayó. En ese momento, la temperatura permanece muy próxima a 0°C. Por este motivo, es necesario que la provisión de agua sea continua, mientras la temperatura del aire circundante permanezca por debajo de 0°C.

Los sistemas más importantes del riego por aspersión son: riego por aspersión directo sobre el cultivo en el momento en que se produce la helada, riego por aspersión directo antes de la ocurrencia de la helada y riego por aspersión indirecto o fuera del cultivo a proteger.

- e) Mezclado del aire (generación de viento artificial por medio de máquinas, como helicópteros). Retardan la pérdida de calor al cubrir las plantas con algún material no metálico como papel, plástico, paja o tela, que intercepte el calor irradiado por la tierra y por las plantas. El objetivo es no dejar escapar el calor de la planta por irradiación (ver fotografía 27 y 28).
- f) Mantenimiento de la temperatura sobre el punto de congelación por calentamiento artificial de las capas inferiores, por medio de hornillos o botes con petróleo o keroseno. Quemado de materia orgánica para producir humo cuyas partículas absorban el calor irradiado por la tierra. Los combustibles sólidos pueden ser quemados en aparatos diseñados para ello o estar expuestos directamente al suelo. Existen calentadores que utilizan carbón fósil, como la hulla o lignita, así como conglomerados sólidos de sustancias inflamables. Otro combustible en calefactores es el gas, como metano, butano, etano o propano. Las etapas principales en que el

calor se transmite desde el calefactor hacia el exterior son dos: 1) transferencia convectiva y 2) radiación directa (ver figura 37).

Fotografía 27. Riego por aspersión sobre los frutales



Fuente: Matías y otros, 2001: 18.

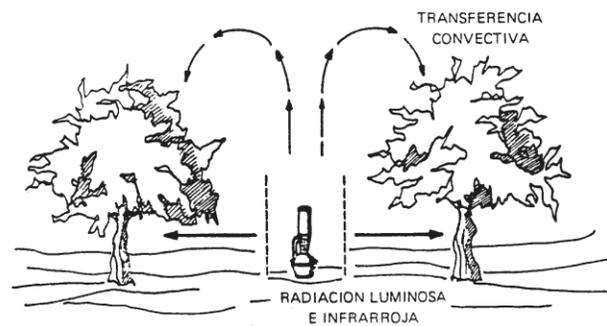
Fotografía 28. Motoventilador



Fuente: Matías y otros, 2001: 18.



Figura 37. Etapas de la transmisión del calor



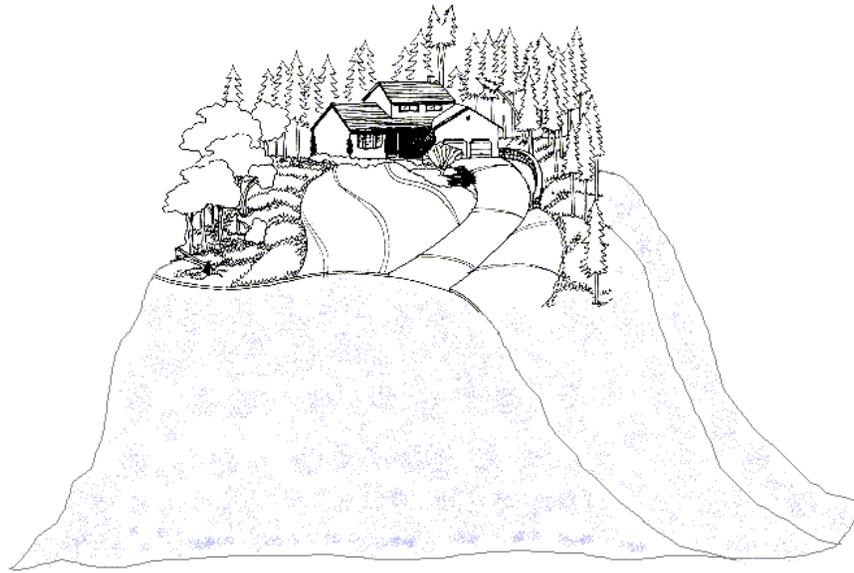
Fuente: Matías y otros, 2001: 18.

- *Métodos indirectos (pasivos)*. Son aquéllos que ayudan a prevenir el fenómeno de la helada sin necesidad de que ésta ya esté presente.
 - a) Escoger especies y variedades de cultivo resistentes a las heladas y de floración tardía.
 - b) Selección del terreno. Generalmente las depresiones son más propensas al frío y al fenómeno de la helada, por lo que se recomienda, en la medida de lo posible, no sembrar en el fondo de los valles cerrados, laderas y cuencas, que constituyen cauces naturales del flujo o masas de aire frío. En tanto, los cerros, lomas y montañas son sitios de dispersión del aire frío, que determinan condiciones poco favorables a la formación de las heladas. Así, se deberán preferir las colinas o cualquier elevación sobre el nivel ordinario del terreno para su plantación (ver figura 38). Es importante tomar en cuenta también la orientación del terreno ya que las laderas dirigidas hacia el sur presentan menor probabilidad de heladas. Para la protección es necesario seleccionar aquellos lugares que manifiesten una mayor radiación durante el día, que sean más húmedos y con temperaturas altas (mayor cantidad de radiación solar y mayor reserva que durará toda la noche).
 - c) Métodos ecológicos. Se refieren al control de nutrientes, fertilizantes, rompevientos, entre otros. Al mismo tiempo que desfavorecen la formación de heladas, las técnicas ecológicas ayudan a la compactación y mejoramiento de suelos, así como a la rotación de cultivos. Mientras tanto, los suelos orgánicos o de turba presentan un problema cuando ocurren heladas nocturnas.

En resumen, determinadas prácticas agrícolas son utilizadas para reducir los efectos de las heladas, como las que se describen a continuación: las barreras forestales cuya finalidad es desviar el flujo de aire frío; la formación de espejos de agua, que producen una modificación en la radiación del lugar; utilización de plantas de corte alto; modificación calórica del suelo mediante el agregado de sustancias colorantes o de otros elementos como abonos naturales, turba o estiércol; por último el cubrimiento de plantas.



Figura 38. La forma de colina permite dispersar el aire frío y disminuye la ocurrencia de una helada



Fuente: Matías y otros, 2001: 19.

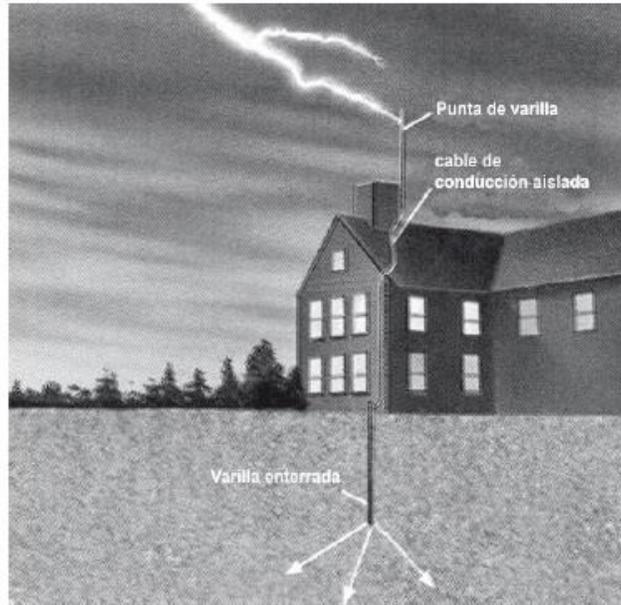
Las acciones preventivas de protección civil ante tormentas “eléctricas”, debido a sus efectos, es conveniente que la población aprenda a protegerse de éstos, siendo los siguientes (Prieto y otros, 2014: 18-22):

- ¿Qué hacer antes de la tormenta eléctrica?
 - Asegurar los objetos del exterior de la vivienda que puedan desprenderse o causar daños debido a los fuertes vientos que pueden acompañar a la tormenta eléctrica.
 - Cerrar las ventanas y correr las cortinas.
 - Reforzar las puertas exteriores.
 - Quitar las ramas o árboles muertos que puedan causar daño durante una tormenta eléctrica, ya que un rayo puede romper la rama de un árbol y golpear a una persona, e incluso, generar una explosión o un incendio.
 - Mantenerse atento a los avisos de tormentas severas que emite el Servicio Meteorológico Nacional cada seis horas (smn.conagua.gob.mx).
 - Instalar pararrayos en torres y antenas.
 - Procurar la polarización correcta de todas las toma corrientes incluyendo una tierra física en todo el sistema eléctrico (consultar a su proveedor de la Comisión Federal de Electricidad a un técnico especializado), véase *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, instalaciones eléctricas*.
- Evite daños en su construcción por el alcance de un rayo Los pararrayos son una medida de protección para evitar daños, principalmente a los aparatos electrónicos, por el alcance de rayos. Consiste en una barra metálica preferentemente de cobre, de un metro de longitud que termine en punta, la cual se extiende por encima de la construcción, siguiendo una

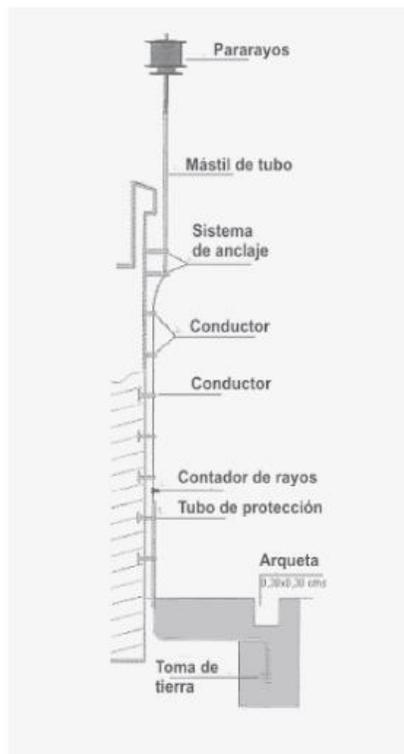
trayectoria con cable que la une a otra barra metálica del mismo material y de la misma longitud, la cual se encuentra enterrada con el propósito de transferir la carga eléctrica a la tierra, evitando el impacto directo del rayo figura 39a y b.

Figura 39a y b Componentes de los pararrayos

15a



15b



Fuente: Prieto y otros, 2014: 19.



- ¿Qué hacer durante una tormenta eléctrica?
 - Alejarse de los lugares altos, tales como cumbres, cimas, lomas y refugiarse en zonas bajas pero no propensas a inundarse o a recibir avenidas súbitas.
 - Apartarse de terrenos abiertos, por ejemplo, praderas, cultivos, campos de golf, terrazas, azoteas y estacionamientos abiertos, ya que las personas pueden sobresalir por su tamaño y convertirse en pararrayos.
 - Por ningún motivo se debe correr durante la tormenta, ya que resulta peligroso debido a que la ropa mojada provoca una turbulencia en el aire y una zona de convección que puede atraer un rayo.
 - Deshacerse de todo material metálico (bastones, mochilas con armazón, botas con casquillos, paraguas, herramientas, utensilios agrícolas, etc.), ya que los metales resultan buenos conductores eléctricos.
 - Jamás se deberá guarecerse debajo de un árbol o una roca, debido a que el primero por su humedad y verticalidad, aumenta la intensidad del campo eléctrico y en el segundo porque los rayos suelen caer sobre objetos sobresalientes. Tampoco se refugie en edificios pequeños o aislados como, graneros, chozas, cobertizos, tiendas de campaña, entre otros.
 - Retirarse de objetos y elementos metálicos como vallas, alambradas, tuberías, líneas telefónicas e instalaciones eléctricas, rieles de ferrocarril, bicicletas, motocicletas y maquinaria pesada, puesto que la proximidad con éstos provoca una onda de choque generada por el rayo que, a su vez, calienta el aire y puede producir lesiones en los pulmones.
 - Evite cualquier contacto con los cuerpos de agua, ríos, lagos, mar, albercas, así como zonas mojadas.
 - En caso de haber un edificio o vehículo muy cerca, intentar llegar a él. De preferencia, no refugiarse en edificios pequeños o aislados como, graneros, chozas, cobertizos, tiendas de campaña, entre otros.
 - Buscar una zona que se encuentre un poco más baja que el terreno circundante.
 - No acostarse, ya que la tierra húmeda conduce muy bien la electricidad.
 - Intentar agacharse lo más posible, pero tocando el suelo sólo con las plantas de los pies.
 - Rehuir el refugio de una cueva o saliente rocoso, el rayo puede echar chispas a través de estas aberturas e, incluso, entrar por los canales naturales de drenaje para sus descargas, ya que se acumula el aire ionizado que aumenta la probabilidad de descarga.
 - Apagar los instrumentos de localización y transmisión-recepción portátil (celulares, walkie-talkies y GPS) y demás aparatos electrodomésticos, ya que sus radiaciones electromagnéticas pueden atraer los rayos y/o causar graves daños provocados por la variación de voltajes.
 - Desconectar los enseres electrodomésticos y otros aparatos eléctricos, como las computadoras. Las variaciones de voltaje que provocan los rayos pueden causar graves daños.

- ¿Cómo protegerse de las descargas eléctricas de la tormenta? En el hogar:
 - Cerrar puertas y ventanas para evitar corrientes de aire.
 - No acercarse a las ventanas abiertas para observar la tormenta.



- No utilizar y alejarse de la chimenea ya que éstas permiten el ascenso de aire caliente cargado de iones, lo que aumenta la conductividad del aire, abriendo un camino para las descargas eléctricas que actúan como pararrayos.
- Desconectar los aparatos eléctricos, así como las antenas de televisión y cable, ya que el rayo puede entrar por el cableado y las tuberías e incluso, provocar daños a los mismos.
- Evitar el contacto con el agua, incluyendo bañarse durante la tormenta eléctrica.
- Mantenerse aislado, una forma es sentarse en una silla de madera, apoyando los pies en la mesa del mismo material. También se puede estar seguro, acostado sobre una cama que posea una base de madera.
- En el exterior:
 - Si está en grupo y ocurre una tormenta, lo aconsejable es dispersarse unos metros y adoptar las posiciones y acciones recomendadas que a continuación se describen:
 - En caso de estar con niños, y para evitar el pánico y/o posible extravío, es conveniente que se mantenga el contacto visual y verbal con ellos, no obstante cada uno deberá estar separado de los demás.
 - Si hay una sensación de cosquilleo en el cuerpo, se eriza el cabello y se observan chispas en un objeto de metal, colóquese en cuclillas apoyándose sobre la parte anterior de la planta de los pies, lleve las manos sobre las orejas y coloque la cabeza entre las rodillas. Hágase lo más pequeño posible y reduzca al mínimo su contacto con el suelo. No se tienda en el suelo.
- En el auto:
 - El mejor sitio para protegerse es dentro de un vehículo que tenga apagado el motor, sin antena de radio y cerradas las ventanas. Así pues, cuando caiga un rayo en el auto, éste será sólo por el exterior, mientras que el interior quedará exento, siempre y cuando no esté en contacto con algún objeto de metal; este procedimiento se llama Jaula de Faraday.
 - Si alguien es alcanzado por un rayo se debe:
 - Pedir urgentemente asistencia médica.
 - Si no respira o el corazón ha dejado de latir, intente reanimarla con los procedimientos habituales de primeros auxilios, como es la respiración artificial.
 - Las tormentas eléctricas pueden generar efectos adversos en las personas, principalmente dentro de un radio de impacto de 120 m. Los principales problemas relacionados con las tormentas eléctricas son los siguientes:
 - Quemaduras en la piel.
 - Ruptura de tímpano.
 - Lesiones en la retina.
 - Caída al suelo por onda expansiva.
 - Caída al suelo por agarrotamiento muscular debido a una tensión de paso ligera.
 - Lesiones pulmonares y lesiones óseas.
 - Estrés-pos-traumático.
- Muerte por:
 - Paro cardíaco,
 - Paro respiratorio y



- Lesiones cerebrales.
- Sin embargo, los rayos también pueden producir daños en el sistema nervioso, ruptura de huesos, así como la pérdida de visión y audición (FEMA, 2008).

Las acciones preventivas de protección civil ante “nevadas”, se enfocan a las tormentas de nieve que producen un ambiente frío, que pueden congelar la superficie del cuerpo humano, aumentar la presión arterial, exigiendo un mayor esfuerzo al corazón. Este enfriamiento también reduce la resistencia a las infecciones, desde un simple resfriado a enfermedades como la gripe; además de que las enfermedades infecciosas se transmiten más fácilmente en el invierno, debido a que la gente se reúne en lugares cerrados. En el fascículo de Heladas, editado por el CENAPRED, se puede encontrar mayor información sobre las medidas preventivas para enfrentar la aproximación o presencia de una nevada.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta que cuando se presenta una nevada, el hielo y la nieve provocan un estado resbaladizo de los caminos que puede producir accidentes mortales, por lo que se debe conducir a baja velocidad con las luces e intermitentes encendidas y de ser posible, no transitarlos. Si la nevada es muy intensa, no se puede transitar y usted se encuentra dentro de un automóvil o camión, se recomienda (Prieto y otros, 2014: 25-27):

- Esperar ayuda de los grupos de auxilio y las autoridades competentes.
- Permanecer dentro del automóvil o camión.
- Encender el motor aproximadamente cada 10 minutos para conseguir calor.
- Abrir la ventana para mantener ventilado el interior del automóvil y así evitar el envenenamiento por monóxido de carbono.
- Llamar la atención de los cuerpos de rescate, tener la luz encendida cuando se tenga prendido el motor, amarrar una prenda roja a la antena o a la puerta del automóvil.

- El peso de la nieve sobre los techos de las casas también representa un riesgo, dado que puede provocar daños a estructuras endebles y derrumbes de techos precarios, por lo que se recomienda, en el caso de no tener una vivienda resistente, quitar la nieve de los techos de las casas. Si la vivienda está construida con materiales poco resistentes: cartón, lámina, etc., es necesario que se evacue y se dirija al refugio temporal más cercano establecido por las unidades de protección civil y atender todas las recomendaciones que se indican en el fascículo de Heladas, para salir al exterior de su vivienda.

En cuanto a las acciones de protección civil ante “granizadas”, es decir, las tormentas de granizo, es necesario que la población aprenda a protegerse de éstos (Prieto y otros, 2014: 31-33):

- *¿Qué hacer antes de una granizada?*
 - Asegurar los objetos del exterior de la vivienda que puedan desprenderse o causar daños, debido a los fuertes vientos que pueden acompañar a la tormenta de granizo.
 - Cerrar las ventanas y correr las cortinas.
 - Reforzar las puertas exteriores.
 - Quitar las ramas o árboles muertos que puedan causar daño durante una tormenta.



- Estar atentos a los avisos de tormentas severas que emite el Servicio Meteorológico cada 6 horas (smn.conagua.gob.mx).
- *¿Qué hacer durante una granizada?* Como se mencionó anteriormente, la magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. Cuando el tamaño del granizo es muy grande o la granizada es muy copiosa y viene acompañada de un gran flujo de agua, puede provocar lesiones o poner en riesgo la vida de las personas. En tal caso, se recomienda. Si la tormenta de granizo deposita espesores mayores a los 30 cm de granizo y/o existe escurrimiento:

1) *En un edificio o casa:*

- Permanecer adentro y de preferencia en la planta superior del inmueble.
- Manténgase alejado de tragaluces y ventanas, especialmente aquellas golpeadas por el granizo.
- Si su vivienda tiene techo de lámina de cartón o asbesto, protéjase debajo de una mesa o dentro de un ropero. El granizo puede perforar el techo de lámina de cartón y golpear a las personas, también puede quebrar la lámina de asbesto, cuyos pedazos pueden provocar lesiones. El granizo grande puede perforar los techos de lámina de zinc y lámina de plástico.
- Por ningún motivo salga. El granizo grande puede causar graves lesiones, e incluso la muerte.

2) *En el exterior:*

- Si es sorprendido por una granizada, busque refugio inmediatamente. Si no puede encontrar protección para su cuerpo entero, al menos se debe de buscar algo para proteger su cabeza.
- Alejarse de las áreas donde la granizada es muy copiosa.
- Buscar un refugio para protegerse de la granizada y de las descargas eléctricas.
- Alejarse de las alcantarillas y de las zonas bajas para evitar ser arrastrado por el agua o por el gran volumen de granizo.
- Queda prohibido refugiarse bajo los árboles, debido a que se pueden desprender algunas ramas. Además, los árboles altos y aislados son uno de los principales atrayentes de descargas eléctricas.

3) *En el automóvil:*

- Evitar conducir en áreas con volúmenes grandes de granizo precipitado. El automóvil podría derrapar y ser arrastrado.
- Cerrar todas las ventanas y permanecer dentro del vehículo con el motor apagado. Es muy peligroso tratar de salir cuando hay flujo de agua acompañado de un gran volumen de granizo, porque puede ser arrastrado.
- Alejarse de las ventanas del automóvil. Cubrirse los ojos y en la medida de lo posible, permanecer boca abajo en el piso o inclinarse en el asiento dando la espalda a la ventana.
- Si se queda varado en un congestionamiento vehicular, apagar el automóvil y si lo debe de mantener encendido, abrir un poco las ventanas para que circule el aire, ya



que ha habido casos en que han muerto personas al quedarse dormidas dentro de su vehículo por inhalar monóxido de carbono por un largo periodo.

- Si el granizo en la tormenta tiene un diámetro mayor a 2 cm (tamaño de una uva):
 - Dejar de conducir. Buscar si existe un lugar seguro cercano para estacionarse debajo de algún techo (por ejemplo, dentro de un garaje o estación de servicio con toldo) tan pronto como pueda. Asegúrese de quedar completamente fuera de la carretera. Evite deje el abrigo momentáneo de los puentes vehiculares o pasos a desnivel.
 - No abandonar el vehículo hasta que deje de granizar. Su auto puede proporcionarle una protección razonable.
 - Colocar a los niños debajo de un adulto y cubrir sus ojos.
- *¿Qué hacer después de una granizada?* Como en caso de la nieve, el peso del granizo sobre los techos de las casas puede provocar daños a techos endebles, por lo que se recomienda quitar el granizo de los techos de las casas. En el caso que esto no sea posible se debe evacuar la vivienda y dirigirse al refugio temporal más cercano establecido por las unidades de protección civil, además de atender todas las recomendaciones que se indican en el fascículo de Heladas, editado por el CENAPRED para salir al exterior de su vivienda.

Las recomendaciones elementales de protección civil ante “tornados” que se presentan en México es necesario estar preparados para responder adecuadamente ante su ocurrencia. Los vientos y los objetos levantados por las ráfagas representan el mayor peligro durante un tornado, éstos pueden sorprender a la población en cualquier lugar llámese oficina, vivienda, escuela, en la calle, en el campo, etc. Si bien se carece de un lugar totalmente seguro, se pueden utilizar lugares que brinden protección a la población para evitar lesiones. A continuación se enumeran recomendaciones para mitigar el riesgo de afectaciones por un tornado (Prieto y otros, 2014: 45-46):

- *¿Qué hacer antes de un tornado?*
 - Conocer si la zona donde habita es susceptible a la ocurrencia de tornados, informarse en la Unidad de Protección Civil.
 - Tener un directorio telefónico de emergencia actualizado (bomberos, protección civil, policías, etc.).
 - Identificar el lugar más seguro de la vivienda con la asesoría de un especialista o ingeniero.
 - Si logra observar el evento, informar a las autoridades de Protección Civil de su localidad para que de aviso a la población y se pueda realizar su seguimiento con las autoridades e instituciones competentes.
 - Cuando una tormenta se aproxima, el ambiente se oscurece repentinamente, hay un descenso en la temperatura y escuchas un zumbido similar al de un enjambre de abejas, debes tomar las siguientes precauciones:
- *¿Qué hacer durante un tornado?*
 - No salir de la vivienda.
 - Alejarse de las ventanas, si la vivienda es de mampostería con losa de concreto, buscar un lugar seguro como el baño, que carece de ventanas o tiene sólo ventilas (no letrinas).



- Es conveniente permanecer en el piso (adoptar una posición de cuclillas), buscar protección bajo muebles sólidos, podría ser debajo de una mesa resistente o colocarse bajo el marco de alguna puerta que pueda brindar seguridad, o abajo de las escaleras (de concreto).
 - Cubrirse con una toalla, almohada, cobija o colocarse los brazos en la cabeza.
 - Si está en la recámara, cubrirse con un colchón.
 - Colocarse en las esquinas de las casas, permaneciendo siempre alejado de las ventanas.
 - Proteger a la familia abrazándose entre todos y no soltar a los niños, ya que al volarse los techos pueden ser succionados por el tornado.
 - Las edificaciones como auditorios, gimnasios, albercas, aulas, tiendas de autoservicio, cafeterías, etc., pueden ser peligrosas porque la estructura del techo está apoyada únicamente por las paredes laterales. Resguárdese en un pasillo donde no haya ventanas, en el baño o debajo de un mostrador o escritorio.
 - Si está al aire libre busque una zanja e introdúzcase en ella.
- *¿Qué hacer después de un tornado?*
 - En cuanto haya pasado el peligro, procure serenarse, trate de guardar la calma para no asustar a los niños.
 - Verificar que la familia se encuentre en buen estado de salud, tratar de ayudar a sus vecinos y reportar el suceso.
 - No salir corriendo porque se puede lastimar con los escombros.
 - Desconectar los servicios de electricidad, agua y gas, ya que pueden generar descargas eléctricas y posibles electrocuciones.
 - *Nota: Si durante los próximos días la ansiedad interfiere en el desempeño normal de las actividades de cualquier miembro de la familia, busque ayuda profesional de un psicólogo, médico general, etc.*



Actividades de la unidad Unidad 4. Heladas, Granizadas, Tormentas

Secuencia didáctica para lograr la actividad como evidencia de desempeño en el desarrollo de las competencias

1.- Realiza el encuadre de la unidad: a través de un mapa conceptual en el que se describa brevemente en que consistió las Heladas, Granizadas y Tormentas como problemática social, la humanización del paisaje y sus componentes y la categorización social del medio ambiente y el territorio.

2.- Investiga cuál ha sido la peor crisis de Heladas, Granizadas y Tormentas vista como problemática social en México, que tipo de información existe, si está documentada en periódicos, libros, artículos, videos, etc. Trata de recuperar alguno de ellos y exponlo ante tus compañeros de clase.

3.- Analiza cuales fueron sus medidas para combatir esta crisis ecológica y si en la actualidad se presentará una situación similar y como lo enfrentarías, preséntalo en forma de lluvia de ideas y compara con tus compañeros.

5.- Reúnete en equipo o en parejas con la que comenzaste a trabajar desde la unidad 1. Recopilen la información de la localidad que eligieron y que han trabajado a lo largo del semestre, con base a las problemáticas de Heladas, Granizadas y Tormentas. Planifiquen como se encuentra con la finalidad de la elaborar un video.

Para esta actividad visiten nuevamente la localidad, tomen videos, fotografías, entrevistas y cualquier otro elemento que les sirva como material para producir un video de calidad que muestre la comprensión y el trabajo desarrollado en tanto en la unidad como en todo el semestre.

6.- Exposición, entrega del video y reporte que integre los resultados obtenidos por unidad, todo ello sobre la localidad elegida, y conclusiones con criterio personal sobre lo que observaron durante el proceso de investigación y trabajo de campo.

7.- Evaluación, los criterios de evaluación deberán ser diseñados y asignados a un valor de acuerdo a las características que considere el profesor.

8.- Todos los videos serán presentados ante el grupo y elegirán los tres mejores, mismos que formarán parte del material didáctico de la institución para ser utilizados como evidencias de trabajo y como apoyo en próximos semestres.



Anexos



Anexos

1. La verdadera cara de los Huracanes. Documental. National Geographics.
<https://www.youtube.com/watch?v=D3TcttTmt44><https://www.youtube.com/watch?v=D3TcttTmt44>
2. Sequías e inundaciones, un desastre climático llamado 'El Niño'
<https://www.youtube.com/watch?v=tilgpTmHcug>
3. Concebidos para destruir: Relámpagos - Tormenta eléctrica y sitios favoritos de los rayos <https://www.youtube.com/watch?v=le2dDDbp8q0>



Bibliografía

Básica

- Biblioteca Virtual de Prevención Atención Desastres (BIVAPAD) 2017, “Sequias”, Disponible en: <http://www.bivapadbolivia.org.bo/joomla310/index.php/en/sequias>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- *Coastal Risks Management- Atlantic Stakeholders Network* (CORIMAT), 2017. “Inundación costera”, Disponible en: <https://corimat.net/es/inundacion-costera/>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2015, “PMPMS para usuarios urbanos de agua potable y saneamiento”, Consejo de Cuenca Lerma – Chapala. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99853/PMPMS_Toluca_Mex.pdf. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2016, “Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía (PMPMS) para ciudades”, Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programas-de-medidas-preventivas-y-de-mitigacion-a-la-sequia-pmpms-para-ciudades>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2017, “Monitor de Sequía en México (MSM)” Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>. Consultado el 28 de septiembre
- ConceptoDefinicion.de, 2014, “Definición de Inundación”. Disponible en: <http://conceptoDefinicion.de/inundacion/>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- De la Peña Olivas, José Manuel y Sánchez Palomar, Francisco Javier (2008), “¿Qué es erosión costera?”, *CIMBRA* / N° 380 / MARZO - ABRIL 2008
- Fao 2017, “Sequias” Disponible en: <http://www.fao.org/emergencias/tipos-de-peligros-y-de-emergencias/sequia/es/>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- Gómez Cantero, Jonathan, 2017, “Las 5 zonas con mayor riesgo de tsunami”, *el tiempo.es*. Disponible en: <https://noticias.eltiempo.es/las-5-zonas-mayor-riesgo-tsunami/>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- Jiménez Espinosa, Martín; Matías Ramírez, Lucía Guadalupe; Fuentes Mariles, Óscar A.; y Prieto González, Ricardo, 2014, *Ciclones Tropicales*, Serie Fascículos, CENAPRED y Secretaría de Gobernación. Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/5-FASCCULOCICLONESTROPICALES.PDF>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- *La Jornada* 2017, “La sequía afecta 10% del país” *La Jornada*. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2017/03/29/sociedad/036n4soc>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- *La Jornada*, 2012, “Efectos del cambio climático en las zonas costeras de México”, *La Jornada ecología*. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2012/10/01/eco-c.html>. Consultado el 30 de septiembre de 2017.
- Matías Ramírez, Lucía Guadalupe; Fuentes Mariles, Óscar Arturo; y García Jiménez, Fermín (2001), *Heladas*, CENAPRED, México. Disponible en: <http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieFasciculos/heladas.pdf>. Consultado el 5 de octubre de 2017.



- Olcina Cantos, Jorge y Mejías Martínez, Pedro, 2002, “Capítulo 36. Tormentas de granizo. Incidencia en la actividad agraria”, Ayala Carcedo, F; Olcina Cantos J; (2002) *Riesgos Naturales*, Ed Ariel, Barcelona, España.
- Olcina Cantos, Jorge y Pérez García-Torres, Ana Pilar, 2002, “Capítulo 42. Riesgos climáticos en el ámbito intertropical: ciclones tropicales y lluvias monzónicas”, Ayala Carcedo, F; Olcina Cantos J; (2002) *Riesgos Naturales*, Ed Ariel, Barcelona, España.
- Palacio Aponte, Álvaro Gerardo, 2014, “El uso de los atlas en el estudio regional y local de los peligros de origen natural en Campeche”, pp.50-56. Oscar Fausto Martínez (coordinador), *Monitoreo de riesgo y desastre asociado a fenómenos hidrometeorológicos y cambio climático*, Laboratorio de Observación e Investigación Espacial y CONACYT, México.
- Prieto González, Ricardo; Avendaño García, Ma. Asunción; Matías Ramírez, Lucía G. y Eslava Morales, Héctor 2014, *Tormentas Severas*, Centro Nacional de Prevención de Desastres y la Secretaría de Gobernación. Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF>. Consultado el 5 de octubre de 2017.
- Rosengaus Moshinsky, Michel; Jiménez Espinosa, Martín; Jiménez Espinosa, Martín; y Vázquez Conde, María Teresa 2014, *Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México*, CENAPRED y El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/37.pdf>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- Salas Salinas Marco Antonio; y Jiménez Espinosa, Martín 2014, *Inundaciones*, Serie Fascículos, Secretaria de Gobernación y Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>. Consultado el 3 de octubre de 2017.
- Secretaria de Mariana, 2015, “Historia de los Tsunamis Locales ocurridos México”. Disponible en: <https://www.gob.mx/semar/acciones-y-programas/historia-de-los-tsunamis-en-mexico>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- *The Economy Journal* (EJ) 2017, “La sequía: causas y consecuencias”, *The Economy Journal*, jueves, 28 de septiembre de 2017. Disponible en: <http://www.theeconomyjournal.com/texto-diario/mostrar/591368/sequia-causas-consecuencias>. Consultado el 28 de septiembre de 2017.
- Troyo Diéguez, Enrique; Mercado Mancera, Gustavo; Cruz Falcón, Arturo; Nieto Garibay, Alejandra; Valdez Cepeda, Ricardo D.; García Hernández, José Luis; y Murillo Amador, Bernardo (2014), “Análisis de la sequía y desertificación mediante índices de aridez y estimación de la brecha hídrica en Baja California Sur, noroeste de México” *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, núm. 85, 2014, pp. 66-81.
- Turnbull, Marilise; Sterrett, Charlotte L. y Hilleboe, Amy (2013), *Hacia la Resiliencia. Una Guía para la Reducción del Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático*, Catholic Relief Services – United States Conference of Catholic Bishops.
- Universidad Católica Pontificia de Chile (UCPC) 2010, “Percepción Social del Riesgo”, Magister Ingeniería de la Energía (MIE). Disponible en: http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/nuclear/nuclear_archivos/Page475.htm. Consultado el 7 de noviembre de 2016.
- Víctor O. Magaña y Dr. Carlos Gay García (2013), *Vulnerabilidad y Adaptación Regional Ante El Cambio Climático y sus Impactos Ambiental, Social y Económicos*, Instituto Nacional de



Ecología del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Complementaria

- Chaparro E A; Renard Matías R (2005), Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños. CEPAL. ONU.
- Keller, E. y R. Blodgett, R.H (2004). Riesgos Naturales. Procesos de la tierra como riesgos, desastres y catástrofes, Pearson Prentice Hall
- Keller, E. y R. Blodgett, (2007). Riesgos Naturales. Procesos de la tierra como riesgos, desastres y catástrofes, Pearson Prentice Hall
- Tarbuck, E. J and Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física, Pearson Prentice Hall.
- Morgan RPC. (1997). Erosión y Conservación del Suelo. Ediciones Mundi-Prensa. México. D.F. Pp. 343.
- Blaikie, P. Cannon T.D, Davis, I., y Wisner, B (1996), Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina. La Red, Primera edición.