

Recepción: **Marzo 5, 2018** | Aceptación: **Junio 22, 2018**

ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGO POR CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA DEL MUNICIPIO DE TAPACHULA, CHIAPAS, MÉXICO

—

Vicente Castro Castro
vicente.castro@unach.mx

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE CHIAPAS, MÉXICO



Para citar este artículo:

Castro-Castro, Vicente. (2018) Análisis preliminar de riesgo por cambio climático en la costa del municipio de Tapachula, Chiapas, México. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 7(18) 92-116. doi: 10.31644/IMASD.7.2018.a05

RESUMEN

Los cambios climáticos que actualmente se experimentan son ya de la más alta preocupación y atención a nivel mundial. Los efectos del cambio climático son, entre otros, incremento del nivel medio del mar, incremento de la frecuencia e intensidad de huracanes y eventos de oleaje extremo, lo anterior ubica a los estados costeros en condición de alta vulnerabilidad. Chiapas ha sido identificado como uno de los estados del país que se verán más afectados ante el incremento en el nivel medio del mar. En este documento se realiza un análisis preliminar del nivel de riesgo costero de las playas del municipio de Tapachula, análisis basado en las estimaciones futuras del aumento de la temperatura ambiental y el aumento del nivel medio del mar, así como de los eventos extremos. Para el análisis se aplicó el método de la rueda de riesgo costero “The Coastal Hazard Wheel”, además de realizar un análisis documental de los eventos extremos suscitados y daños ocasionados durante los últimos cinco años. Resulta de la mayor preocupación que una de las dos áreas analizadas se ubicó en un nivel de riesgo costero muy alto, tanto en tiempo actual como futuro, lo cual apremia a tomar medidas basadas en el conocimiento, que permitan resguardar el patrimonio de la comunidad, pero sobre todo su seguridad personal y la de los visitantes de las playas de esta área. Urge revisar y considerar los estudios realizados a la fecha; así como generar nueva información para efectos de planeación y manejo de las playas del municipio de Tapachula, Chiapas, todo bajo un enfoque de manejo integrado de la zona costera.

Palabras Clave

Análisis de riesgo costero, erosión costera, calentamiento global, manejo integrado de la zona costera.

PRELIMINARY RISK ANALYSIS OF CLIMATE CHANGE IN THE COAST OF TAPACHULA MUNICIPALITY, CHIAPAS, MEXICO

— Abstract—

Climate changes that are currently being experimented have started to be of the highest concern and worldwide attention. The effects of climate changes are, among others, the increase of the sea level, the frequency and intensity of hurricanes and extreme wave events, this last effect would mean for the cities that are located on the coast to be in a high vulnerability condition. Chiapas has been identified as one of the most affected states due to the increase of the sea level. In this work, a preliminary analysis of the coast hazard level of the beaches of Tapachula is carried out, analysis based on the future estimates of the increase of the environmental temperature and the increase of the sea level as well as of the extreme events. For the analysis, “The Coastal Hazard Wheel” method was applied and a documental analysis of the extreme events and the damages that were produced in the last five years was also carried out. It was found critical, that one of the two analyzed areas is located in a high level of hazard, in the present time as well as in the future, it means that it is time to take some actions, knowledge-based, that would allow to protect the community patrimony and heritage, but most importantly the personal security as well as the tourists that visit the beaches on the area. It is urgent to examine and take into account the studies done these days as well as to generate new information for the effects of planning and management of the beaches of Tapachula, Chiapas, by means of an integrated management approach to the coastal zone.

Keywords

Coastal hazard analysis, coastal erosion, global warming, integrated coastal zone management.

Los cambios climáticos que actualmente se experimentan a nivel mundial son ya de la más alta preocupación y atención a nivel mundial. En este contexto el calentamiento global se cierne como una de las mayores amenazas futuras para la población mundial ya que se espera, entre otros cambios, un incremento en los niveles de sequías, incremento en la frecuencia e intensidad de tormentas y huracanes, un incremento en el nivel medio del mar, así como un aumento en eventos extremos como mar de fondo.

El incremento de la temperatura ambiental es una realidad que es analizada a nivel nacional y estatal. En México, principalmente para los estados del norte, se estima que el incremento de la temperatura entre el 2020 y 2080 puede ser de entre 2 a 4 °C, mientras que el incremento de la temperatura superficial del mar Caribe, Golfo de México y océano Pacífico se estima del orden de entre 1 y 1.5 °C (Instituto Nacional de Ecología [INE], 2006). Para el Estado de Chiapas, los escenarios de incremento de la temperatura ambiental que se esperan se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Escenarios de temperatura ambiental para el estado de Chiapas.

	2020	2050	2080
Temperatura SRES A1B	+1.0 a +1.1 °C	+1.6 a +1.8 °C	+2.2 a 2.6 °C
2075-2099			
Temperatura modelo japonés	Temperatura media		Temperatura máxima
	+2.4 a +3.4		+2.4 a +3.6

Fuente: Tabla elaborada a partir de información del proyecto "Escenarios climáticas para el estado de Chiapas. Informe final fase II" (UNICACH, 2010)

Ante el incremento de la temperatura ambiental, uno de los principales efectos esperados es el incremento en el nivel medio del mar (Grinsted *et al.*, 2009), efecto explicado fundamentalmente por la expansión térmica y la fusión del hielo (Meehl *et al.*, 2007). De acuerdo con Vázquez-Botello (2008) los Estados más afectados en México, ante el incremento de un metro en el nivel medio del mar, serán Campeche, Chiapas, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Figura 1).

El incremento del nivel medio del mar traerá como secuela un incremento de la profundidad de la columna de agua, lo que llevará a una disminución de la fricción del fondo y aumentará la energía de las olas en las playas (Vázquez-Botello, 2008), lo que llevará a procesos más intensos de erosión de playas y por lo tanto a daños a la infraestructura costera así como a las propiedades de particulares y riesgos para los bañistas, lo que además se intensificará ante eventos como huracanes y mar de fondo.

Figura 1. Áreas afectadas de México. En rojo se muestran las áreas que serán afectadas ante el incremento de 1 m del nivel medio del mar para México. El círculo blanco muestra la costa de Chiapas.



Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, Universidad de Arizona.

Ante el escenario futuro y sus potenciales efectos, resulta apremiante valorar los niveles de riesgo de la costa en aquellas entidades donde se espera mayores daños como la costa de Chiapas. En este sentido se realizó un análisis preliminar de riesgo costero del municipio de Tapachula, el resultado de dicho análisis fue sujeto a una ratificación o rechazo en función de los cambios y/o daños que se han documentado en el litoral del municipio de Tapachula, Chiapas en años recientes. El análisis realizado debe ser una herramienta que permita contribuir y promueva un programa de manejo integrado de la zona costera (MIZC) del municipio de Tapachula en lo particular, y del estado de Chiapas en lo general, para la salvaguarda de la infraestructura costera, pero aún más, en la protección de los habitantes de la costa y los visitantes de las playas.

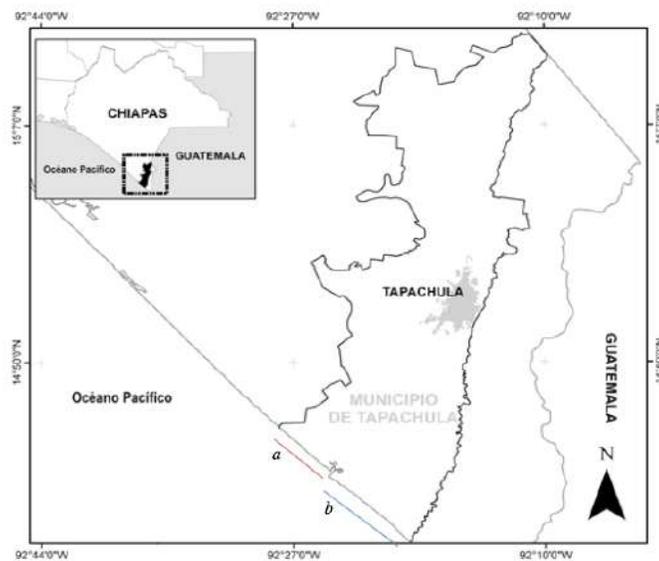
MÉTODOS

La costa del municipio de Tapachula

El municipio de Tapachula se ubica en la porción sur del estado de Chiapas (Figura 2) y cuenta con una extensión de línea de costa de alrededor de 21 Km, de los cuales poco más de 3.1 Km corresponden al área urbana de la comunidad de Puerto Madero, misma que está protegida del mar por una muralla artificial de piedras y bloques de concreto (Castro-Castro y Barrios-Ramos, 2009).

La costa del municipio de Tapachula pertenece al gran ecosistema marino costa centro americana del Pacífico, el cual es un ecosistema abierto con límite oceánico establecido por la plataforma continental (Escofet, 2009). Su origen es de colisión de placas (De la Lanza, Ortiz-Pérez y Carbajal-Pérez, 2012). De acuerdo con Ortiz y de Lanza Espino (2006) el área de interés se ubica en la región meridional del pacifico mexicano que se caracteriza por extensas playas de arena, la mayoría de textura gruesa y media, con pendientes comúnmente mayor a los 12° y presentan oleajes distantes de alta energía proveniente del sur. La costa chiapaneca pertenece a la unidad costera IX, con una llanura costera en desarrollo de amplitud moderada y con una plataforma continental amplia (Carranza-Edwards, Gutiérrez y Rodríguez, 1975). En el área de interés se distinguen dos climas, en la porción noroeste se presentan un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, A (w2); mientras que en la porción sureste el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media, A (w1); los suelos dominantes del área es regosol éutrico grueso (Re/1) (INEGI, 2006).

Figura 2. Áreas de trabajo. Se muestra la línea de costa del municipio de Tapachula, Chiapas. *a*= zona de erosión de playas, *b*= zona de acreción de playas.



De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano ([SGM], 2012) y Barrios-Ramos (2013) en el litoral del municipio de Tapachula se distinguen dos áreas distintas, una zona *a* de erosión intensa que se ubica al norponiente de las escolleras (o espigones) construidas en la década de los 70's y que ha afectado viviendas y restaurantes de la comunidad de Puerto Madero,

y una zona *b* de acreción localizada al suroriente de las escolleras antes mencionadas (Figura 3). Basado en esta diferenciación, el análisis realizado tomó como base dicha zonación (Figura 2).

Figura 3. Espigones construidos en los 70's. Se presentan los cambios en la línea de costa a ambos extremos de las escolleras construidas, que separan las dos zonas de estudio.



Fuente: Barrios-Ramos (2013).

Análisis Preliminar de Riesgo

Con base a la información científica y climatológica disponible, se realizó el análisis preliminar de nivel de riesgo costero del municipio de Tapachula, Chiapas para las dos áreas señaladas y aplicando el método de la rueda de riesgo costero (Figura 4) “The Coastal Hazard Wheel (CHW)” (Rosendahl y Halsnæs, 2015), el cual es una herramienta de tecnología simple que puede ser usada en áreas con limitada disponibilidad de datos y capacidad institucional, está, por lo tanto, especialmente hecha para usarse en países en desarrollo. El método realiza primero una clasificación de la costa, posteriormente identifica el nivel de riesgo inherente, (bajo, moderado, alto y muy alto) que se establece bajo un escenario de cambio climático en cinco propiedades biogeofísicas de la costa (Rosendahl y Halsnæs, 2015):

- a) Alteración del ecosistema (*ecosystem disruption*): describe la posibilidad de una interrupción del estado actual del ecosistema costero bajo un cambio de clima.

COASTAL CLASSIFICATION (start in wheel center)		INHERENT HAZARD LEVEL			
Geological layout					
Wave exposure	Ex Exposed Mx Moderately exposed P Protected				
Tidal range					
Flora/fauna					
Sediment balance	B/D Balance/deficit Sur Surplus NB No Beach B Beach				
Storm climate	Y Yes to tropical cyclone activity N No to tropical cyclone activity				
Note: R= Sloping hard rock; C=Corals; M/M=Marsh/Mangrove; A=Any					
		Low	Moderate	High	Very high
Ecosystem disruption		1	2	3	4
Gradual inundation		1	2	3	4
Salt water intrusion		1	2	3	4
Erosion		1	2	3	4
Flooding		1	2	3	4

El nivel de riesgo costero obtenido fue validado a partir de los cambios y/o daños documentados por estudios diversos y por fenómenos ambientales (mar de fondo) recientes (2015) que modifican y generan desastres en la línea de costa.

RESULTADOS

De la información disponible

Al realizar la búsqueda y análisis de la información existente se pudo confirmar que ésta es escasa; sin embargo, fue suficiente para los objetivos del presente trabajo. De los trabajos realizados a la fecha destacan:

- Estudio de dinámica costera y medición de oleaje para resolver el problema de azolvamiento del canal de acceso de Puerto Madero, Chiapas (Instituto Mexicano del Transporte [IMT], 1997). Se reportaron datos sobre erosión y acreción, sobre las estructuras de protección, transporte de sedimentos, variaciones de la línea de costa, perfiles de playa entre otros.
- Analysis of the erosion/accretion process in Puerto Chiapas, México (Bustamante, 2007). Este trabajo realizó escenarios a corto y largo plazo sobre la morfología costera, además de proponer soluciones a la erosión/sedimentación.
- Cambios en la línea de costa del municipio de Tapachula, Chiapas, México (Barrios-Ramos, 2013). El estudio reporta los cambios, de corto y largo plazo, que ha sufrido la línea de costa de Tapachula, además de documentar la erosión, describir el perfil de playa, así como los tipos de arenas en distintas playas.
- Atlas de peligros del Estado de Chiapas. Reporte técnico (SGM, 2012). Este documento describe los procesos de erosión/sedimentación

que se dan en la línea de costa; sin embargo, no establece algún nivel de peligro o riesgo.

- e. Pérdida de playas en Puerto Madero, Chiapas. Daños y perspectivas (Castro-Castro *et al.*, 2015). Este trabajo analiza la pérdida de playas, sus consecuencias y los factores antrópicos y naturales que causan la erosión de las playas del municipio de Tapachula, Chiapas.
- f. Erosión y sedimentación de playas del municipio de Tapachula, Chiapas, México (Castro-Castro *et al.*, 2017). El estudio documenta cambios de corto y largo plazo de la línea de costa del municipio de Tapachula, Chiapas; además describe, a partir del índice de erosión sedimentación costera, el estado actual de las playas, y realiza un análisis granulométrico de las mismas.

Análisis preliminar de riesgo. Etapa 1, clasificación de la costa

Con base a la información existente, el análisis preliminar de riesgo costero se realizó para las dos zonas bien definidas de la Figura 2. Así, la caracterización de la zona *a* fue:

- * Arreglo geológico: planicie sedimentaria (■), costa con pendiente menor a 3-4 %, al menos 200 metros tierra adentro de la línea de marea media, están compuestas por depósitos sedimentarios de limo, arcilla, arena, grava o grandes guijarros.
- * Exposición al oleaje: originalmente la zona estuvo totalmente expuesta al oleaje (■), a la fecha alrededor del 50 % del área está expuesta al oleaje (■) y 50 % protegida (■) por una barrera de piedras y bloques de concreto (Figura 5a).
- * Amplitud de marea: micromareal (■) en condiciones climáticas normales (sin tormentas, mar de fondo o huracanes), donde la amplitud de la marea (diferencia vertical entre la marea alta y la marea baja) es menor a 2 metros.
- * Flora/Fauna: no tiene un papel relevante en las características de la costa (■) y/o en el perfil de riesgo inherente, esto debido a que el 50% de esta área está protegida por una barrera artificial de rocas y bloques de concreto (Figura 5a) y el restante 50 % presenta en su mayoría vegetación herbácea (Figura 5b) que muy poco contribuye a la estabilización de la costa ante la fuerza del oleaje.
- * Balance sedimentario: si bien la dinámica sedimentaria de esta zona, de acuerdo con la metodología empleada, se ubica en la categoría balanceada/deficitaria (■), la realidad es que esta zona es totalmente deficitaria, ya que es una zona altamente erosionada (Figura 5c).
- * Clima de tormenta: la zona es de alta actividad ciclónica tropical (■).

Figura 5. Evidencias de las características de la zona *a*. Imagen *a* muestra la barrera de protección artificial de rocas y bloques de concreto; la imagen *b* muestra vegetación herbácea y la imagen *c* el nivel de erosión.



La zona *b* presentó características similares a la zona *a* con excepción del balance sedimentario, ya que en esta zona la dinámica sedimentaria fue excedente de acuerdo con la literatura revisada, por lo que la playa se ha incrementado considerablemente.

Análisis preliminar de riesgo. Etapa 2, nivel de riesgo inherente

La segunda etapa de la metodología empleada lleva a determinar el nivel de riesgo inherente definido como el riesgo que existe en la parte inherente de las propiedades biogeofísicas de un ambiente costero, cuando se expone a las predicciones de cambios en el clima global de las próximas décadas (Intergubernamental Panel Climate Changes [IPCC], 2007, 2013). Si bien el nivel de riesgo planteado por el método CHW se da bajo un escenario futuro de cambio climático, puede ser aplicado también a las condiciones actuales, por lo que se realizó el ejercicio en escenario actual y futuro. Los resultados del análisis de riesgo actual de la zona *a* y la zona *b* se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Nivel de riesgo costero actual de los sitios analizados.

Propiedades biogeofísicas	Nivel de riesgo inherente							
	Bajo (1)		Moderado (2)		Alto (3)		Muy alto (4)	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Alteración de ecosistema		x					x	
Inundación gradual				x	x			
Intrusión salina				x			x	
Erosión		x					x	
Inundación repentina y catastrófica				x	x			
Nivel de riesgo costero	Zona <i>a</i> , muy alto				Zona <i>b</i> , moderado			

El análisis realizado ha tomado en cuenta los cambios sufridos en la costa del municipio de Tapachula en los últimos 10 años, y eventos recientes de mar de fondo. Así, las consideraciones realizadas por propiedad biofísica fueron:

Alteración de ecosistema: todo el paisaje de la playa, al poniente de los espigones (zona *a*) construidos en la década de los 70's, ha sido totalmente modificada para la protección de la comunidad de Puerto Madero mediante una barrera de piedra y cubos de concreto (Figuras 5a, 6). Esta alteración ha continuado durante los últimos años con la construcción de nuevas estructuras de protección (Figura 7), lo que indudablemente es una alteración muy fuerte del ecosistema de playas, por lo cual se clasificó como de riesgo muy alto.

Figura 6. Escolleras y muro. Se muestra la escollera construida en la década de los 70's (incluyendo ampliaciones realizadas en los últimos años) y la barrera de cubos de concreto.



Figura 7. Nuevas obras de “protección”. En círculo se muestran las nuevas obras de “protección” construidas en los últimos años al poniente de la comunidad de Puerto Madero, Tapachula, Chiapas.



Con respecto a la zona *b*, la alteración del ecosistema también se ha dado fuertemente, pero por procesos de acreción intensa de la playa. Los procesos de acreción han sido considerados, desde la perspectiva turística (Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A. C. [ANIDE], 2018), como un

proceso que contribuye a reducir la vulnerabilidad de las playas, por lo que el nivel de riesgo para la zona *b* se estableció en bajo.

Inundación gradual: para la zona *a* se consideró un nivel de riesgo alto debido a que la zona es de clima de tormentas y durante la temporada de lluvias y ciclones las inundaciones en la comunidad suelen presentarse. Para la zona *b*, debido a que es una zona poco poblada (principalmente son casas de descanso) y con una amplia playa, el nivel de riesgo de inundación gradual se estimó en moderada.

Intrusión salina: en pláticas sostenidas con habitantes de la comunidad de Puerto Madero, se logró verificar que el agua salada se ha introducido alrededor de 60 a 100 metros hacia el continente, mientras que en la temporada de estiaje la intrusión salina se amplía alrededor de 120-150 metros hacia el continente, por lo que esta zona se clasificó como de riesgo muy alto. Mientras que para la zona *b*, debido a la amplitud de la playa, se ubicó en nivel de riesgo moderado.

Erosión: en cuanto a la erosión de las playas analizadas, la evidencia fue contundente, la zona *a* ha sufrido desde hace más de 20 años procesos severos de erosión (Figuras 5c y 8), proceso que continua en la actualidad y que ha generado graves daños a la infraestructura turística y patrimonio familiar, por lo que el nivel de riesgo actual se identificó de muy alto como se puede observar en la Figura 8. Para la zona *b* la playa ha tenido un proceso de progradación, registrándose áreas donde la playa ha crecido poco más de los 800 metros (Figura 9), característica por lo que el área se ubicó en nivel de riesgo bajo.

Figura 8. Erosión y daños en la zona *a*. Se muestra la erosión severa y daños a la infraestructura turística y patrimonio familiar en Puerto Madero, Tapachula, Chiapas. Imágenes de septiembre del 2012.



Figura 9. Acreción de playas. Se muestra parte de la zona *b*, las líneas negras muestran la longitud de playa que se ha ganado. $a = 830$ m, $b = 673$ m.



Inundación repentina y catastrófica: esta característica biofísica es quizás la de más alto riesgo por la condición de repentina. En los últimos años se ha observado un incremento en los eventos de mar de fondo, los cuales en su mayoría han sido inesperados para la población de Puerto Madero y han ocasionado fuertes daños a la infraestructura turística (Figura 10). En el año 2015, se presentaron tres eventos de mar de fondo (abril, mayo y agosto), siendo el más catastrófico el de mayo (Figura 10), donde de acuerdo con el Boletín Meteorológico de la Dirección General Adjunta de Protección y Seguridad Marítima de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, las olas pronosticadas alcanzaron alturas mayores a los 2.1 m. A la fecha estos eventos de mar de fondo son ocasionales, por lo que el nivel de riesgo asignado a esta zona fue de alto. Para la zona *b*, dada la amplitud de la playa, el mar de fondo ha ocasionado afectaciones mínimas, por lo que el nivel de riesgo asignado fue de moderado.

Es indudable ante las evidencias existentes, que la zona *a* es un área de muy alto riesgo, ya que al estimar el valor promedio, de acuerdo con el CHW, fue de 3.6, mientras que para la zona *b*, el valor promedio fue de 1.6, lo que ubica a esta zona con un nivel de riesgo moderado. El estatus de la zona *a* de nivel de riesgo costero muy alto, requiere urgente atención por parte de las autoridades de los tres niveles de gobierno, así como de las instituciones de investigación y sociedad en general.

Escenario futuro mediante la CHW

La CHW es un sistema desarrollado de valoración multiriesgos y de manejo multiriesgos de áreas costeras bajo un escenario de cambio climático de décadas próximas, y puede ser aplicado a nivel local, regional y nacional (Rosendahl y Halsnæs, 2015). Para las zonas que se presentan, es relevante mencionar que el escenario de análisis se proyectó hacia el aumento de temperatura (Tabla 1) más próximo (2020; $+1.0^{\circ}\text{C}$ a $+1.1^{\circ}\text{C}$), y al escenario de mayor incremento de temperatura (2075-2099; $+2.4^{\circ}\text{C}$ a $+3.6^{\circ}\text{C}$). En todos los casos, diversos documentos concluyen en que las consecuencias de este aumento de la temperatura ambiental será un mayor número de huracanes por año y de mayor intensidad; así como un incremento en el nivel medio del mar. Consecuentemente el análisis de riesgo esperado se presenta en la Tabla 3.

Figura 10. Mar de fondo. Afectación por mar de fondo en Puerto Madero, Tapachula, Chiapas en mayo del 2015.



» HASTA el momento no se tiene un recuento total de daños, pero el mar sigue generando olas bruscas y peligrosas en Puerto Madero y otras entidades del pacífico mexicano. (Fotografía: Marco Hernández)

El nivel de riesgo promedio para la zona *a* pasó de 3.6 a 3.8, mientras que para la zona *b* el cambio fue de 1.6 a 2.2, a pesar de que ambas zonas incrementaron su valor promedio de riesgo, el nivel de riesgo asignado se mantuvo en nivel de riesgo muy alto para la zona *a* y nivel de riesgo moderado para la zona *b*. El nivel de riesgo costero muy alto de la zona *a*, actual y futuro, urge de atención inmediata.

Tabla 3. Nivel de riesgo esperado.

Propiedades biogeofísicas	Nivel de riesgo inherente							
	Bajo (1)		Moderado (2)		Alto (3)		Muy alto (4)	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Alteración de ecosistema						x	x	
Inundación gradual				x	x			
Intrusión salina						x	x	
Erosión		x					x	
Inundación repentina y catastrófica				x			x	
Nivel de riesgo costero	Zona <i>a</i> , muy alto				Zona <i>b</i> , moderado			

DISCUSIÓN

Del aumento del nivel medio del mar

Para las costas del Pacífico mexicano (excluyendo Acapulco, Guerrero) de las cuales se tiene registro (Ensenada, B. C.; La Paz, B.C.S.; San Carlos, B.C.S.; Guaymas, Son.; Topolobampo, Sin.; Mazatlán, Sin.; Manzanillo, Col.; Puerto Ángel, Oax. y Salina Cruz, Oax.), las tendencias han marcado incrementos de entre 1.04 hasta 16.08 mm/año para el espacio de tiempo de 1951-1968 a 1987-1992. Para el caso de Puerto Madero, una aproximación gruesa realizada por Castro-Castro *et al.* (2015) en el aumento del nivel medio del mar, obtuvo que éste ha sido de 1.70 mm/año, lo cual resultó un valor muy similar a los reportados en Puerto Ángel y Salina Cruz, Oaxaca de 1.70 y 1.13 respectivamente (Vázquez-Botello, 2008).

A futuro existen varias estimaciones en cuanto al incremento en el nivel medio del mar a nivel global. El IPCC (2007) y Rahmstorf (2007) estimaron que para el 2100 (en relación con 1990) el nivel medio del mar se incrementará entre 18 cm a 1.4 m. Para la zona del Golfo de Tehuantepec, incluyendo la costa de Chiapas, las aproximaciones de aumento del nivel medio del mar, para el periodo 2010-2040, son de entre 1.8 a 2.0 mm/año, y para el periodo 2040-2070 son de entre 2.0 a 2.4 mm/año (Naciones Unidas [NU], 2015), lo que implica que del 2010 al 2070 el nivel medio del mar podría incrementarse entre 114 mm a 132 mm. Es importante considerar que los modelos numéricos nos dan estimaciones basados en datos disponibles, los cuales en muchas ocasiones son insuficientes, y datos esperados donde la incertidumbre es alta, por lo que las aproximaciones de aumento deben considerarse siempre con las debidas precauciones y considerando la incer-

tidumbre asociada (Tabla 4). También es aconsejable, para la protección de las personas, de la infraestructura costera, el patrimonio de los particulares y empresas, que siempre se considere el escenario más peligroso, de forma que las medidas de protección implementadas sean lo más eficientes posibles y se procure la mayor seguridad de la sociedad en su conjunto.

Tabla 4. Aumento en el nivel medio del mar esperado e incertidumbre asociada (95 % de confianza) para el Golfo de Tehuantepec.

	2040	2070
Valor medio esperado (mm)	43.5 a 54.4	96.5 a 119.4
Incertidumbre asociada (mm)	2.2 a 3.5	7.1 a 8.2

Fuente: Tabla elaborada a partir de los datos observados en NU (2015).

Con el aumento en el nivel medio del mar se espera se agraven las inundaciones, los oleajes de tormenta, la erosión costera, la salinización del manto freático lo que disminuirá la disponibilidad de agua para los seres humanos y los ecosistemas de las zonas costeras. El aumento del nivel medio del mar incrementará la columna de agua, disminuyendo la fricción del fondo, induciendo oleaje de mayor energía en la línea de costa (Vázquez-Botello, 2008), y por lo tanto, la erosión costera y los potenciales daños a la infraestructura costera y patrimonio de las personas, además del incremento del riesgo en la vida de las personas.

Del nivel de riesgo costero

Si bien el nivel de riesgo costero aquí empleado está planteado en función del riesgo que existe en las propiedades biogeofísicas de un ambiente costero, cuando se expone a las predicciones de cambios en el clima global de las próximas décadas, es claro que sus implicaciones van más allá de las características biogeofísica, y se involucran necesariamente aspectos socioeconómicos (Puerto Chiapas, zona portuaria aledaña a la comunidad de Puerto Madero, ha sido declarado como Zona Económica Especial, lo que realiza el análisis de riesgo desde una perspectiva económica), ambientales y de desastres, tales como el manejo de cuencas, la dinámica de playas, cambios del uso de suelo, áreas naturales protegidas, desarrollo urbano y rural, salinización del manto freático (disminución de la disponibilidad de agua para uso y consumo humano), análisis y prevención de riesgos entre muchos otros.

En el caso de la zona *a*, el resultado fue contundente tanto en tiempo actual como futuro, nivel de riesgo costero muy alto. Este nivel de riesgo se asignó

ya que fue claro y fuertemente evidenciado que las condiciones biofísicas originales de la costa de la zona *a* han sido fuertemente alteradas y sobre todo los procesos de erosión de playa han sido y son intensos (Figuras 5c y 8), además de alteración del ecosistema de playas y la intrusión salina. También hay que destacar que en los años recientes, los eventos extremos como el mar de fondo se han presentado con mayor frecuencia e intensidad (Figura 10).

Resulta indiscutible que el nivel de riesgo costero de muy alto asignado a la zona *a* lleva a otro concepto debidamente pertinente para el escenario que se plantea en esta zona el concepto de Vulnerabilidad. De acuerdo al IPCC (2001) la vulnerabilidad es la *“Medida en que un sistema es capaz o incapaz de afrontar los efectos negativos del cambio climático, incluso la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, la magnitud y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación”*. La vulnerabilidad hace referencias a tres componentes clave: a) la exposición, que se refiere al grado que un sistema está expuesto a estímulos externos que actúan sobre el mismo; b) sensibilidad, se refiere a la rapidez de reacción, es decir al grado de afectación y cambio (positivo o negativo) del sistema ante el cambio climático o cualquiera de sus componentes, y c) capacidad de adaptación, referido a la capacidad o habilidad de un sistema para ajustarse a los cambios, en el sentido de estar mejor preparado para afrontar y gestionar su “exposición” y “sensibilidad” (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía [CMAJA], 2011). Cuando se trabaja con la exposición+sensibilidad se describe a la vulnerabilidad bruta, y cuando se trabaja con los tres componentes se describe a la vulnerabilidad neta (CMAJA, 2011).

Bajo el enfoque antes descrito de vulnerabilidad, es claro que la zona *a* es un área altamente expuesta a eventos externos, y además resulta altamente afectada, de manera negativa, a estos estímulos, por lo que resulta altamente viable considerar a esta zona con un muy alto nivel de vulnerabilidad costera bruta; sin embargo es importante realizar el análisis con los detalles necesarios. Es muy probable además que la vulnerabilidad costera neta también resulte muy alta, ya que la evidencia de daños y cambios de la línea de costa no permite considerar que la zona presenta una buena capacidad de adaptación o ajuste a los cambios.

Adicionalmente es trascendente considerar en estos análisis de riesgo y vulnerabilidad, la ocupación y urbanización de las áreas litorales de forma no planeada, ya que generalmente no respetan las normas y leyes existentes en materia de uso de suelo, modificación y/o destrucción de las protecciones naturales costeras como los bosques de manglar y las dunas costeras entre

otros, y que alteran la dinámica de los procesos biofísicos costeros que consecuentemente incrementan la fragilidad natural del territorio donde se desarrollan las actividades sociales y por lo tanto potencializa los efectos negativos a la comunidad y sus bienes (Monti y Escofet, 2008; Cabrera *et al.*, 2009), como es el caso de la comunidad de Puerto Madero (Figura 11) donde los daños antrópicos y naturales sufridos ha llevado a la realización de múltiples obras de “protección” (escolleras y espigones), obras que contribuyeron a la erosión y pérdida de playas, lo que indiscutiblemente afectó el equilibrio ecológico de las playas; así como a la pérdida de casas, palapas y restaurantes. En este contexto el manejo integrado de la zona costera es la herramienta fundamental, donde la reducción de riesgos y desastres, se han venido analizando como elementos y acciones que permitan prevenir y minimizar las amenazas y vulnerabilidades (mitigar) que permitan dar aviso y en su caso evacuar a la población ante la ocurrencia de un desastre (alertar), también se incluye en este contexto salvar, asistir y defender a la población y sus bienes (responder), para finalmente proceder a la corrección de daños (reconstrucción) (Ramírez-Chávez, 2010).

Figura 11. Puerto Madero. En negro se muestra la barrera de piedras y bloques de concreto que protegen a la comunidad. Los círculos muestran áreas donde la barrera de piedra ha desaparecido.



En el caso de la zona *a*, ante el muy alto nivel de riesgo costero, el alto nivel de vulnerabilidad y la evidencia de daños a la comunidad y sus bienes (Figuras 8 y 10), urge iniciar a trabajar bajo la visión de un MIZC que permita, a la brevedad posible, planear y ordenar el litoral del municipio de Tapachula (incluyendo la

zona *b*), con el objetivo de hacer un manejo sustentable de la costa, así como prevenir riesgos y minimizar daños en beneficio de la sociedad.

CONCLUSIÓN

Es evidente que el litoral del municipio de Tapachula presenta dos áreas muy disímiles. Sin embargo, ante el escenario actual y futuro, es el área que se ha identificado en este trabajo como zona *a*, caracterizada como una zona de nivel muy alto de riesgo costero y vulnerabilidad, lo que consecuentemente ha puesto y pone a la sociedad y sus bienes en condiciones de alto peligro, la que requiere de apremiante atención bajo un contexto de manejo integrado adaptativo.

PROPUESTAS

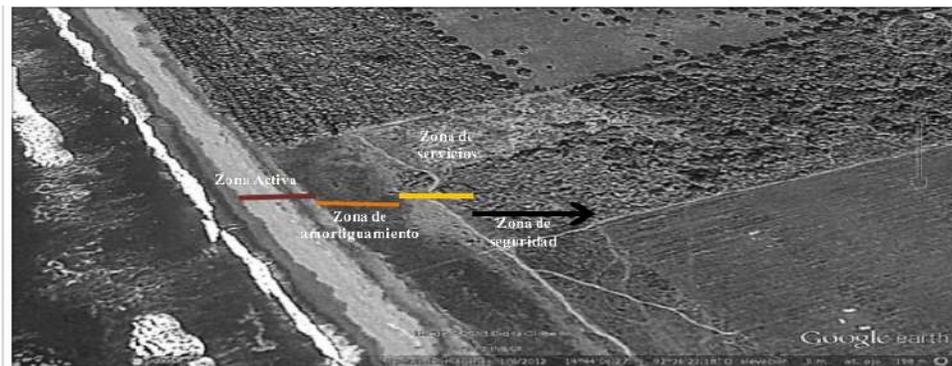
Como política indispensable y urgente, se propone iniciar las gestiones para desarrollar un programa de manejo integrado adaptativo de la zona costera del municipio de Tapachula y de toda la costa de Chiapas, mismo que involucre los aspectos aquí discutidos de riesgo costero y vulnerabilidad costera, que también involucre la prevención y mitigación de riesgos ante desastres, así como la consecuente reconstrucción en caso necesario. También debe involucrar necesariamente el manejo y conservación de los recursos naturales bióticos y abióticos.

Otra sugerencia que podría y debería implementarse, en aquellas áreas donde aún no se urbaniza, es la zonación propuesta por Barrios y Castro-Castro (2013) que consiste en (Figura 12):

- a) Zona activa: la zona intermareal, hasta el límite del alcance de las olas de mayor intensidad, preferentemente registradas en temporadas de huracanes;
- b) zona de amortiguamiento: área donde se deben aplicar los 20 m correspondientes a la zona federal descrita en la Ley General de Bienes Nacionales. Esta zona puede ser concesionada, pero se sugiere que no se permita infraestructura fija, únicamente accesorios móviles como sillas y sombrillas de sol y por lo tanto es el área idónea para que los visitantes puedan instalarse temporalmente para el disfrute de la playa;
- c) zona de servicios: una zona con al menos 20 m de ancho y que debe ser una zona también de posesión del estado mexicano y en su caso concesionado a particulares. En esta área se sugiere instalar infraestructura no fija (palapas rústicas, tiendas portátiles, kioscos de bebidas y golosinas entre otros); y

- d) zona de seguridad: zona a partir de la cual ya es posible, con las precauciones ambientales correspondientes (análisis de riesgo ambiental y análisis de largo plazo de la dinámica de la playa) la instalación de infraestructura fija (restaurantes, casas, bodegas entre otras), ya que desde este punto, es posible tener una mayor garantía en la seguridad de la infraestructura, por la tanto una menor probabilidad de pérdida económica.

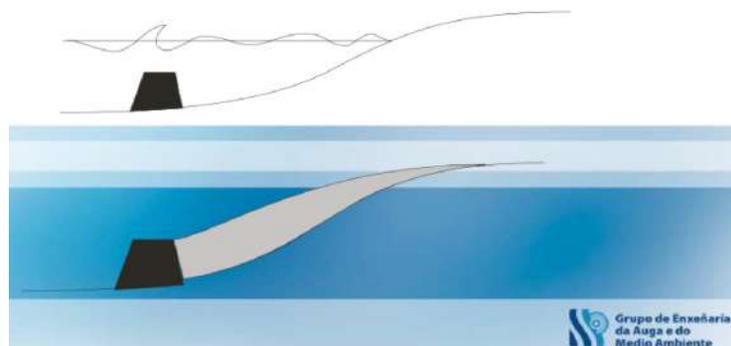
Figura 12. Propuesta de zonación. Barrios y Castro-Castro (2013), proponen cuatro zonas distintas para las playas de Puerto Madero, Tapachula, Chiapas.



Fuente: Barrios y Castro-Castro (2013).

Aun cuando es necesario realizar los estudios necesarios, otra propuesta que debe considerarse son los dissipadores de energía del oleaje como arrecifes artificiales, barcos hundidos o estructuras sumergidas de piedra y/o bloques de concretos que permitan disminuir la fuerza del oleaje que llega a la playa (Figura 13).

Figura 13. Dissipador de energía del oleaje. Se muestra una estructura sumergida que permite disipar la fuerza del oleaje.



Fuente: Presentación de la Universidad de Coruña y Grupo de Enseñanza de Agua e do Medio Ambiente en Xornada sobre a enerxía que vén do mar.

También resulta urgente incrementar la investigación científica que permita actualizar la información existente y generar aquella que resulta indispensable para un programa de manejo integral de la zona costera. Investigación en dinámica de sedimentos, corrientes, erosión y protección de playas, acreción de playas, impacto ambiental y socioeconómico, estrategias de restauración y protección de recursos naturales, protección de la infraestructura costera entre muchas otras áreas, información que permita la toma de decisiones basadas en el conocimiento, con capacidad de irse adaptando a los cambios que vayan surgiendo, en beneficio de la sociedad en general presente y futura, es decir, una programa de manejo costero intra e interdisciplinario, multisectorial, transversal y adaptativo.

Resulta indispensable la participación ciudadana, particularmente de los habitantes de Puerto Madero, quienes deben ser los gestores principales para la protección de sus bienes, pero sobre todo para la protección de ellos mismos; además de ser los primeros demandantes y protagonistas de diversas acciones como reforestación de la zona litoral, participantes activos en la toma de decisiones de futuras obras de “protección” y “desarrollo” de la comunidad, capacitación ciudadana para la gestión y toma de decisiones, demanda de funcionarios de los tres niveles de gobierno con aptitudes y competencias idóneas para el manejo de costas.

Sin duda, esta última característica resulta apremiante y fundamental, ya que tanto los municipios costeros y el gobierno del estado, no cuentan con personal para atender las necesidades del litoral chiapaneco, aun cuando tienen facultades claras en los diversos ordenamientos; mientras que la unidad de ecosistemas costeros de la Delegación Federal de la SEMARNAT en Chiapas, resulta excesivamente limitada para atender todo el litoral chiapaneco. Lo anterior marca de forma apremiante que los tomadores de decisiones en manejo de costas, principalmente a nivel estatal y municipal, tengan el perfil idóneo, o al menos sean debidamente capacitados en manejo costero, habilidad que les permita tomar las decisiones adecuadas que permitan un desarrollo y aprovechamiento sustentable de la zona costera de Tapachula y de Chiapas.

Agradecimientos:

Angélica Córdoba por el apoyo en la traducción del resumen.

LITERATURA CITADA

- ANIDE.** (2018). Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos. Sección IX. Vulnerabilidad del destino turístico Veracruz. ANIDE/SECTUR/CESTUR/CONACYT. Proyecto clave: 165452. 39 p.
- Barrios-Ramos, M. A.** (2013). Cambios en la línea de costa del municipio de Tapachula, Chiapas, México. *Tesis de Licenciatura de Ingeniero en Sistemas Costeros, CenBio, UNACH.* 29 p.
- Barrios, R. M. A. y Castro-Castro, V.** (2013). Zonificación de playas: Propuesta para playas del municipio de Tapachula, Chiapas, México. 73-75. En: *Memorias de ponencias del 6º. Congreso de Investigación UNACH 2013.* 5-6 de diciembre del 2013. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 847 p.
- Bustamante, I. F.** (2007). *Analysis of the erosion/accretion process in Puerto Chiapas, México. Master of Science Thesis.* UNESCO-IHE. 160 p.
- Cabrera, J. A., Alcántara-Carrió, J., Correa, I. D., Pérez de los Reyes, R., Moya, B. V. y Morales, M.** (2009). Gestión de Playas. En: Alcántara, C. J., Correa-Arango, I. D., Isla-Mendy, F. I., Alvarado-Ortega, M., Klein, A. H. F., Cabrera-Hernández, A. y Sandoval-Barlow, R. (Eds) *Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral.* Madrid, España: Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 297 p.
- Carranza-Edwards, A., Gutiérrez, E. M. y Rodríguez, T. R.** (1975). Morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología; Vol. 2, Núm. 1.*
- Castro-Castro, V. y Barrios, R. M. A.** (2009). Avances en la caracterización de la línea de costa del municipio de Tapachula. Bases para su conservación y manejo. 242-244. En: Escamirosa, M. L. F., López, G. A., Escobar, M. I. H., Reyes, L. B. O., Pérez, A. E. J. y Gil, D. M. (Eds.). *Memorias del 2º. Congreso de Investigación UNACH 2009.* UNACH. 28-30 octubre del 2009. Tapachula, Chiapas.
- Castro-Castro, V., Barrios-Ramos, M. A. y López-Urbina, J. H.** 2015. Pérdida de playas en Puerto Madero, Chiapas. Daños y Perspectivas. 45-68. En: Trujillo-Olivera, L. E. (Compiladora). *Salud y políticas públicas: magnos acuerdos, acciones limitadas.* UNACH. 330 p.
- Castro-Castro, V., Barrios-Ramos, M. A., López, U. J. H., Fierro, M. M. M. y Díaz, V. J.** (2017). Erosión y sedimentación de playas del municipio de Tapachula, Chiapas, México. 133-155. En: Balocchi, F. y Chreties, C. *Procesos de erosión sedimentación en cauces y cuencas Volumen 3. PHI - VIII / Documento técnico N° 38.* UNESCO. Montevideo. 155 p.

- CMAJA.** (2011). *Análisis preliminar de la vulnerabilidad de la costa de Andalucía a la potencial subida del nivel del mar asociada al cambio climático*. CMAJA/ Unión Europea/Universidad de Sevilla. 151 p.
- De la Lanza, E., Ortiz-Pérez, M. A. y Carbajal-Pérez, J. L.** (2012). Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM.
- Escofet, A.** (2009). Síntesis y proyecciones de la regionalización marino costera. 73-85. En: Córdova y Vázquez, A., Rosete-Vergés, F., Enríquez-Hernández, G. E., y Hernández de la Torre B. *Ordenamiento ecológico marino. Visión integrada de la regionalización*. INE-SEMARNAT. Impreso en México. 232 p.
- Grinsted, A., Moore, J. C. and Jevrejeva, S.** (2009). Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics*. 34(4): 461-472.
- INE** (2006). *Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)*, SEMARNAT.
- INEGI** (Instituto Nacional Estadístico de Geografía e Informática). (2006). *Cuaderno Estadístico Municipal Tapachula, Chiapas*. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825006430&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=1&pg=0>
- IPCC.** (2001). *Cambio climático. Tercer informe de evaluación*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>
- IPCC.** (2007) *Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Summary for Policymakers*, 18 pp.
- IPCC.** (2007). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds) *Contribution of the Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC.** (2013). *Summary for policymakers*. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Meehl, G. A. and Stocker, T. F.** (2007). Global Climate Projections. 747-846. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. and H.L. Miller (Eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 p.

- Monti, A. y Escofet, A. M. (2008).** *Ocupación urbana de espacios litorales: gestión del riesgo e iniciativas de manejo en una comunidad patagónica automotivada (Playa Magagna, Chubut, Argentina)*. Investigaciones Geográficas, UNAM. 27: 113-119.
- UN. (2015).** *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y El Caribe. Dinámicas, tendencias y variabilidad climática*. NU/CEPAL-IHA/UC-MAEC/MMAMRM. Santiago de Chile. 263 p.
- Ortiz-Pérez, M. A. y De la Lanza-Espino, G. (2006).** *Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional*. Serie Textos Universitarios, No. 3. Instituto de Geografía, UNAM. 138 p.
- Rahmstorf, S. (2007).** A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315:368.
- Ramírez-Chávez, E. J. (2010).** *Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológica de la franja Tijuana-Ensenada*. Tesis de Grado. Colegio de la Frontera Norte/Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. 102 p.
- Rosendahl, A. and Halsnæs, K. (2015).** *The Coastal Hazard Wheel system for coastal multi-hazard assessment & management in a changing climate*. J. Coast Conserv. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11852-015-0379-7>. Publicado online: Marzo del 2015.
- Salazar, A. y Masera, O. (2010).** *México ante el cambio climático. Resolviendo necesidades locales con impactos globales*. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad A.C. 43 p.
- Servicio Geológico Mexicano. (2012).** *Atlas de Peligros del Estado de Chiapas. Informe técnico*. SGM/SSP. Recuperado de http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wpcontent/uploads/2012/07/informe_final_peligros_chiapas.pdf. Página visitada: 15/05/2013.
- Vázquez-Botello, A. (Coord.). (2008).** *Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos. Informe final*. INE/UNAM/SEMARNAT. INE/A1-051/2008. 121 p.