

# CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS REPERCUSIONES EN LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS COSTEROS DE VERACRUZ

José Antonio Nabor Díaz<sup>1</sup>

Daniel Rolando Martí Capitanachi

## Resumen

*La importancia del estudio del cambio climático, se debe, de manera urgente, a los inequívocos cambios observados, entre otros; en el aumento de la temperatura global, la pérdida de la extensión de hielo ártico, la devastación de los glaciares por año y un aumento global promedio del nivel del mar. Para el caso del Golfo de México, una de las zonas de mayor riesgo y vulnerabilidad es el litoral Veracruzano, frente a los impactos climáticos. Se presenta un estudio de la extensión del litoral afectado, así como también para la zona centro del estado de Veracruz. A partir de lo anterior, se hacen propuestas de adaptación con los datos obtenidos por las instituciones encargadas de protección civil, grupos de investigadores universitarios e información recabada en los lugares.*

## Palabras clave

Cambio climático, motores climáticos, vulnerabilidad, resiliencia.

## Abstract

*The importance of the study of climate change is due urgently, due to the unequivocal changes observed among others; in the increase of the global temperature, the loss of the Arctic ice extension, the devastation of the glaciers per year and an average global increase of the level of the sea. In the case of the Gulf of Mexico, one of the areas of greatest risk and vulnerability is the Veracruz coast, in the face of climate impacts. A study*

*of the extent of the affected coastline is presented, as well as for the central area of the state of Veracruz. Based on the above, proposals for adaptation are made with the data obtained by the institutions in charge of civil protection, groups of university researchers and information gathered in the places.*

## Keywords:

Climate change, climate drivers, vulnerability, resilience.

## Introducción

Desde 1950 se han observado cambios en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Algunos de estos cambios han sido asociados con influencias humanas. En el estudio del cambio climático, los temas de mayor preocupación son: la disminución de las temperaturas frías extremas, el aumento de las temperaturas cálidas extremas, la elevación de los niveles máximos del mar y el mayor número de precipitaciones intensas en diversas regiones, que ponen en relieve una importante vulnerabilidad y es; el incremento del nivel del mar, el que tiene la mayor exposición de los asentamientos humanos, ya que muchas regiones habitadas del planeta están por debajo de un metro de altura sobre el nivel del mar. Un incremento en el nivel del mar lleva consigo riesgos graves a estas localidades, por ejemplo, la pérdida de territorio urbano, servicios de infraestructura y de viviendas, cuya

reconstrucción y reubicación exigiría una fuerte inversión económica por parte de sus gobiernos. Los efectos pueden cambiar dependiendo de su localización frente al litoral costero, por esto su investigación y análisis es necesaria para promover la toma de decisiones para aminorar en gran medida sus secuelas (Cabrera, Meneses, Moreno, 2014).

## 1.1 Cambio climático

Uno de los riesgos clave para América del Norte son las inundaciones urbanas en zonas fluviales y costeras, que inducen pobreza y daños en infraestructuras; la desorganización de la cadena de suministro, los ecosistemas y los sistemas sociales; impactos de salud pública; y disminución de la calidad del agua, debido a la elevación del mar, precipitación extrema y ciclones.

En México, el estado de Veracruz se localiza geográficamente en la porción oriental del país; cuenta con una extensión territorial de 72,815 km<sup>2</sup>; su extensión litoral abarca desde el río Pánuco hasta la ciudad de Coatzacoalcos logrando una franja costera de 745 kilómetros de longitud, condición que lo hace vulnerable a fenómenos naturales tales como las tormentas tropicales, huracanes e inundaciones que se presentan periódicamente.

El cambio climático incide en estos fenómenos hidrometeorológicos, volviéndolos más extremos y en un incremento del nivel del mar.

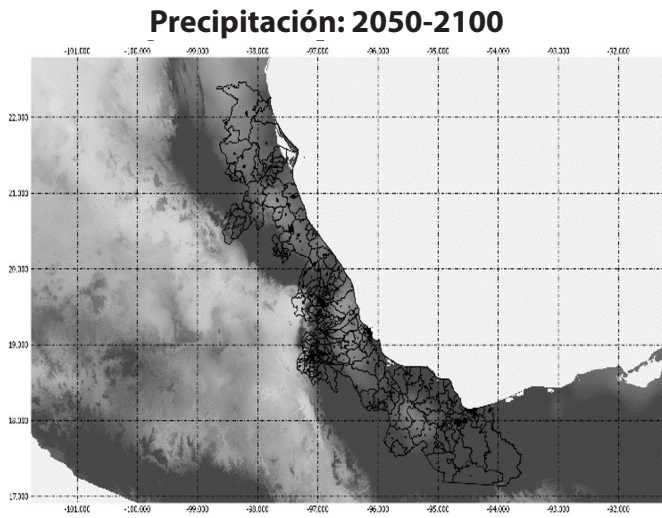


Figura 1. El índice de lluvias aumentará en los próximos 80 años; de los 77mm a los 308mm. Fuente: Elaboración propia (2018).

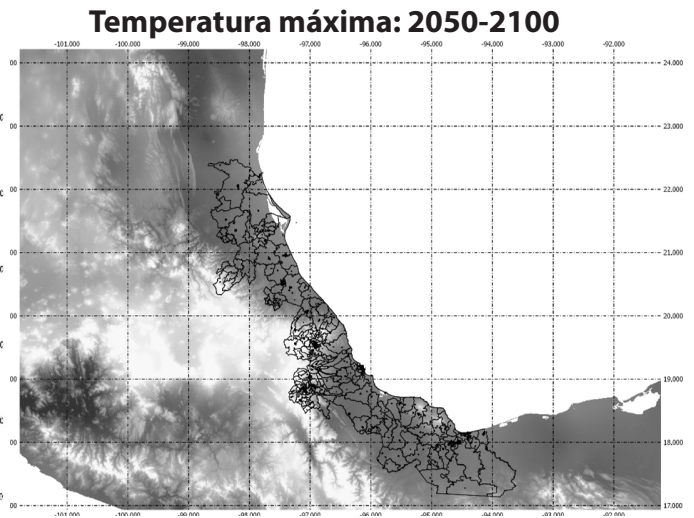


Figura 2. El aumento de las temperaturas máximas que va desde 25.9 a los 37.2 grados centígrados. Fuente: Elaboración propia (2018).

Según Carbajal Domínguez, en el caso del golfo de México su población total afectada corresponde al 3.18% de la población del país, las cuales se encuentran asentadas en 174 localidades; para el estado de Veracruz presenta afectaciones en 45 localidades, con un total estimado de 1'008,928 habitantes damnificados, representando el 14.18% de su población total estatal.

## 1.2 Fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Veracruz

El estado de Veracruz se localiza geográficamente en la porción oriental de nuestro país; cuenta con una extensión territorial de 72,815 km<sup>2</sup>. Su extensión litoral abarca desde el río Pánuco hasta la ciudad de Coatzacoalcos mostrando una franja costera de 745 kilómetros de longitud, debido a esta condición resulta vulnerable a fenómenos naturales como las tormentas tropicales, huracanes e inundaciones (pluviales, fluviales, costeras, lacustres) que se presentan periódicamente. El cambio climático incide en estos fenómenos hidrometeorológicos, volviéndolos más extremos y en un incremento del nivel del mar. Según Carbajal Domínguez, en el caso del golfo

de México su población total afectada corresponde al 3.18% de la población del país, la cual se encuentra asentada en 174 localidades. Para el estado de Veracruz presenta afectaciones en 45 localidades, con un total de 1'008,928 habitantes damnificados, representando el 14.18% de su población total estatal.

El Estado de Veracruz está expuesto a los fenómenos hidrometeorológicos por un periodo que abarca desde el primero de junio al 30 de noviembre. Ejemplo de ello son los agentes perturbadores del año 2010: el huracán Karl que provocó las inundaciones (pluviales, fluviales, costeras, lacustres) severas en las cuencas de los ríos Actopan, La Antigua y Jamapa y la tormenta tropical Matthew que afectó a los centros de población del sureste del estado (Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2012).

Estos fenómenos hidrometeorológicos aumentan la vulnerabilidad de las regiones debido a las características del sistema hidrológico veracruzano, es por ello, que, durante la temporada de lluvias y ciclones tropicales, los 28 municipios que conforman los territorios litorales de Tuxpan, Tamiahua, Tecolutla, Nautla, San Andrés Tuxtla y La Antigua, presentan una situación de alta vulnerabilidad

## 1.3 Incremento del nivel del mar

De acuerdo con IPCC (2003), predice un aumento en el nivel del mar hasta el 2100 de 0.11 m a 0.77 m, dependiendo del escenario considerado. Pero en los estudios realizados por Rahmstorf, S. (2007), se propone un modelo semi- empírico para predecir el aumento en el nivel del mar, donde se asume razonablemente que la tasa de aumento del nivel del mar es estrictamente proporcional a la magnitud del calentamiento por encima de las temperaturas de la edad pre-industrial. Este modelo difiere con la predicción hecha en IPCC (2003), ya que en dicha investigación, a partir del modelo semi- empírico, se predice un aumento de aproximadamente 20 cm por encima del IPCC, lo que significaría un aumento de aproximadamente un metro para el 2100 en el peor de los escenarios (Vázquez Botello, 2008).

### 1.3.1 Proyecciones del nivel del mar

De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus

siglas en inglés) se predice un aumento en el nivel del mar hasta el 2100 de 0.11 m a 0.77 m, dependiendo del escenario considerado (como se citó en Vázquez, 2008). Pero en los estudios realizados por Rahmstorf, S. (como se citó en Vázquez, 2008) se propone:

Un modelo semi empírico para predecir el aumento en el nivel del mar, donde se asume razonablemente que la tasa de aumento del nivel del mar es estrictamente proporcional a la magnitud del calentamiento por encima de las temperaturas de la edad pre-industrial. Este modelo difiere con la predicción hecha en IPCC, ya que, en dicha investigación, a partir del modelo semi empírico, se predice un aumento de aproximadamente 20 cm por encima del IPCC, lo que significaría un aumento de aproximadamente un metro para el 2100 en el peor de los escenarios (Vázquez, 2008).

Los resultados de la investigación de Vázquez exponen tendencias complicadas para el litoral veracruzano ya que van de 1.79 mm/año en Alvarado, Ver., hasta 2.90 mm/año en Cd. Coatzacoalcos, Ver.

En los cuatro sitios analizados en el litoral veracruzano, según Vázquez (2008) y Carbajal (2010), se encontró una tendencia de aumento en el nivel del mar. Los valores que se obtienen muestran tendencias positivas en los cuatro sitios analizados. Los resultados muestran una menor tendencia en Veracruz y Alvarado con 1.89 mm/año-1 y 1.79 mm/año-1. Le siguen Coatzacoalcos, Ver., y Tuxpan, Ver., con tendencias entre 2.90 mm/año-1 y 2.82 mm/año-1. Las proyecciones de incremento en el nivel del mar que presenta Vázquez Botello corresponden a un

escenario nacional y otro regional. Las proyecciones globales para su posterior revisión son las citadas en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC en 2007. En cuanto a las proyecciones nacionales son las estimadas por el Laboratorio de Estudios Ambientales del Departamento de Geociencias de la Universidad de Arizona y las proyecciones regionales estimadas por Vázquez (2008):

- Escenario con incremento del nivel del mar de 2.00 m. El escenario de 2.00 m para el litoral veracruzano, en términos absolutos podría ser de los estados más afectados. Se estima una superficie afectada total de 3,806.0 km<sup>2</sup> y una superficie relativa de su territorio del 5.30 %.

- Escenario con incremento del nivel del mar de 1.00 m. Se encontró que, en términos absolutos, que el orden de afectación se mantiene similar al incremento de 2.00 m. En cuanto al total de la superficie afectada para el estado de Veracruz, se estima con un porcentaje entre el 5.00 % de su superficie (3,591.00 km<sup>2</sup>).

- Escenario con incremento del nivel del mar de 0.60 m. En el litoral veracruzano, se observa se observa la posible afectación en los municipios de Alvarado, Tuxpan y Pánuco. Para el escenario de 0.60 m de incremento, se encontró que para el litoral veracruzano su superficie relativa afectada será apenas del 2.70% esto equivale a 1,939.00 km<sup>2</sup>.

### 1.3 Zonas costeras

Los principales problemas actuales de mayor o menor grado que se encuentran en las zonas costeras pueden sintetizarse en la existencia de territorios en consolidación caracterizados por la escala de ocupación y aprovechamiento del territorio, la desarticulación

debido a las limitaciones de acceso de comunicaciones y transporte, la inaccesibilidad a los recursos naturales producto de la carencia de infraestructura de apoyo, el predominio de un sistema de asentamientos humanos desequilibrado y desarticulado por la falta de comunicación entre ellos, los altos índices de pobreza, las diferencias de calidad de vida entre la ciudad y el campo, la degradación progresiva del medio natural, el acceso limitado y/o restringido al mercado, el desequilibrio en el reparto del poder y administración del territorio y una pobre gestión territorial. En la actualidad, las zonas de mayor vulnerabilidad natural resultado de los fenómenos hidrometeorológicos extremos y del incremento del nivel del mar son las zonas de planicies costeras. Las zonas de planicies costeras albergan a la mitad de la población mundial, en algunos casos se localizan las áreas urbanas más extensas del planeta. Cabrera Pacheco, Meneses Rodríguez, y Moreno Vázquez (2014) mencionan los siguientes impactos biofísicos y socioeconómicos para las zonas costeras:

- Incremento en la erosión costera.
- Inundación costera más extensa.
- Mayor inundación causada por tormentas.
- Cambios en la calidad del agua de la superficie y las características del agua subterránea.

Las secuelas socioeconómicas que se indican son:

- Aumento en la pérdida de propiedades y zonas habitacionales costeras.
- Mayor riesgo de inundación y potencial pérdida de vidas humanas.
- Daño a trabajos de protección de costas y otras infraestructuras.
- Impacto en la agricultura a través de la disminución de la calidad del agua.

### 1.3.2 Asentamientos Humanos

De acuerdo al Programa Veracruzano de Protección civil 2011-2016, a esta situación se suman 4,725 localidades de 75 municipios, asentadas en las zonas más bajas del territorio veracruzano (20 metros o menos sobre el nivel del mar). Entre ellas, algunas de las ciudades más pobladas del estado situadas en la costa, como la conurbación Veracruz-Boca del Río, Coatzacoalcos-Minatitlan y Tuxpan, e innumerables pequeñas localidades, que son vulnerables a las tormentas, las inundaciones y la eventual elevación del nivel del mar que podría causar el cambio climático.

Este grupo alberga una población superior a los 2.1 millones de veracruzanos, de los cuales 65.8% reside en 25 ciudades con una población mayor a 10,000 habitantes y 11.4% habita en 4,384 pequeñas comunidades, con apenas 56 habitantes en promedio por localidad.

### 1.3.3 Impactos y Vulnerabilidad

Los fenómenos hidrometeorológicos se presentan con mayor frecuencia en la entidad veracruzana, los cuales pueden deberse al impacto directo de los sistemas ciclónicos por efecto de los vientos, que pueden ocasionar una cantidad de lluvias intensas en las zonas costeras, que se presentan con el efecto de altos oleajes, que dificultan la desembocadura de los ríos provocando un aumento de nivel en las zonas planas.

Las inundaciones (pluviales, fluviales, costeras, lacustres) generalmente son consecuencia directa de los fenómenos hidrometeorológicos. La magnitud depende de la intensidad de las lluvias, de su distribución en el espacio y tiempo, del tamaño de las cuencas hidrológicas afectadas, así como de las

características del suelo y del drenaje natural o artificial de las mismas. Los daños producidos por inundaciones tienen inmensos costos sociales, económicos y ambientales. Si bien es muy difícil eliminarlos totalmente, es posible minimizarlos mediante programas, proyectos y actividades que apunten a reducir la vulnerabilidad de la infraestructura económica y social. Vázquez (2008), refiriéndose a las zonas inundables de la Región Administrativa Golfo Centro de la CNA, reconoce las cuencas bajas de los ríos Tuxpan, Cazonas, Tecolutla, Nautla, Misantla, Actopan, La Antigua, Jamapa, Papaloapan, Blanco, Coatzacoalcos y Tonalá. Las principales localidades afectadas e inundadas son Idolos, Mozomboa, La Antigua, Tlacotalpan, Cosamaloapan, Chacaltianguis, Tlacojalpan, Tuxpan, Cazonas, Poza Rica, Gutiérrez Zamora, Tecolutla, Martínez de la Torre, San Rafael, Nautla, Misantla, Minatitlán, Agua Dulce, Las Choapas, Nanchital y Mundo Nuevo. Estas áreas están expuestas a inundación ante la presencia de huracanes, ondas tropicales, frentes fríos y lluvias torrenciales.

Las zonas urbanas de Coatzacoalcos-Minatitlán, Tecolutla-Martínez de la Torre, Veracruz-Boca del Río son:

Áreas de crecimiento urbano que se encuentran expuestas a dos situaciones de riesgo: por un lado, el incremento del nivel del mar y el impacto de los huracanes, y por otro, inundaciones (pluviales, fluviales, costeras, lacustres) y desbordamientos de los ríos que desembocan en su entorno. Los asentamientos populares, donde se concentra la pobreza urbana, suelen ubicarse en áreas contiguas a los cuerpos de agua (pantanos, ríos, lagunas), y sus habitantes son particularmente vulnerables (Vázquez, 2008)

### 1.3.4 Atlas de riesgo

Hacia el año de 1991, la Secretaría de Gobernación difunde por primera vez el "Atlas Nacional de Riesgos". Ya para el año de 2001 se lanza el "Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres" en la República Mexicana por el CENAPRED. Recientemente ha publicado la "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos" dentro de la Serie Atlas Nacional de Riesgos y en esta misma serie la "Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones (pluviales, fluviales, costeras, lacustres) en zonas urbanas".

El Atlas Nacional de Riesgos (ANR) es:

El compendio cartográfico técnico a través de un sistema de información detallado en los tres niveles administrativos, siendo una manera efectiva de contar con un diagnóstico de los riesgos que inciden en los diferentes tipos de asentamientos humanos. Esta herramienta es de gran utilidad para identificar, prevenir y mitigar los riesgos y la vulnerabilidad en las diferentes escalas y escenarios (Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2016).

La integración del ANR consiste en la participación e integración de información de los diagnósticos de los tres niveles de gobierno, las autoridades de Protección Civil, organizaciones públicas y privadas, para emprender la tarea de desarrollar metodologías con criterios homogéneos.

Para la aplicación adecuada de estas metodologías, el CENAPRED ha propuesto los lineamientos y criterios para la identificación de peligros y amenazas, determinando

los grados de vulnerabilidad y exposición a estos fenómenos. Se encuentra en vigencia, el "Programa Veracruzano de Protección Civil 2011-2016" que refiere los objetivos, estrategias y líneas de acción de la propia Dependencia y de la entidad sectorizada responsable de la administración del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN).

Tiene como objetivo el de transitar de una política pública reactiva que se aplica luego de ocurridos los desastres a una que identifique los peligros, aleje el grado de exposición de la población, la infraestructura o el entorno y reduzca la vulnerabilidad.

Además, inserta los principios de la protección civil en la gestión de toda la Administración Pública y la vincula a otros proyectos estratégicos fundamentales orientados a lograr un desarrollo ordenado, más justo y autosustentable, dado el efecto negativo que los fenómenos perturbadores imprimen bajo condiciones de marginación y pobreza, expansión urbana desordenada o depredación ecológica (Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2012).

Las diferentes herramientas que hoy en día se aplican para la identificación de los peligros, amenazas y vulnerabilidad, que sufre el territorio urbano y natural, han permitido desarrollar modelos cartográficos complejos, en donde se evalúa el riesgo de desastres en todos los niveles, con la participación de los diferentes actores y principalmente de la ciudadanía, cambiando el enfoque tradicional que se tenía para la elaboración de estos mapas.

### 1.3.5 Mapas de trayectorias ciclónicas

En el "Atlas: Peligros Geológicos e hidrometeorológicos del Estado de Veracruz 2007", se refiere que para tener una idea del desarrollo y trayectoria de los sistemas ciclónicos que han entrado en el litoral Veracruzano se presenta un mapa general. Corresponde a los sistemas en su etapa de Depresión Tropical, en este caso, solo se les asigna un número, puesto que el nombre se les asigna al alcanzar cuando menos la categoría de tormenta tropical. Los sistemas en etapa de Tormenta Tropical, en esta fase se les asignan un nombre y por último los sistemas en etapa de ciclón tropical o huracán; en estos tres sistemas, solo los que han impactado al estado de Veracruz de 1990-2010 (figura 1).

En cuanto al número de ciclones en una temporada, puede estar influida por la presencia de fenómenos a escala casi global como lo son El Niño y La Niña. Se ha mencionado que en el caso del primero, el número de ciclones disminuye, mientras que con la presencia del segundo aumenta. Tal condición implica, que en el segundo fenómeno, por ser mayor el número, la probabilidad de impacto en la entidad es también mayor (Mora, Morales, Rodríguez, 2008).

### 2.1 Metodología

Partiendo de los conceptos fundamentales de los fenómenos que ponen en riesgo a las zonas costeras, se realiza un diagnóstico de los efectos en la zona de estudio y la aproximación de las posibles consecuencias en el

Trayectoria de huracanes: 1990-2010

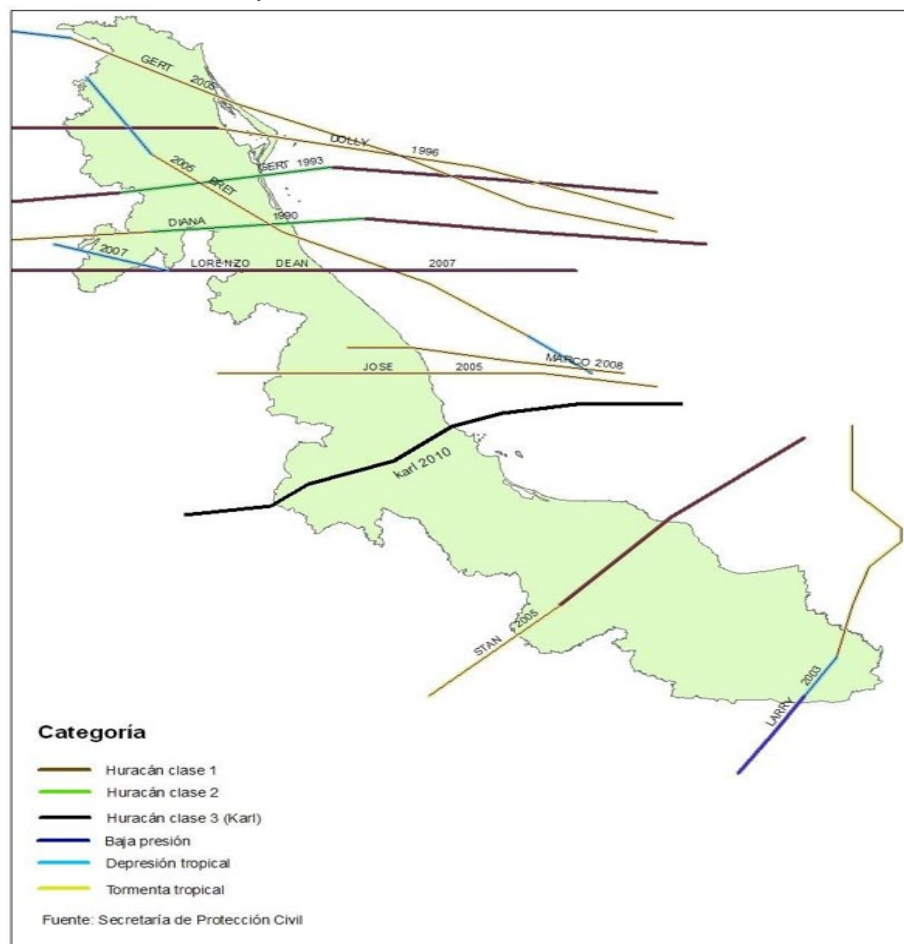


Figura 3. Fuente: Secretaría de Protección civil (2012).

territorio. El procedimiento que se plantea es a partir de la serie "Atlas Nacional de Riesgos" del CENAPRED, que se resume en los siguientes pasos:

- Identificación de los fenómenos naturales y antrópicos que pueden afectar una zona en estudio.
- Determinación del peligro asociado a los fenómenos identificados;
- Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad;
- Evaluación de los diferentes niveles de riesgo asociado a cada tipo de fenómeno, tanto natural como antropogénico;
- Integración sistemática de la información sobre los fenómenos naturales y antropogénicos, peligro, vulnerabilidad y riesgo considerando los recursos técnicos y humanos.

Para la elaboración de escenarios, se utilizaron mapas con resolución de hasta 1 km x 1km del INECC ([http://www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios\\_cu/act\\_escenarios.html](http://www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios_cu/act_escenarios.html)), tomando escenarios base (clima observado) y diferentes bases de datos desde CLICOM, ERIC III, IMTA, SMN, INIFAP y proponiendo los horizontes más lejanos posibles.

Posteriormente se identificó y se realizó un mapeo en base a los criterios y datos obtenidos por el INEGI (esto fue un problema complejo por la falta de cartografía municipal actualizada). Zonificadas los bordes vulnerables: la línea de costa del golfo de México y las riberas de los ríos, se llevó a cabo el análisis de escenarios. Este, se realizó mediante fotografías aéreas de GOOGLE MAPS, que cubrieron toda la cabecera municipal. Estas fotografías fueron de fechas a partir del año 2000. Para identificar los fenómenos que afectan a la zona de estudio, se

debe recurrir a diferentes fuentes de información tales como bibliográficas, hemerográficas y/o comunicación verbal; la información anterior debe ser considerada como el punto de partida para la elaboración de la cartografía del territorio que posteriormente se integrara en un atlas. De la cartografía histórica se obtiene el referente cronológico de los fenómenos que azotan a la zona de estudio.

## 2.2 Generación de mapas de territorio, usos y densidades

Para realizar el mapa del litoral Veracruzano se obtuvo de un conjunto de datos en formato digital DWG del INEGI, mediante estas capas se conformaron los puntos sobre el plano cartesiano x-y. En este caso, se comparó con propia cartografía impresa de las cartas con los siguientes datos: mediante el sistemas de coordenadas "elipsoide Clarke 1866", "la zona UTM 14N", que corresponde a la zona de la proyección universal de Mercator de la parte centro-norte del estado de Veracruz y al sistema geodésico mundial 1984 "datum wgs84".

Ya obtenido el mapa digital que corresponde a la cabecera municipal, se pudo visualizar de manera clara los alcances y la información que se recolectará en el lugar, además de hacer las comparativas del terreno de los mapas impresos con los mapas satelitales.

Evidentemente, no se puede alcanzar de forma precisa los datos respecto a las zonas de vulnerabilidad ya que cada fenómeno se comporta de diferente intensidad; pero con ayuda de los bordes físicos en el terreno y de evidencias notables en el incremento del nivel del mar y de la ribera, se pudo generar, de manera más cercana y con ayuda de la interpolación de superficies, las zonas altamente

vulnerables. Dichas superficies podrán siempre estar sujetas a interpretaciones y posteriormente a detalles técnicos más precisos en la obtención de su superficie y población vulnerable. Para ello se recomienda revisar los trabajos de Carbajal Domínguez (2010) y Vázquez Botello (2008).

## 3. Resultados

A partir de la información recabada en el lugar y con las predicciones antes mencionadas, se estimaron los promedios en los campos de estudio (zonificado de acuerdo a los AGEBS del INEGI), de acuerdo a esto, las localidades de Panuco, Tecolutla, Coatzacoalcos, Minatitlán corresponden a las localidades con mayor afectación en superficie y población debido al incremento del nivel del mar (tomando el riesgo de + 1.00 msn), esto corresponde a que su componente marítimo y terrestre.

De acuerdo al componente terrestre, la zona de estudio se localiza en las tierras conocidas como "tierras bajas o planicies costeras" lo que favorece, a una formación de un "embudo" que va de menos de 3 hasta los 11 kilómetros río arriba; de acuerdo a la porción terrestre de la zona costera, y es donde vemos la mezcla de aguas dulces y las aguas saladas del mar, esto en épocas de lluvias o fenómenos hidro meteorológicos provoca grandes inundaciones.

Lo que refiere el componente marino, la complejidad fisiográfica representa los patrones de circulación de las aguas, presentándose tres a lo largo del año: invierno con los gradientes térmicos (capacidad calorífica del agua es mayor a la de la tierra, genera un cambio de temperatura, entre océano y continente) generan vientos del norte denominados comúnmente "nortes", el patrón de verano se invierte y estos vientos son

denominados “suradas”. El tercer patrón siendo el más importante y que impacta permanentemente, son los cambios de transición de los vientos (nortes-suradas, suradas-nortes). En las temporadas de nortes el nivel del mar incrementa hasta 15 cm de manera natural debido al acumulamiento del agua.

El patrón de viento y el efecto de Coriolis, también influyen notablemente a los fenómenos hidrometeorológicos, ya que al desplazarse hacia el golfo de México, van adquiriendo mayor energía, debido al vapor de agua, pero si encuentra una zona de baja temperatura, ésta cambia su trayectoria, para evitar perder su energía (figura 2).

### 3.1 Tecolutla

La cabecera municipal de Tecolutla, se encuentra en una situación privilegiada geográficamente, por tener importantes recursos naturales turísticos para su explotación, por un lado, el río Tecolutla que lo limita hacia la zona sur, hacia el este se encuentran el golfo de México y hacia el noroeste un importante sistema manglar y de dunas.

En contraste la CONAPO (2010) indica que el municipio presenta un alto grado de marginación, ocupando el lugar 91 a nivel estatal, además la CONEVAL (2010) refiere que más del 75% de la población, presenta un índice de rezago y vulnerabilidad social es medio-alto. Otro importante indicador (INEGI 2010-2013), el de infraestructura y vivienda, dice que solo el 25% cuenta con agua entubada y que un 70% posee drenaje sanitario, esto da como resultado una importante contaminación hacia la ribera del río Tecolutla, las costas del golfo de México y a los esteros de la zona norte del municipio. Cabe aclarar que el municipio cuenta con planta potabilizadora, pero no se encuentra en

función, lo anterior y con las probables descargas de la zona Hotelera hacia estos importantes sistemas, contribuyen a la vulnerabilidad de la población, no solo en épocas de inundación.

### 3.2 Análisis cartográfico por cédula de territorio

El área de estudio fue zonificada tomando los cuatro AGEBS en los que está dividido el centro de población. Aquí se puede observar que la mayor densidad de viviendas se encuentra localizada en el polígono 01 y parte del polígono 02. Estas zonas son las de mayor marginalidad del centro de población (vivienda precaria y falta de servicios de infraestructura básicos). En lo que respecta a los polígonos 03 y 04, se tiene

una densidad media a baja, ya que en estos el uso del espacio concierne a la de vivienda tipo residencial y a hoteles. En lo que respecta al uso de suelo, se puede notar que hacia la ribera del río Tecolutla, los esteros y el centro de la villa se concentra la mayor parte de viviendas, siendo hacia el norte zona hotelera y por las principales calles el uso mixto (vivienda y comercio). Es importante señalar que los primeros cuadros de la zona norte se encuentran baldíos, esto en razón del evento de 1999.

Estos cuatro polígonos tienen en común un alto grado de vulnerabilidad natural de las mareas del golfo de México y a los desbordamientos del río Tecolutla. Se puede afirmar que más del 70% del centro de población tuvo un desarrollo hacia zonas altamente vulnerables, por

### El litoral veracruzano con las poblaciones costeras afectadas, ante un incremento del nivel del mar.



Figura 4. Fuente: Carbajal Domínguez (2010).

esto la aptitud territorial no es apta para futuros desarrollos, ya que hacia el norte y el este del centro urbano se encuentra rodeados por zonas inundables de tres esteros que se conectan hacia aguas del golfo de México y del río Tecolutla.

La mayor parte de la población de los polígonos vulnerables (001, 002, 003) está consciente de que el lugar en el que vive no es seguro y su percepción del riesgo del territorio es alto.

En lo que respecta a protección civil de la cabecera, tienen presente que las zonas vulnerables se encuentran hacia la ribera del río Tecolutla, pero no tienen medidas de contingencia hacia las zonas inundables de los esteros y de la costa del golfo de México.

La dirección de obras públicas y desarrollo urbano del municipio

se encuentra implementando una estrategia de desarrollo hacia la zona norte y al este de la cabecera municipal, con esto se observa una nula relación de la percepción del riesgo de los habitantes y las autoridades (cartografía 5). Esto da como resultado una alta construcción institucional del riesgo por estas medidas tomadas.

### 3.3 Análisis cartográfico por SIG

De la población total se muestra que la mayor concentración se encuentra hacia la ribera de río Tecolutla, en donde encontramos rangos de habitantes por manzana que van de 45 hasta los 113, la menor agrupación es hacia el norte y noroeste (rango de 0 a 45 habitantes por manzana), siendo estas áreas las de vivienda media y residencial, notando que existe una menor cobertura de

servicios básicos (0 a 21 viviendas por manzana, en contraste con la zona sur, en donde se encuentra la mancha urbana más consolidada (21 a 42 viviendas por manzana, en donde un poco más del 70% cuenta con los servicios básicos necesarios.

De la misma forma se observa que en la misma zona sur de la villa Tecolutla la gran parte de esta población no es originaria del estado de Veracruz y la población de más de 15 años es analfabeta (4 a 8 habitantes por manzana).

En lo que respecta a la población económicamente activa, ésta se encuentra en la zona centro de la villa Tecolutla, siendo las manzanas originarias del emplazamiento.

Aquí podemos ver que existe una relación con las principales vías de

### Mapa de riesgos y vulnerabilidades.

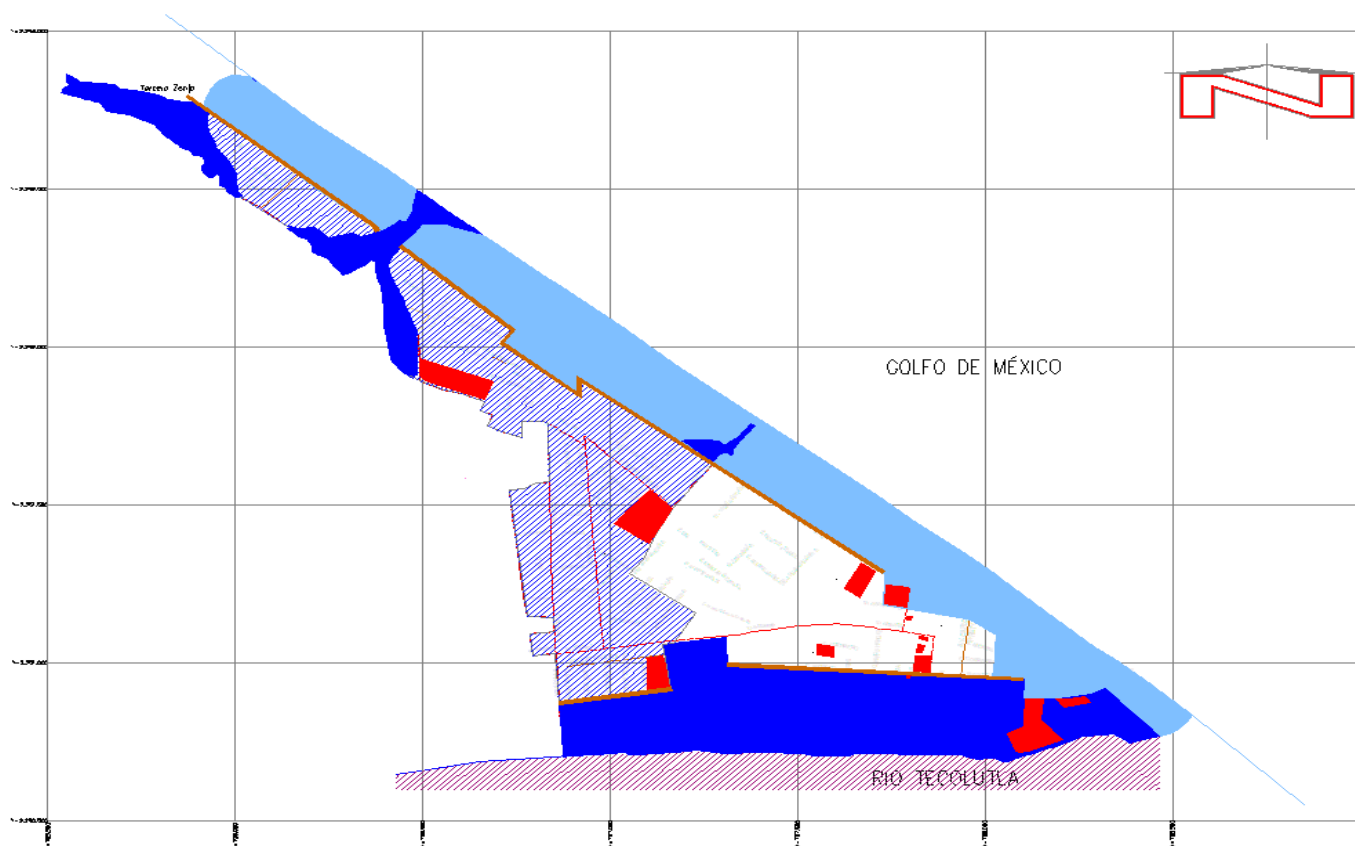


Figura 5. Se puede observar claramente las zonas de riesgos que existen actualmente en la cabecera: hacia el sur por inundaciones y la contaminación del propio del río Tecolutla, hacia el golfo de México la zona que es afectada en mareas altas y hacia el este el efecto de las plumas de los ríos y las los esteros. Fuente: Elaboración propia (2016).



comunicación en donde se encuentran los comercios y hoteles de la cabecera, conformándose de esta manera los principales ejes comerciales, de norte a sur y de este a oeste.

### 3.4 Análisis comparativo cartográfico

La comparación cartográfica no dista mucho de la realidad. Podemos afirmar que la mayor concentración de población vulnerable con viviendas consolidadas se encuentra hacia la ribera del río Tecolutla, siendo la zona de mayor actividad económica y siendo también la zona que carece de estudios elementales, con población no nacida en el estado.

A partir de esto nace la incertidumbre de si por ser cabecera- puerto de la Costa Esmeralda ha incidido en la migración de población proveniente de otros estados y que se han asentado en zonas de gran vulnerabilidad frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos, y más importante aún, con el permiso de las autoridades municipales.

Con esto podemos hacer la comparación de los elementos en análisis; la cartografía de google maps, contraponerla con la cartografía realizada en la investigación y con mapas satelitales del año de 1999.

A partir de aquí, se desarrolla un mapa más detallado de los riesgos y vulnerabilidades que padece la cabecera municipal, donde podemos ver los riesgos naturales (perdidas de estuarios), hidrometeorológicos (inundaciones pluviales, fluviales, costeras, lacustres), industriales (azolve por tránsito marítimo y terrestre de ductos de Pemex), viales (ruta de evacuación sobre llanura de inundación) y sanitarios (contaminación de mantos freáticos).

## 4. Conclusiones

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) reúnen las funciones necesarias para actuar como herramienta útil en el análisis territorial. Su implementación dentro del proceso de ordenamiento territorial en el desarrollo urbano genera las capas de información representada en mapas que se incluirán en los planes y esquemas durante su proceso. La creación de bases de datos, la digitalización y georreferenciación, la transformación de imágenes satelitales, las operaciones matemáticas (escalares, combinaciones matemáticas, etc.), el análisis estadístico tradicional y espacial, entre otros, comprenden las diferentes alternativas y análisis de la información, para el modelo territorial que se plantea en el SIG.

Para la elaboración de cartografía existen programas y procedimientos para los estudios y análisis requeridos para la construcción de mapas de riesgo por parte de diferentes organizaciones públicas y privadas. El CENAPRED ha propuesto los lineamientos y criterios para la identificación de peligros y amenazas, determinando los grados de vulnerabilidad y exposición a estos fenómenos, para que posteriormente se complemente en el compendio cartográfico técnico del Atlas Nacional de Riesgo.

Existe la Nueva Metodología para la elaboración y actualización de Programas Municipales de Desarrollo urbano que tiene como objetivo el definir el modelo de crecimiento mediante la gestión de suelo, teniendo como una de las principales "ventajas" la de evitar el crecimiento urbano en áreas protegidas y zonas de riesgo. Propone un cambio de paradigma en el sistema hidrológico como el límite ambiental de la aglomeración de municipios y del área urbana. Sin embargo, en su apartado

técnico, menciona los principales riesgos naturales y antrópicos, pero remitiendo a fuentes de información sin actualizar, esto en el sentido de que los atlas nacionales de riesgo son genéricos y en la mayoría de la cartografía está desactualizada y sin detallar.

Por último, se recomienda continuar con investigaciones de las problemáticas de los riesgos y amenazas en el territorio, desde distintas perspectivas que contribuyan a tener un mayor conocimiento para el diseño de planes o programas de gestión, estableciendo intervenciones más apropiadas en las localidades que se encuentran mayormente vulnerables, preparándolas ante la posibilidad de ocurrencia de desastres e involucrarlas en acciones de prevención y reducción del riesgo de desastres.

Es necesario e indispensable contemplar con información homogénea, compatible y de calidad, que permita tener una base sólida, para ello, existen diversas instituciones y organismos de la administración pública federal y estatal, para el manejo y recabación de la información geográfica y estadística. Merece atención prioritaria las consecuencias del incremento del nivel del mar y de los fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Veracruz.

Si bien existe dentro de las estrategias de protección civil un marco referente a los fenómenos hidrometeorológicos, no se tiene debidamente una línea de daños esperados en zonas de alta vulnerabilidad respecto al incremento del nivel del mar.

El crecimiento urbano acelerado en el estado de Veracruz, está ligado con la vulnerabilidad de asentamientos humanos en zonas de riesgo, por ello, debe valorarse un programa

de prevención a este fenómeno. Integrar a los análisis gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno, los riesgos de incremento del nivel de mar a los riesgos hidrometeorológicos ya existentes; los programas nacionales de prevención establecidos por varias dependencias gubernamentales (CENAPRED, Secretaría de la Defensa Nacional, Secretaría de Marina, Protección Civil, etc.). Se observa la falta de estrategias dentro del proceso de planeación del desarrollo urbano y de su ordenamiento del territorio que incorpore en una vía metodológica la gestión del riesgo de desastres y de esta manera reducir en el territorio su vulnerabilidad así como incrementar su capacidad de resiliencia frente riesgos naturales.

En vista del creciente desarrollo urbano que se llevó desde el último evento hidrometeorológico en las zonas de mayor vulnerabilidad, se sugiere a las diferentes estancias municipales y estatales definan por medio de estudios rigurosos, los escenarios de riesgos futuros y la elaboración de mapas detallados de las zonas de riesgo y de amenazas de la zona de estudio.

Además, se sugiere la implementación energética de la normatividad federal en lo referente a gestión de riesgo de desastres en todos los programas de desarrollo urbano, de futuros planes de ordenamiento territorial y la realización de procesos de control, vigilancia y gestión en el territorio vulnerable.

Resulta oportuno incorporar los principales resultados de este estudio, que, como contribución, permitirán promover intervenciones en los tres niveles de gobierno en el área de gestión integral del riesgo. Es importante señalar que la vulnerabilidad territorial ha sido creada de manera institucional

ya que los habitantes están conscientes de los riesgos en donde se emplazan sus viviendas. La aplicación de la gestión del drenaje urbano es onerosa y perturbadora en las zonas urbanas.

Las estrategias de bajo riesgo con co-beneficios comprenden superficies menos impermeables que permiten una mayor recarga de las aguas subterráneas, una infraestructura verde y jardines y huertos en las azoteas. La elevación del nivel del mar hace que aumente el nivel del agua en los desagües costeros, lo que impide el drenaje. En muchos casos, es necesario actualizar las antiguas normas de diseño para precipitaciones que se utilizan para reflejar las actuales condiciones climáticas.

La conservación de los humedales, en particular los manglares y las estrategias de planificación de uso de suelo pueden reducir la intensidad de los episodios de inundación. La implementación del manejo integral de cuencas (Planes de acción de manejo integral de cuencas), para conservar la biodiversidad, contribuir a la mitigación y fortalecer los procesos de adaptación. De lo anterior, se sugiere el proyecto GEF de adaptación en humedales costeros del Golfo de México, mediante el ordenamiento ecológico con enfoque interdisciplinario, para la restauración de ecosistemas y el fortalecimiento de sus capacidades.

## Bibliografía

BRAVO, Humberto, SOSA, Rodolfo, SÁNCHEZ, Pablo Y BUTRÓN, Arturo. (2006). "Riesgo químico asociado a fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Veracruz." En TEJADA, A. & WELSH, C. (coord.), Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz (págs. 315-326). Xalapa, Veracruz, México: Covecyt-Uv, Universidad Veracruzana.

CABRERA, Armando, MENESES, Ernesto, Y MORENO, Josué. (2014). Simulación de los efectos causados por el incremento del nivel del mar en la Península de Yucatán. México: Department of Mathematics, University of Miami, USA.

CARBAJAL, Adrián. (2010). "Zonas costeras bajas en el Golfo de México ante el incremento del nivel del mar". En BOTELLO, Alfonso; VILLANUEVA, Susana; GUTIÉRREZ, Jorge y ROJAS, José (Eds.), Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático (segunda edición), México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Campeche, México, 2010, p. 359-380

GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT). (2004). Programa Rector del Desarrollo Litoral del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Veracruz. GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE, SECRETARÍA DE FINANZAS Y PLANEACIÓN (SEFIPLAN). (2012). Programa Veracruzano de Protección Civil 2011-2016, Xalapa-Enriquez: Subsecretaría de Planeación.

GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES. (2016). Atlas Nacional de Riesgos [en línea]. México: 21 de diciembre de 2016. Disponible en Web: (<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/descargas.html>) [Consulta: julio, 2017]

MAGAÑA, Víctor; VARGAS, Nuria; GALGUERA, Gerardo Y NERI, Carolina. (2012). Estudio para sistematizar una propuesta metodológica del análisis de la vulnerabilidad actual y bajo el cambio climático. México: UNAM-INE, Instituto de Geografía.

MORA, Ignacio; MORALES, Wendy Vanesa Y RODRÍGUEZ, Sergio Raúl. (2007). Atlas: Peligros Geológicos e hidrometeorológicos del Estado de Veracruz. Xalapa, Veracruz, México: Secretaría de Protección Civil.

ORTIZ, Leonardo; ARCEO, Patricia; GRANADOS, Alejandro; SALAS, David Y JIMÉNEZ, Lourdes. (2010). "Zona Costera". En FLORESCANO, Enrique y ORTIZ, Juan, Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz (Vol. I). Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana, 2010, p. 123-146.

ORTIZ, Mario Arturo, Y MÉNDEZ, Ana Patricia. (1999). Repercusiones por el ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, El Cambio Climático en México.

SÁNCHEZ-SATILLAN, Norma; GARDUÑO, René Y NEGRETE, Pilar. (2007). Análisis del nivel del mar en seis puertos del Golfo de México a través de un método alternativo. México: UAMXochimilco, Depto. el Hombre y su Ambiente, UNAM, Climatología. Centro de Ciencias de la Atmósfera.

VÁZQUEZ, Arturo. (2008). Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y de los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos. México: INESEMARNAT, Instituto de Ecología, A.C.