

## Notas y Comentarios

### **Implicaciones de la potencial elevación del nivel del mar para la población costera de Tabasco, México**

### **Implications for the coastal population of Tabasco, Mexico, due to sea level rise potential**

Lilia Gama Campillo<sup>a</sup>

Hilda María Díaz López<sup>b</sup>

Ricardo Collado Torres<sup>c</sup>

María Elena Macías Valadez Treviño<sup>d</sup>

Ena Edith Mata Zayas<sup>e</sup>

José Manuel Figueroa MahEng<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Dirección: Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco. Correo: [lilia.gama@ujat.mx](mailto:lilia.gama@ujat.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5417-9697>

<sup>b</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Correo: [hildadiaz2@yahoo.com.mx](mailto:hildadiaz2@yahoo.com.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7754-9072>

<sup>c</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Correo: [richiboy14@hotmail.com](mailto:richiboy14@hotmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6884-431X>

<sup>d</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Correo: [mmacias\\_valadez@hotmail.com](mailto:mmacias_valadez@hotmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4072-827X>

<sup>e</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Correo: [ena.matazayas@gmail.com](mailto:ena.matazayas@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7673-3081>

<sup>f</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. Dirección: Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, México. Correo: [mahengf@yahoo.com.mx](mailto:mahengf@yahoo.com.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5132-5724>

## Resumen

*El incremento del nivel del mar se ha acelerado por el calentamiento global. Las zonas más amenazadas son las pequeñas islas y las planicies costeras. Tabasco se localiza en una llanura costera inundable. Utilizando información demográfica, valores de erosión costera y datos globales de elevación del nivel del mar, se identificó el área, y las localidades en ella, entre cero y un metro sobre el nivel del mar. Los resultados indican que 55.58% de la superficie estatal está en este rango. La potencial pérdida de territorio podría afectar a 76 localidades, transformando las posibles actividades productivas que se realicen.*

**Palabras clave:** erosión costera, inundación, zonas bajas, línea de costa, localidades costeras.

## Abstract

*Sea level rise has been accelerated due to global warming. The most threatened areas are small islands and coastal plains. Tabasco is located in a coastal flood plain. Using demographic information, coastal erosion values and global sea level elevation data, the area and localities up to one meter above sea level (MASL) were identified. The results indicate that 55.58% of the state surface is within this range. In addition, the potential loss of territory could affect 76 localities, transforming the possible productive activities carried out.*

**Keywords:** coastal erosion, flooding, lowlands, coastline, coastal localities.

## 1. Introducción

El calentamiento global es la manifestación del cambio climático, como lo advierte el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2014a), auspiciado por Naciones Unidas. El análisis de datos de la temperatura promedio del aire superficial y de la superficie del mar del periodo que va de la época preindustrial a 2017 muestra un incremento de

casi un grado centígrado, que es, de acuerdo con este grupo, muy significativo (IPCC, 2018). Este cambio climático no es sólo un fenómeno ambiental, debido a que tiene implicaciones económicas y sociales. Además, sus características son complejas y difíciles de abordar y afrontar, por lo que se le considera una de las nueve fronteras planetarias que no se deben sobrepasar para no sufrir procesos irreversibles que amenacen nuestra existencia (Schellnhuber, 2009).

Se han enunciado diferentes tipos de amenazas asociadas al cambio climático por el incremento de la temperatura media del planeta, como es el aumento de eventos hidrometeorológicos extremos con potencial de inundaciones y sequías (IPCC, 1992, 2014b; Kossin, 2018). Asociados a estas variaciones, se prevén impactos como cambios en las zonas agroecológicas (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2008), que generan desequilibrios en la producción de alimentos entre las regiones templadas y las tropicales, o la modificación de la distribución de los productos del mar (Brander, Cochrane, Barange y Soto, 2017), y la llegada de especies exóticas, plagas y enfermedades transmitidas por vectores hacia zonas donde antes no existían (Ben Ari, Neerinckx, Gage, Kreppel, Laudisoit, Leirs, Nils y Stenseth, 2011; Huang, Haack y Zhang, 2011). Por este motivo, todos los esfuerzos que se hagan por estudiar el cambio climático son una contribución en la búsqueda de adaptaciones a los retos por venir.

El último reporte del IPCC (2018) señala que la tendencia de calentamiento de la superficie del mar está incrementando las tasas de deshielo de las masas polares, con potencial para tener veranos sin hielo marino en el Ártico al menos una vez por década (IPCC, 2018). Es incierto aún cómo se reflejará esto en las diferentes zonas costeras (Nicholls y Cazenave, 2010; Nicholls et al., 2007; Zikra y Lukijanto, 2015). Sin embargo, se asocia a un posible incremento del potencial de erosión costera y pérdida de playas, una mayor exposición del frente de costa durante los temporales de mar, y la salinización de los acuíferos litorales (Hernández-Montilla, Martínez-Morales, Posada Vanegas y De Jong, 2016). De hecho, la velocidad a la que está sucediendo el deshielo es aún incierta, y hay reportes de fracturas en los glaciares que podrían acelerar la elevación del nivel medio del mar (Milillo, Rignot, Rizzoli, Scheuchl, Mouginot, Bueso-Bello y Prats-Iraola, 2019).

## 2. Efectos esperados en zonas costeras

Diferentes estudios han mostrado que tan sólo los cambios en la morfología costera tienen consecuencias al poner en riesgo el funcionamiento de los ecosistemas (Ortiz-Pérez y Gama-Campillo, 2019; Williams, 2013; Zikra y Lukijanto, 2015), en especial para la sostenibilidad de las comunidades costeras. Aunque muchas zonas de costa donde se identifican estos procesos se monitorean localmente, la comprensión a largo plazo y los cambios a escala global son un desafío.

El IPCC (2018) considera que algunos de estos impactos podrían disminuir las posibilidades de poder lograr o mantener un nivel aceptable de bienestar de la población asentada en zonas costeras vulnerables. Dichas consecuencias resultarían de los posibles cambios geomorfológicos y biológicos que afectarán los sistemas productivos, los cuales se reflejarán en los procesos socioeconómicos que, de forma directa o indirecta, se vinculan a sectores como la agricultura, la pesca y el abastecimiento y calidad del agua (Anthoff, Nicholls y Tol, 2010; McLean, Tsyban, Burkett, Codignotto, Forbes, Mimura y Ittekkot, 2001; Nicholls y Small, 2002).

El nivel del mar depende de muchos factores relacionados con cada región, como las mareas, las corrientes costeras y los eventos meteorológicos, como los frentes fríos, las ondas tropicales con potencial para derivar en depresiones, las tormentas y los huracanes; además de los patrones climáticos regionales, como son la oscilación decadal del Pacífico o el fenómeno de El Niño (ENOS: El Niño-Oscilación del Sur) (Zavala-Hidalgo, de Buen, Romero-Centeno y Hernández Maguey, 2010). Estos factores resultan también influenciados por la fuerza de gravedad, la rotación de la Tierra, los vientos y el derretimiento de los glaciares, cuyos efectos son determinantes para medir la altura del mar alrededor del mundo en cualquier punto en el tiempo. Sin embargo, actualmente se están desarrollando tecnologías satelitales que contribuyen a hacer más exacto el modelaje de este fenómeno asociado al calentamiento global (Kopp, Horton, Little, Mitrovica, Oppenheimer, Rasmussen y Tebaldi, 2014; Nerem, Beckley, Fasullo, Hamlington, Masters y Mitchum, 2018).

El IPCC proyectó en su primer informe que el incremento en la temperatura media global de la atmósfera se esperaba en un intervalo

de 1.4 a 4.5°C para 2100 (IPCC, 1992), dependiendo de las acciones para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que podría ocasionar una posible elevación del nivel del mar de entre dos y cuatro centímetros cada diez años. Sin embargo, en el último reporte (IPCC, 2018) se describe que el calentamiento estimado, de no cumplirse los compromisos del Acuerdo de París, incrementa la posibilidad de llegar a 1.5° entre 2030 y 2052, con la posibilidad de tener extremos máximos en algunas regiones de 3 o 4 grados más de los ya registrados, especialmente en el hemisferio norte y particularmente en el Ártico (Francis, Vavrus y Cohen, 2017). Este incremento en el calentamiento diferenciado se reflejaría en una elevación media del mar de entre 0.26 y 0.77 m al 2100, para el escenario con un incremento de temperatura de 1.5°C (IPCC, 2018). Sin embargo, el mismo informe del IPCC señala que, independientemente de las acciones de mitigación que se implementen para disminuir las emisiones que mantengan la temperatura entre 1.5 a 2°C, los escenarios estimados de elevación del nivel medio del mar tendrían poca diferencia para el año 2100 en relación con la tendencia actual, con un nivel de confianza del 90% (IPCC, 2018).

La modelación para proyectar el incremento del nivel del mar es compleja debido al número de factores que influyen, y cómo se reflejen éstos en diferentes partes del mundo. Investigadores de distintas instituciones están realizando monitoreos oceanográficos y una diversidad de análisis para estimar esta variación durante el siglo XXI (Grinsted, Moore y Jevrejeva, 2010; Horton, Rahmstorf, Engelhart y Kemp, 2014; IPCC, 2014b; Jevrejeva, Moore y Grinsted, 2012; Kopp, Horton, Little, Mitrovica, Oppenheimer, Rasmussen y Tebaldi, 2014; Kopp, DeConto, Bader, Hay, Horton, Kulp y Strauss, 2017; Rahmstorf, 2007; Vermeer y Rahmstorf, 2009). Escenarios que van de 26 cm (IPCC, 2018) si se logran todos los acuerdos necesarios para bajar las emisiones al 2050, a más de 1 metro (Horton, Rahmstorf, Engelhart y Kemp, 2014; Kopp, DeConto, Bader, Hay, Horton, Kulp y Strauss, 2017) si el incremento de la temperatura fuera un importante detonante del deshielo de las masas polares (Nerem, Beckley, Fasullo, Hamlington, Masters y Mitchum, 2018).

El impacto de la elevación del nivel del mar en las costas de zonas tropicales dependerá de diferentes factores, como su dinámica

propia, así como de la existencia en ellas de barreras naturales o construcciones de protección (Grenfell, Callaway, Grenfell, Bertelli, Mendzil y Tew, 2016; Nicholls, Wong, Burkett, Codignotto, Hay, McLean et al., 2007; Ortiz-Pérez y Méndez-Linares, 1999; Williams, 2013). Para determinar la vulnerabilidad local de las costas se debe considerar la oscilación de las mareas (Ortiz-Pérez y Méndez-Linares, 1999), además de

[...] la topografía, la geología, los movimientos naturales de tierra, la climatología regional y las actividades antrópicas que contribuyen a cambios en el nivel del agua, como la extracción de fluidos del subsuelo y la oferta de sedimentos [Núñez Gómez, Ramos Reyes, Barba Macías, Espinoza Tenorio y Gama Campillo, 2016].

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015), las zonas costeras son vulnerables en esta región por los efectos producidos por los cambios en la dinámica marina, en los regímenes de temperatura, precipitación, oleaje, marea meteorológica y viento, al ser la interfaz tierra-océano donde cohabitan diversos ecosistemas y, además, por tener fuerte presión del sistema socioeconómico. Esta institución consideró la cota de 10 metros como un escenario importante de análisis para la elevación del nivel del mar asociado al volumen de población identificada en esta zona (CEPAL, 2012), señalando que México está entre los tres países latinoamericanos con mayor número de población con potencial de afectación. En el análisis realizado por CEPAL se proponen diez escenarios, donde los escenarios D y E (0.50 y 1 m, respectivamente) tendrían el mayor impacto (CEPAL, 2012). En ese sentido, Seingier, Espejel, Ferman y Delgado (2010) evaluaron la vulnerabilidad de los estados costeros mexicanos a diferentes impactos, entre los que está el cambio climático, aplicando un índice de riesgo que considera dos conceptos: la peligrosidad física y la climática, concluyendo que el estado de Tabasco tiene riesgo medio.

Tabasco es una región donde los recursos naturales han permitido actividades humanas desde épocas prehispánicas, y los pobladores se han adaptado a las condiciones para aprovecharlos. Sin embargo, en las últimas décadas las actividades productivas han generado

alteraciones que rompen con el equilibrio natural que garantice su funcionalidad (Tudela, 1992). Los cambios de uso del suelo, así como la modificación de la hidrodinámica, han contribuido a transformar los procesos naturales del paisaje tabasqueño, disminuyendo su capacidad de amortiguar las amenazas asociadas a eventos tanto de origen natural como antrópico, como es el caso ahora de los impactos asociados al cambio climático global. Al respecto, estudios de las amenazas derivadas de la exposición del litoral tabasqueño al incremento esperado por la elevación del nivel del mar (Hernández-Santana, Ortiz-Pérez, Méndez-Linares y Gama-Campillo, 2008; Núñez Gómez, Ramos Reyes, Barba Macías, Espinoza Tenorio y Gama Campillo, 2016; Ortiz Pérez y Méndez Linares, 1999; Ramos-Reyes, Zavala-Cruz, Gama-Campillo, Pech-Pool y Ortiz-Pérez, 2016a; Zavala-Hidalgo, de Buen Kalman, Romero-Centeno y Hernández Maguey, 2010), muestran que las planicies costeras o llanuras de inundación, por su baja elevación, son además susceptibles a inundaciones por mareas de tormenta y oleaje extremo y, por ende, a la modificación de su línea de costa (Arreguín-Cortés, Rubio-Gutiérrez, Domínguez-Mora y de Luna-Cruz, 2014).

En los años recientes, las precipitaciones acumuladas, las alteraciones en la dinámica de la hidrología superficial y el control en los cauces, han generado que los procesos naturales de inundación varíen en magnitud y duración (Arreguín-Cortés, Rubio-Gutiérrez, Domínguez-Mora y de Luna-Cruz, 2014; Perevochtchikova y Lezama, 2010). Estas transformaciones en el territorio alteran la dinámica de los humedales costeros, que actúan como amortiguadores de amenazas asociadas al cambio climático, como es la elevación del nivel del mar. Tabasco depende de la funcionalidad de sus humedales (Pantanos de Centla es considerado el más importante de Mesoamérica), y la pérdida o modificación de los mismos ha ocasionado cambios en los servicios ambientales, provocando impactos mayores en inundaciones, incremento de la intrusión salina y aumento de la erosión costera (Mata-Zayas, Gama, Díaz, Figueroa y Rincón, 2017; White y Kaplan, 2017).

El objetivo de este análisis consistió en identificar la extensión del territorio de la planicie costera tabasqueña ubicada entre 0 y 1 msnm; esta información, en correlación con los datos territoriales,

permitió identificar las posibles implicaciones de un cambio de este tipo en el territorio y en las localidades ubicadas en él.

### 3. Metodología

#### 3.1. *Área de estudio*

El estado de Tabasco, con litoral en el Golfo de México, tiene una superficie de 24 718.45 km<sup>2</sup>, entre los 92° 28' y los 94° 10' de longitud Oeste, y los 17° 15' y los 18° 39' de latitud Norte, aproximadamente. El territorio estatal corresponde fisiográficamente a la subprovincia “Llanura y pantanos tabasqueños”, que forman parte de la provincia “Llanura costera del Golfo Sur”. En general, la mayor parte del territorio se extiende sobre extensas zonas de planicies bajas y muy bajas, con pendientes inferiores a los 0.5° de carácter acumulativo (Hernández-Santana, Ortiz-Pérez, Méndez-Linares y Gama-Campillo, 2008), que ocupan poco más del 70% de la superficie del estado. Esta planicie costera se conforma por el aporte de materiales terrestres, transportados por corrientes superficiales de cuencas marinas y lacustres, que forman el complejo deltaico de los ríos Mezcalapa, Grijalva y Usumacinta, y la planicie fluvio-deltaica del río Tonalá. En ese sentido, el escurrimiento superficial natural medio en Tabasco supera 100 000 hm<sup>3</sup>/año, y se nutre también de las precipitaciones en las montañas del norte de Chiapas que colindan con Tabasco, región considerada con los más altos valores de precipitación en México, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Conagua y Semarnat, 2016).

El litoral (orilla de transición tierra-mar) de Tabasco tiene una extensión de 191 kilómetros, los cuales corresponden a casi el 6% del litoral del Golfo de México y del Mar Caribe en su conjunto. En Tabasco, los municipios costeros son Cárdenas, Paraíso y Centla. Sin embargo, con base en los reportes de los eventos con potencial de desastres que se han registrado en Tabasco, por ser una planicie baja inundable (Arreguín-Cortés, Rubio-Gutiérrez, Domínguez-Mora y Luna-Cruz, 2014), para este análisis se siguió la propuesta de Morales



y Pérez (2006). Ésta corresponde a trece de los diecisiete municipios del estado que son considerados como de influencia costera –quedan excluidos Jalapa, Tacotalpa, Teapa y Tenosique–. Esto representa una importante presión demográfico-ambiental en zonas de humedales, como son los pantanos de Centla y los sistemas lagunares costeros, que son el principal motor económico de la entidad, al ser donde se realizan las actividades económicas de las que depende su economía, basada en la extracción de petróleo y gas, la pesca comercial, la agricultura y la ganadería.

En los trece municipios que corresponden al 83.39% del estado y que son considerados como de influencia costera –Balancán, Cárdenas, Centla, Centro, Comalcalco, Cunduacán, Emiliano Zapata, Huimanguillo, Jalpa de Méndez, Jonuta, Nacajuca, Macuspana y Paraíso– (Gobierno de México, 2012), habita más del 90% de la población de Tabasco. En éstos se localizan 2 370 localidades (estimadas como lugares ocupados con más de diez viviendas habitadas); sin embargo, no todas tienen cercanía al litoral costero.

De acuerdo con la información del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) respecto a los municipios más vulnerables al cambio climático en México, los de Tabasco tienen un alto índice de vulnerabilidad (Borja-Vega y de la Fuente, 2013; Monterroso, Conde, Gay García, Gómez y López, 2012; Monterroso, Fernández, Trejo, Conde, Escando, Villers y Gay García, 2014). Diversos estudios evalúan tal vulnerabilidad considerando el grado de exposición que tienen al clima y al cambio climático los indicadores de sensibilidad asociados a la población, así como aquellos que identifican su capacidad de adaptación (Monterroso, Fernández, Trejo, Conde, Escando, Villers y Gay García, 2014). Cabe destacar que, para el INECC, los municipios más vulnerables en general se ubican en zonas costeras del sur de México, regiones donde se encuentra un mayor número de pueblos originarios con altos grados de pobreza (Borja-Vega y de la Fuente, 2013). Específicamente el INECC identifica doce municipios vulnerables en Tabasco: Cárdenas, Centla, Centro, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Jalapa, Jonuta, Macuspana, Tacotalpa, Teapa y Tenosique. Sin embargo, esta clasificación se basa en un análisis de variables de temperatura y precipitación y su incidencia en diferentes sectores, sin considerar otros

impactos asociados al cambio climático (Monterroso, Fernández, Trejo, Conde, Escando, Villers y Gay García, 2014).

En relación con las amenazas derivadas de la exposición en la zona costera tabasqueña, los estudios generados respecto al posible incremento esperado por la elevación del nivel del mar muestran que Tabasco es altamente vulnerable a este tipo de impacto (Hernández-Santana, Ortiz-Pérez, Méndez-Linares y Gama-Campillo, 2008; Núñez Gómez, Ramos Reyes, Barba Macías, Espinoza Tenorio y Gama Campillo, 2016; Ortiz-Pérez y Méndez-Linares, 1999; Ramos-Reyes, Zavala-Cruz, Gama-Campillo, Pech-Pool y Ortiz-Pérez, 2016a; Ramos, Gama, Nuñez, Sánchez, Hernández y Ruíz, 2016b; Zavala-Hidalgo, de Buen, Romero-Centeno y Hernández, 2010).

### ***3.2. Localidades y elevación del nivel del mar***

Desde 2009, Williams y Gutierrez señalaron que se deberían estar planificando acciones y realizando evaluaciones exhaustivas considerando los cambios en el nivel del mar de 1 m o más para el año 2100, los cuales afectarán zonas importantes de concentración de población. Con base en la información satelital existente de puntos LIDAR para la costa tabasqueña, transformada en cotas de elevación cada 50 centímetros, y el escenario global estimado RCP 8.5 (Representative Concentration Pathway, ruta representativa de concentración de gases de efecto invernadero) del IPCC (2019) para el año 2100, de 0.84 m, se consideró como zona de interés la cota entre cero y un metro de elevación por su potencial de impactos asociados a la elevación media del nivel del mar.

Para estimar la población que podría ser afectada en este rango de altitud, se utilizaron datos cartográficos del Marco Geoestadístico Nacional para Tabasco del INEGI, en particular, el *Catálogo único de claves de áreas geoestadísticas estatales, municipales y localidades* (INEGI, 2019).

El proceso para identificar la población vulnerable se basó en la metodología propuesta por Mcgranahan, Balk y Anderson (2007), utilizando álgebra de mapas con un sistema de información geográfica. El proceso consistió en sobreponer las capas de datos geográficos

cos para identificar la cota de elevación entre 0 y 1 msnm y las localidades en la zona, y calcular la población y la extensión territorial. Este proceso requiere de los siguientes datos geográficos:

- 1) La zona de elevación del nivel medio del mar en la cota propuesta, que para este caso se ubica en el área de tierra contigua al litoral, hasta la elevación de un metro, para lo que se utilizó el modelo digital de elevación (resoluciones cada 50 centímetros), que fue extraído mediante el uso de una nube de puntos LiDAR (Light Detection and Ranging) –Modelos Digitales de Elevación de Alta Resolución– descargados del sitio de Internet del INEGI (<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463783527>), utilizando el software ArcMap 10.0.
- 2) Datos de localidades, que en el caso de Tabasco se tomaron del *Catálogo único de claves de áreas geoestadísticas estatales, municipales y localidades* (INEGI, 2019).
- 3) Datos de población (INEGI, 2015a) para calcular la densidad de población vulnerable de la región seleccionada, de acuerdo con la fórmula:

$$\text{Densidad de población} = \text{número de habitantes} / \text{extensión del territorio} \\ (\text{expresado en km}^2)$$

Para los valores de población se usaron los datos de la *Encuesta Intercensal 2015* (INEGI, 2015b) por localidad, considerando como criterio para incluir a una localidad que la misma tuviera una población mayor a veinte habitantes, de acuerdo a lo propuesto en el análisis de localidades realizado por el INEGI y acorde al instrumento aplicado en el recorrido de Actualización del Marco Geoestadístico Nacional, del Entorno Urbano y las Características de las Localidades en 2014 (INEGI 2015b).

Los datos georreferenciados de las localidades de Tabasco fueron sobrepuestos con el mapa del modelo digital de terreno utilizando el software ArcMap 10.0. Se utilizaron los datos de población de las localidades identificadas en el área de estudio para estimar la población que se vería afectada. Al análisis se le agregó la información de tasas de erosión y acumulación (Cuadro 1), construyendo un *buffer*

## Cuadro 1

Sectores estudiados y tasas de erosión costera identificadas en Tabasco\*

<i>Sector</i>	<i>Tasa pérdida anual (m)</i>
1. Boca del río Tonalá a Boca Santa Ana Zona Oriente, Bocana de la laguna del Carmen- Sánchez Magallanes Zona Poniente.	-0.50
2. Boca Santa Ana a Boca Panteones (isla barrera de las Lagunas Carmen y Machona).	-1.37
3. Boca Panteones a la Boca de la Barra de Tupilco.	-2.00
4. Barra de Tupilco a Puerto Dos Bocas (al espigón occidental).	-1.72
5. Tramo del Puerto Dos Bocas (comprende desde el espigón occidental hasta el último espigón oriental del puerto).	-1.28
6. Desde el espigón oriental del puerto de Dos Bocas al estuario del río González (Barra Chiltepec).	-6.00
9. Límite del flanco oriental del delta del río Grijalva hasta Campeche, a 16 km al oriente de la desembocadura del Río San Pedro y San Pablo.	-3.50

\* Sólo se incluyen los que generan efecto de retroceso en el territorio.

*Fuente:* Ortiz-Pérez, Hernández-Santana, Figueroa y Gama, 2010.

utilizando el software ArcMap 10.0 por región, conforme a lo estimado con los datos de Ortiz-Pérez y Méndez-Linares (1999), Ortiz-Pérez y Gama (2019) y Hernández-Santana, Ortiz-Pérez, Méndez-Linares y Gama-Campillo (2008), que va de 0.77 en el sector 1 a 3.5 m en el sector 9 para las tasas de retroceso detalladas en Ortiz-Pérez, Hernández-Santana, Figueroa y Gama (2010). Sólo se consideraron las zonas que presentaban tasas de retroceso de línea de costa y no las que presentaban avances, quedando fuera parcialmente el sector 1, que corresponde al delta del río Tonalá, y los sectores 7 y 8 en el delta del río Usumacinta.

Como referencia de tiempo de cómo afectarían los cambios en la elevación del nivel medio del mar, se utilizó la herramienta Tool-Box propuesta por Climate Analytics (<http://localsr.climateanalytics.org/>), que utiliza datos de la Red Mundial de Climatología Histórica y permite proyectar los niveles de elevación del mar local-

mente, con base en la metodología propuesta por Kopp, Horton, Little, Mitrovica, Oppenheimer, Rasmussen y Tebaldi (2014). Esta herramienta sólo requiere seleccionar una localidad en la zona estudiada para obtener la información de los escenarios utilizados por Kopp, Horton, Little, Mitrovica, Oppenheimer, Rasmussen y Tebaldi (2014). Para esta zona se utilizaron las estaciones mareográficas de Coatzacoalcos (Veracruz) y Ciudad del Carmen (Campeche), en los extremos derecho e izquierdo de la costa de Tabasco, que son las más cercanas incluidas como opción en esta herramienta para la región. La metodología de esta herramienta combina un modelaje de procesos de dinámica costera con el análisis de un grupo de expertos, e incluye una distribución probabilística, considerando como línea base el año 2006. Los componentes para realizar la modelación son las placas de hielo de Antártica y Groenlandia, los glaciares, los procesos oceánicos, incluida la expansión térmica, y el almacenamiento de agua terrestre, teniendo en cuenta los cambios en la población y las contribuciones no climáticas (Kopp, Horton, Little, Mitrovica, Oppenheimer, Rasmussen y Tebaldi, 2014).

## 4. Resultados

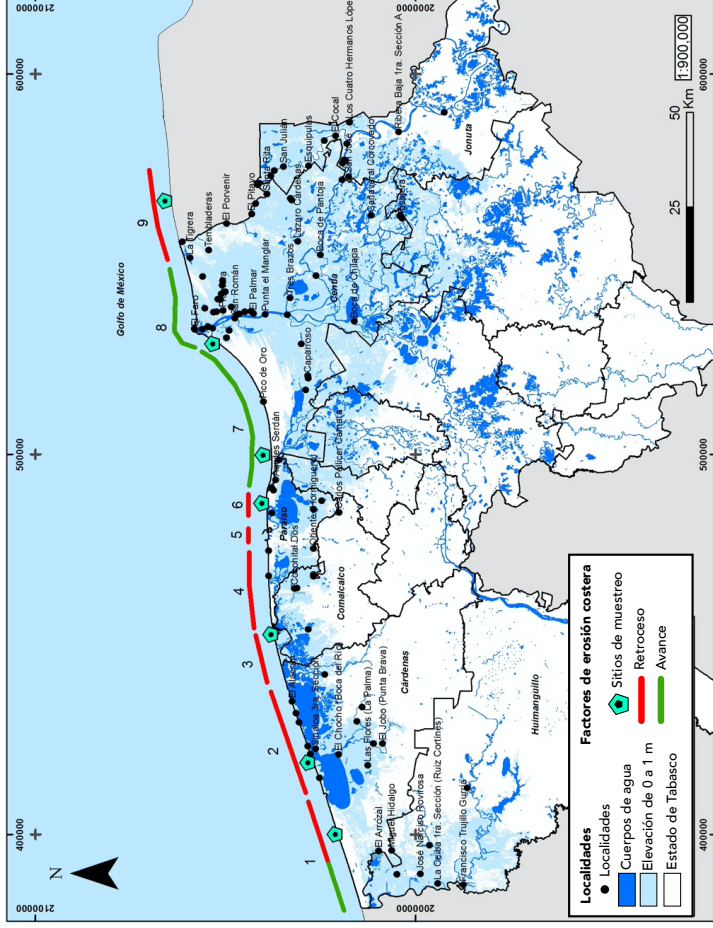
### 4.1. Nivel del mar

Para este análisis se identificó la extensión de territorio vulnerable a impactos asociados al incremento del nivel medio del mar entre 0 y 1 metro de altitud. Tabasco tiene casi la mitad de su extensión territorial entre 0 y 5 msnm, donde 21.7% (5 362.5 km<sup>2</sup>) (Cuadro 2) está entre 0 y 1 msnm (Mapa 1). Sin embargo, sólo 423.4 km<sup>2</sup> (7.89%) de ese rango tiene cercanía a la línea de costa; el resto de las extensiones identificadas en esta cota se encuentran limitadas por barreras físicas o en zonas bajas tierra adentro. En el Mapa 2 se pueden identificar los cordones litorales del delta del río Usumacinta cercanos a la costa con elevaciones entre 2.5 y 5 m.

Utilizando las estaciones mareográficas de Coatzacoalcos y Ciudad del Carmen, con la herramienta Climate Analytics ([https:// http:// localslr.climateanalytics.org/](https://localslr.climateanalytics.org/)) (Cuadro 3) se encontró que para el año

## Mapa 1

Superficie que ocupa la cota de 0 a 1 m de elevación, las localidades ubicadas en la zona y los sectores estudiados de erosión costera con los sitios de monitoreo de erosión



Fuente: Marco geostatístico nacional, INEGI (<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>); Censo de Población y Vivienda. Principales resultados por localidad (ITER), Tabasco, INEGI (<https://www.inegi.org.mx/app/scite/Default?ev=9>); Catálogo único de claves de áreas geostatísticas estatales, municipales y localidades, INEGI (<https://www.inegi.org.mx/app/ageem/>).

## Cuadro 2

Datos de extensión territorial (km<sup>2</sup> y porcentaje) asociado a las cotas de elevación en Tabasco

<i>Cotas de altitud (m)</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>%</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>) analizada</i>	<i>%</i>
0.0 a 0.5	2 849.01	11.53		
0.5 a 1.0	2 513.49	10.17	5 362.5	21.7
1.0 a 5.0	5 285.19	21.37		21.37
> 5.0	14 070.75	56.92		56.93
	24 718.45	100.00		

*Fuente:* Elaboración propia.

## Cuadro 3

Valores de elevación del nivel del mar para 2100 en centímetros, correspondientes a las estaciones mareográficas de Coatzacoalcos, Ver. y Ciudad del Carmen, Camp.\*

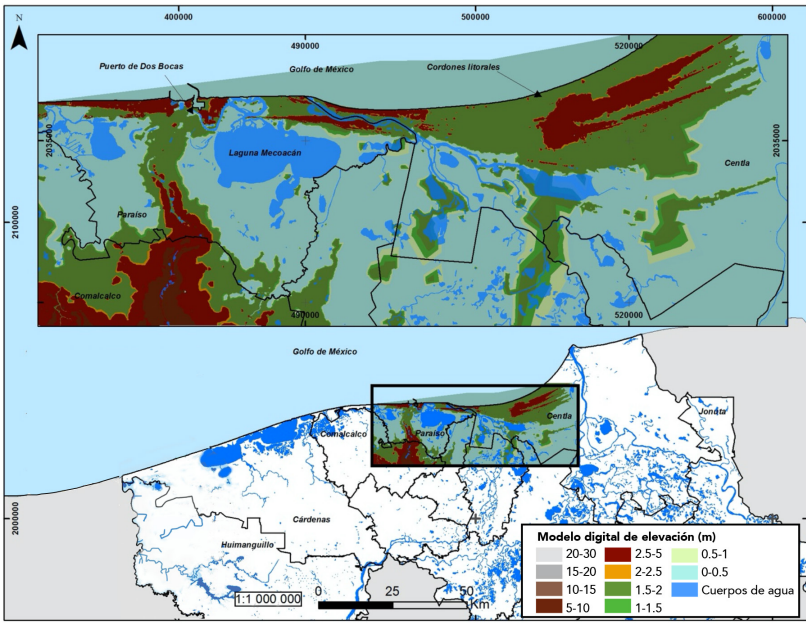
<i>Mediana</i>	<i>Coatzacoalcos</i>		<i>Mediana</i>	<i>Ciudad del Carmen</i>	
	<i>Rangos incertidumbre</i>			<i>Rangos incertidumbre</i>	
	<i>66%</i>	<i>90%</i>		<i>66%</i>	<i>90%</i>
53	32-79	18-105	68	46-95	32-121
63	40-90	24-116	78	54-106	39-133
83	54-116	35-148	98	68-132	48-165

\* Calculados con la herramienta Climate Analytics. La primera línea corresponde a los valores esperados si se cumplen los compromisos de reducción de emisiones propuestos en el acuerdo de París de no superar los 2°C y tratar de permanecer a un máximo de 1.5°C; la segunda línea corresponde al escenario en el que el incremento de la temperatura media global llegara hasta 2.5°C; y la tercera, si se sobrepasara los 4°C de temperatura media global, calculados con dos niveles de incertidumbre.

*Fuente:* Climate Analytics (<https://localsr.climateanalytics.org/>).

### Mapa 2

Acercamiento a la zona costera en los municipios de Centla y Paraíso, donde se aprecia con más detalle las cotas de elevación cada 50 cm



Fuente: Marco geostatístico nacional, INEGI (<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>); Catálogo único de claves de áreas geostatísticas estatales, municipales y localidades, INEGI (<https://www.inegi.org.mx/app/ageeml/>); Modelos digitales de elevación de alta resolución LiDAR, INEGI (<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825796341?>).



2100, dependiendo de las acciones de mitigación implementadas para el cumplimiento del Acuerdo de París, el nivel de elevación del mar para Coatzacoalcos estaría entre 0.32 y 1.48 m, y para Ciudad del Carmen entre 0.46 y 1.65 m.

#### **4.2. Población**

La zona delimitada como vulnerable a la elevación del nivel del mar abarca parte de seis de los municipios considerados como de influencia costera –Cárdenas, Centla, Paraíso, Comalcalco, Huimanguillo y Jonuta–, de los cuales sólo los tres primeros tienen frente de costa. En ellos se ubicaron, de acuerdo a la *Encuesta Intercensal* del INEGI (2015a) y a los criterios considerados en la metodología, 76 localidades (Cuadro 4 y Mapa 1). De éstas, sólo Simón Sarlat, con 3 044 habitantes, podría ser considerada como urbana, por tener una población mayor a 2 500 habitantes, en transición a una ciudad media de acuerdo a la clasificación del INEGI (2015a). Se reportaron 35 174 habitantes en estas 76 localidades (Cuadro 4), 54 de las cuales corresponden a 71% en los tres municipios con límite costero, principalmente en Centla, con 43.42% (33).

#### **5. Discusión**

El análisis de los datos de los satélites TOPEX/Poseidon y Jason se ha utilizado para modelar el calentamiento global, que se estima ha ocasionado una expansión térmica del agua oceánica y el deshielo de los glaciares en los últimos cien años (Nerem y Mitchum, 2001). Un cambio de 3.1+/- 0.7 mm al año para el periodo entre 1993 y 2003 fue estimado por Cazenave y Nerem (2004), y el valor se ha incrementado a partir de 1993 en 3 mm por año (Church y White, 2006). En Tabasco, Ortiz-Pérez, Hernández-Santana, Figueroa Mah Eng y Gama Campillo (2010) señalan que, entre 1995 y 2008, tan sólo en el sector que va desde Boca Panteones hasta Barra Tupilco, hay evidencias de subsidencia y/o ascenso del nivel del mar, con una disminución de 449 997 m<sup>2</sup> de terreno, lo que representa una franja de 26.5 m de ancho, que corresponde a un retroceso de dos metros anuales.

**Cuadro 4**

Localidades y población en la zona costera vulnerable por la potencial elevación del mar en la cota de 0 a 1 m, clasificadas por municipio y rangos de población

<i>Municipio</i>	<i>Núm. localidades</i>	<i>Rango población</i>	<i>Total rango</i>	<i>Total población</i>
Cárdenas	11	21 a 249	2	212
		250 a 499	6	2 528
		500 a 999	3	2 293
		Total		5 033
Centla	33	21 a 249	19	1 998
		250 a 499	3	1 069
		500 a 999	8	4 858
		1 000 a 2 499	2	3 048
		Mayor a 2 500	1	3 044
Total			14 017	
Comalcalco	5	21 a 249	2	258
		250 a 499	1	349
		500 a 999	1	776
		1 000 a 2 499	1	1 692
Total			3 075	
Huimanguillo	6	21 a 249	1	100
		250 a 499	3	1 383
		500 a 999	1	673
Total			2 156	
Jonuta	11	21 a 249	8	1 192
		250 a 499	1	340
		500 a 999	2	1 720
Total			3 252	
Paraíso	10	21 a 249	1	46
		250 a 499	2	566
		500 a 999	4	2 833
		1 000 a 2 499	3	4 196
Total			7 641	
Total población				35 174

*Fuente: Encuesta Intercensal 2015 (INEGI, 2015b).*

De acuerdo con Kopp, Horton, Little, Mitrovica, Oppenheimer, Rasmussen y Tebaldi (2014), los incrementos proyectados a nivel global, con una probabilidad de 90%, serían de entre 0.5 a 1.2 m en el escenario RCP 8.5. En general, las diferencias en las proyecciones locales con la calculada para Tabasco de entre 0.32 y 1.65, utilizando la herramienta Climate Analytics con los datos de Coatzacoalcos o Ciudad del Carmen, están asociados a forzantes locales, como serían valores de subsidencia, o debido a valores globales como efectos oceanográficos locales, o al incremento en el deshielo, como lo reportado por Kopp, DeConto, Bader, Hay, Horton, Kulp y Strauss (2017), lo que ha representado pérdida de territorio tierra adentro (Ramos-Reyes, Zavala-Cruz, Gama-Campillo, Pech-Pool y Ortiz-Pérez, 2016a).

Mentaschi, Vousdoukas, Pekel, Voukouvalas y Feyen (2018) realizaron una evaluación de la morfodinámica costera por un periodo de 32 años (1984-2015) con imágenes satelitales, encontrando que la tierra erosionada (retroceso) global era de aproximadamente 28 000 km<sup>2</sup>, el doble de la superficie de la tierra ganada (acreción), y concluyen que la tendencia global observada en la erosión costera aumentará conforme se incremente el nivel medio del mar.

La zona costera tabasqueña, debido a la dinámica de las actividades productivas, ha sufrido una importante alteración que rompe con la dinámica natural que garantice su funcionalidad, reportada desde el siglo pasado (Tudela, 1992). Los cambios de uso del suelo, así como la modificación de la hidrodinámica, han contribuido a transformar los procesos naturales del paisaje tabasqueño (Gama, Collado, Díaz-López y Moguel Ordóñez, 2019), disminuyendo su capacidad de amortiguar las amenazas asociadas a eventos tanto de origen natural como antrópico, y con ellos el cambio climático. Esto se aprecia en el incremento de las tasas de erosión en el litoral tabasqueño, que están afectando ya directamente los bienes de la población. Estos impactos, además de resultar en la pérdida de territorio, alterarán los sistemas ambientales costeros y su capacidad de brindar bienestar. Sin embargo, autores como Grenfell, Callaway, Grenfell, Bertelli, Mendzil y Tew (2016) consideran que estos cambios y sus efectos, como es la pérdida de biodiversidad, podrían no ser visibles este siglo.

El último informe del IPCC (2019) señala que el planeta ya se ha calentado aproximadamente 1°C; sin embargo, algunas regiones, como el Ártico, han superado ese calentamiento por lo menos cuatro veces (IPCC, 2019). Este incremento no sólo está calentando los océanos, sino provocando una aceleración en el derretimiento de las capas de hielo, lo que representa una amenaza al 27% de la población global que hoy vive cerca de las costas, entre los que están los 35 174 pobladores de las 76 localidades de Tabasco vulnerables a un cambio en el nivel del mar. Cabe señalar que, de acuerdo con Azuz-Adeath, Rivera-Arriaga y Alonso-Peinado (2019), Tabasco tiene una tendencia de crecimiento poblacional de 0.9987, que incrementaría la población que vive por debajo de la marca de marea alta, con posibilidad de enfrentar eventos de inundaciones de marea si el nivel del mar sube los 38 cm señalados por el IPCC (2019) en el mejor de los escenarios.

Queda claro que existen actualmente muchas opciones a considerar antes de que se agudicen los impactos y que la población tenga que contemplar cambiar su ubicación. Sin embargo, la salinización del manto freático o de los suelos (De la Lanza, Gómez y Hernández, 2011), iniciada desde la década de los cincuenta, se potenció con los impactos relacionados con el cambio climático, extendiéndose sobre el territorio tabasqueño y comprometiendo la aptitud del mismo para las actividades productivas que se realizan en esta zona. Debido a esto, nuevos enfoques científicos señalan la importancia de integrar sistemas naturales con un enfoque de ingeniería ecológica que desarrolle nuevos ecosistemas sustentables más fortalecidos, que permitan buscar o generar innovaciones para adaptarse a estos cambios, así como desarrollar un modelo de fortalecimiento de la producción agropecuaria (Mitsch, 2012). No obstante, de acuerdo con White y Kaplan (2017), los factores de estrés de los humedales costeros pueden generar sinergias con consecuencias negativas, y a veces catastróficas, para los sistemas humanos y naturales que habría que valorar al proponer su uso.

En general, a nivel global se han identificado estrategias para atender esta problemática en las zonas costeras habitadas, que van desde comunidades que están siendo movilizadas —en especial en pequeñas islas (IPCC, 2019), de acuerdo a la estrategia llamada “retira-

da controlada”– a modificaciones en la infraestructura de protección con altos costos. Si bien es importante considerar que los costos de ambos tipos de soluciones podrían aumentar considerablemente con el tiempo, también hay que estimar si la población que se tendría que atender sería cada vez mayor. En el futuro se podría requerir tener zonas adecuadas para movilizar poblaciones en crecimiento, lo que podría ser difícil de realizar, particularmente en un estado que ya ha enfrentado un evento de inundación que se extendió en más de la mitad de su territorio (Arreguín-Cortés, Rubio-Gutiérrez, Domínguez-Mora y de Luna-Cruz, 2014).

Además, los municipios de Cárdenas, Comalcalco, Centla y Jonuta están clasificados con niveles medio y alto de marginación, de acuerdo al Consejo Nacional de Población (Conapo, 2016), en donde las 63 localidades identificadas registran dichos grados de marginación, condición que genera poca o nula capacidad de resiliencia de la población ante los impactos ambientales. Los casos de los municipios de Centla y Jonuta destacan al estar inmersos en las áreas naturales protegidas Pantanos de Centla y Laguna de Términos, respectivamente, en la zona donde el impacto por el cambio en el nivel del mar sería más fuerte para el año 2100 y cuya historia natural incluye una dinámica de inundación anual por el desbordamiento del río Usumacinta (Gama-Campillo, Ortiz-Pérez, Moguel-Ordoñez, Collado-Torres, Díaz-López, Villanueva-García y Macías-Valadez, 2011), fertilizando la zona de humedales. Esta zona sería sin duda idónea para la implementación de estrategias de adaptación basadas en ecosistemas, fortaleciendo el manejo del agua que por siglos los locales han realizado. Sin embargo, hoy los fuertes procesos de asimilación y modernización del trópico (Tudela, 1992) han llevado a que las políticas públicas que se aplican actualmente para el manejo de inundaciones fluviales se basen en infraestructura de protección que, en costo-beneficio, no ha dado los resultados esperados, ya que han alterado la dinámica natural generando mayores problemas, lo cual provoca demandas de apoyo al gobierno local y federal para el otorgamiento de recursos para la atención a desastres.

## 6. Conclusiones

A pesar de que este análisis no toma en cuenta los flujos de la hidrodinámica y la disponibilidad y transporte de sedimentos en el litoral, procesos que contribuyen a la formación de costa, ha sido útil para ubicar a las poblaciones en zonas que se verán afectadas por la erosión costera y la elevación del nivel del mar.

Los primeros impactos asociados a la erosión costera y la elevación del nivel del mar que ya se aprecian en Tabasco son la pérdida de infraestructura, el avance de la cuña salina que afecta el uso del suelo y el manto freático, así como la pérdida de territorio en algunos sectores del litoral.

Entre las medidas de adaptación propuestas para enfrentar estos impactos están la adaptación, con base en ecosistemas, la infraestructura de protección, o incluso la migración de la población. Actualmente, en Tabasco los pobladores de localidades costeras se han movido tierra adentro al perder sus casas, debido a que la infraestructura de protección implementada, como son los geotubos, no ha funcionado en algunas zonas. De hecho, parte de esta infraestructura, como los espigones, ha potenciado el incremento de la erosión costera.

Las dunas, que actúan como barreras naturales, están sujetas a una fuerte presión antrópica, en particular con la construcción de infraestructura como carreteras o viviendas, lo que provoca que se rompa la dinámica natural y que los procesos erosivos se vuelvan irreversibles, limitando o potenciando el transporte de sedimentos en el litoral, lo que resulta en la modificación de la línea de costa.

Los sectores con fuertes retrocesos en el litoral, asociados a la erosión costera que potencia la elevación del nivel del mar, incrementan la vulnerabilidad de las localidades cercanas, al igual que la de los ecosistemas donde se desarrolla una importante actividad productiva.

La interacción del agua de mar en los humedales y lagunas costeras los modifica creando condiciones que se autorregulan. No obstante, el incremento de infraestructura limita la evolución de los mismos. Conforme se incrementa la amenaza de elevación del mar o erosión costera, la entrada de agua salada podría dispersarse a través

de la densa hidrología superficial de la región, afectando de forma importante los pantanos de Centla y las lagunas costeras.

Las modificaciones en los ecosistemas alteran los servicios ambientales, lo que modifica la capacidad que se tenía de protección de la costa. Sin embargo, si los procesos de salinización se incrementan, también se podrían generar condiciones para que ecosistemas como el manglar se extiendan.

Es apremiante fortalecer medidas que identifiquen, valoren y atiendan en cada caso esta problemática con diferentes enfoques, como monitorear y analizar los cambios locales para tener información de mejor calidad y resolución que permita generar estrategias para tomar mejores decisiones locales.

## Bibliografía

- Anthoff, D., Nicholls, R. y Tol, R. (2010). The economic impact of substantial sea-level rise. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(4), 321-335. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-010-9220-7>
- Arreguín-Cortés, F. I., Rubio-Gutiérrez, H., Domínguez-Mora, R. y de Luna-Cruz, F. (2014). Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995-2010. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(3), 5-32. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222014000300001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000300001)
- Azuz-Adeath, I., Rivera-Arriaga, E. y Alonso-Peinado, H. (2019). Current demographic conditions and future scenarios in Mexico's coastal zone. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, 19(2), 85-122. <http://www.aprh.pt/rgci/rgci-n216.html>
- Ben Ari, T., Neerinckx, S., Gage, K., Kreppel, K., Laudisoit, A., Leirs, H. y Stenseth, N. (2011). Plague and climate: Scales matter. *PLoS Pathogens*, 7(9). <https://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1002160>
- Borja-Vega, C. y de la Fuente, A. (2013). *Municipal vulnerability to climate change and climate-related events in Mexico* (Documento de Trabajo, núm. 6417). Washington, DC: The World Bank,

- Social Development Department, Sustainable Development Network. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/15560/wps6417.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Brander, K., Cochrane, K., Barange, M. y Soto, D. (2017). Climate change implications for fisheries and aquaculture. En B. F. Phillips y M. Pérez-Ramírez (eds.), *Climate change impacts on fisheries and aquaculture: A global analysis* (pp. 45-62). Roma: Wiley-Blackwell. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119154051>
- Cazenave, A. y Nerem, R. S. (2004). Present-day sea level change: Observations and causes. *Reviews Geophysics*, 42(3), 1-20. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2003RG000139>
- CEPAL. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2012). *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: impactos*. Santiago de Chile: CEPAL / Gobierno de España / Universidad de Cantabria. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3955-efectos-cambio-climatico-la-costa-america-latina-caribe-dinamicas-tendencias>
- CEPAL. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2015). *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: dinámicas, tendencias y variabilidad climática*. Santiago de Chile: CEPAL / Gobierno de España / Universidad de Cantabria. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3955-efectos-cambio-climatico-la-costa-america-latina-caribe-dinamicas-tendencias>
- Conagua y Semarnat (Comisión Nacional del Agua y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2016). *Estadísticas del agua en México*. Ciudad de México: Conagua. [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/03/Estadisticas-del-Agua-en-Mexico\\_2016.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/03/Estadisticas-del-Agua-en-Mexico_2016.pdf)
- Conapo (Consejo Nacional de Población). (2016). *Preliminar. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2015*. Ciudad de México: Conapo. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/459282/00\\_Preliminares.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/459282/00_Preliminares.pdf)
- Church, J. y White, N. (2006). A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters*, 33(1), 1-4. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2005GL024826>



- De la Lanza Espino, G., Gómez Rojas, J. C. y Hernández Pulido, S. (2011). Vulnerabilidad de la zona costera. Físicoquímica. En A. V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez y J. L. Rojas-Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* (pp. 15-36). México: Gobierno del Estado de Tabasco / Instituto Nacional de Ecología / Universidad Autónoma de Campeche, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/10/Vulnerabilidad-de-las-Zonas-Costeras-de-Latinoame%CC%81rica-al-Cambio-Clima%CC%81tico.pdf>
- Francis, J. A., Vavrus, S. J. y Cohen, J. (2017). Amplified arctic warming and mid-latitude weather: New perspectives on emerging connections. *Wires Climate Change*, 8(5). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wcc.474>
- Gama-Campillo, L., Ortiz-Pérez, M. A., Moguel-Ordoñez, E., Collado-Torres, R., Díaz-López, H., Villanueva-García, C. y Macías-Valadez, M. E. (2011). Flood risk assessment in Tabasco, Mexico. En C. A. Brebbia y V. Popov (eds.), *Water resources management* (pp. 631-640). Milán: WITpress. <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/145/22126>
- Gama, L., Collado, R., Díaz-López, H. y Moguel Ordóñez, E. J. (2019). La modificación del paisaje como indicador de salud ecológica. En *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Volumen II* (pp. 160-163). México: Conabio.
- Gobierno de México. (2012). Acuerdo por el que se expide la parte marina del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe y se da a conocer la parte regional del propio Programa (continúa de la Segunda Sección). *Diario Oficial de la Federación*, 24 de noviembre. Ciudad de México: Gobierno de México. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5279084&fecha=24/11/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5279084&fecha=24/11/2012)
- Grenfell, S., Callaway, R., Grenfell, M., Bertelli, C., Mendzil, A. y Tew, I. (2016). Will a rising sea sink some estuarine wetland ecosystems? *Science of the Total Environment*, 554-555, 276-292. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26956175/>
- Grinsted, A., Moore, J. y Jevrejeva, S. (2010). Reconstructing sea le-

- vel from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics*, 34(4), 461-472. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00382-008-0507-2>
- Hernández-Montilla, M. C., Martínez-Morales, M. A., Posada Vane-gas, G. y De Jong, B. H. (2016). Assessment of Hammocks (Pe-tenes) resilience to sea level rise due to climate change in Mexi-co. *Plos One*, 11(9), 1-20. [https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1339/1/100000029566\\_documento.pdf](https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1339/1/100000029566_documento.pdf)
- Hernández-Santana, J. R., Ortiz-Pérez, M. A., Méndez-Linares, A. P. y Gama-Campillo, L. (2008). Morfodinámica de la línea de cos-ta del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. *Investigaciones Geográfi-cas*, 65, 7-21. <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/17971#>
- Horton, B. P., Rahmstorf, S., Engelhart, S. E. y Kemp, A. C. (2014). Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300. *Quaternary Science Reviews*, 84(15), 1-6. <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0277379113004381?via%3Dihub>
- Huang, D., Haack, R. y Zhang, R. (2011). Does global warming in-crease establishment rates of invasive alien species? A centurial time series analysis. *Plos One*, 6(9). <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0024733>
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2015a). *Ca-racterísticas de las localidades 2014. Síntesis metodológica y con-ceptual*. Ciudad de México: INEGI. [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825078850.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825078850.pdf)
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2015b). *En-cuesta Intercensal 2015*. Ciudad de México: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2019). *Ca-tálogo único de claves de áreas geoestadísticas estatales, muni-cipales y localidades*. Ciudad de México: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/ageeml/>
- IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change). (1992). *Cam-bio climático: la evaluación del IPCC de 1990 y 1992*. Canadá:

- OMM, PNUMA. [https://www.ipcc.ch/\\_site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_90\\_92\\_assessments\\_far\\_full\\_report\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/_site/assets/uploads/2018/02/ipcc_90_92_assessments_far_full_report_sp.pdf)
- IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014a). *Cam-bio climático 2014: informe de síntesis. Resumen para responsa-bles de políticas*. Nueva York: United Nation. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf)
- IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014b). *Climate change 2014. Synthesis report*. En R. K. Pachauri y L. A. Meyer (eds.), *Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ginebra: United Nation. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). *Global warming of 1.5°C*. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.), *An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Nueva York: United Nation. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2019). *The ocean and cryosphere in a changing climate*. En H. O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama y N. M. Weyer (eds.), *IPCC special report*. Nueva York: United Nation. <https://www.ipcc.ch/srocc/download/#published>
- Jevrejeva, S., Moore, J. C. y Grinsted, A. (2012). *Sea level projections to AD2500 with a new generation of climate change scenarios*. *Global and Planetary Change, 80-81*, 14-20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818111001469?via%3Dihub>
- Kopp, R. E., Horton, R. M., Little, C. M., Mitrovica, J. X., Oppen-

- heimer, M., Rasmussen, D. J. y Tebaldi, C. (2014). Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. *Earth's Future*, 2(8), 383-406. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014EF000239>
- Kopp, R. E., DeConto, R. M., Bader, D. A., Hay, C. C., Horton, R. M., Kulp, S., Oppenheimer, M., Pollard, D. y Strauss, B. H. (2017). Evolving understanding of Antarctic ice-sheet physics and ambiguity in probabilistic sea-level projections. *Earth's Future*, 5(12), 1217-1233. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017EF000663>
- Kossin, J. P. (2018). A global slowdown of tropical-cyclone translation speed. *Nature*, 558(7708), 104-107. <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0158-3>
- Kurukulasuriya, P. y Mendelsohn, R. (2008). How will climate change shift agro-ecological zones and impact African agriculture? (Documento de Trabajo, núm. 4717). Nueva York: The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6994>
- Mata-Zayas, E. E., Gama, L., Díaz López, H., Figueroa Maheng, J. M. y Rincón Ramírez, J. (2017). Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos en la zona de influencia costera de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, ante la elevación de nivel medio del mar asociado al cambio climático. En A. V. Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas-Galavitz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático* (pp. 193-230). México: Gobierno del Estado de Tabasco / Instituto Nacional de Ecología / Universidad Autónoma de Campeche, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/10/Vulnerabilidad-de-las-Zonas-Costeras-de-Latinoame%CC%81rica-al-Cambio-Clima%CC%81tico.pdf>
- Mcgranahan, G., Balk, D. y Anderson, B. (2007). The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19(1), 17-37. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0956247807076960>
- McLean, R. F., Tsyban, A., Burkett, V., Codignotto, J. O., Forbes, D. L., Mimura, N. y Ittekkot, V. (2001). Coastal zones and marine ecosystems. En J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J.

- Dokken y K. S. White (eds.), *Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 343-379). Cambridge: Cambridge University Press. [https://www.sysecol2.ethz.ch/AR4\\_Ch04/Mc60.pdf](https://www.sysecol2.ethz.ch/AR4_Ch04/Mc60.pdf)
- Mentaschi, L., Vousdoukas, M. I., Pekel, J. F., Voukouvalas, E. y Feyen, L. (2018). Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific Reports*, 8(1). <https://www.nature.com/articles/s41598-018-30904-w>
- Milillo, P., Rignot, E., Rizzoli, P., Scheuchl, B., Mouginot, J., Bueso-Bello, J. L. y Prats-Iraola, P. (2019). Heterogeneous retreat and ice melt of Thwaites glacier, West Antarctica. *Science Advances*, 5(1). <https://advances.sciencemag.org/content/5/1/eaau3433>
- Mitsch, W. (2012). What is ecological engineering? *Ecological Engineering*, 45, 5-12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857412001310?via%3Dihub>
- Monterroso Rivas, A., Conde Álvarez, C., Gay García, C., Gómez Díaz, J. y López García, J. (2012). Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México. En C. Rodríguez Puebla, A. Ceballos Barbancho, N. González Reviriego y E. Morán Tejeda (eds.), *VIII Congreso Internacional AEC. Cambio climático. Extremos e impactos* (pp. 882-890). Salamanca: Asociación Española de Climatología (AEC). [http://aecom.org/wp-content/uploads/2016/02/0086\\_PU-SA-VIII-2012-A\\_MONTERROSO.pdf](http://aecom.org/wp-content/uploads/2016/02/0086_PU-SA-VIII-2012-A_MONTERROSO.pdf)
- Monterroso Rivas, A., Fernández Eguiarte, A., Trejo Vázquez, R. I., Conde Álvarez, A. C., Escandón Calderón, J., Villers Ruiz, L. y Gay García, C. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Programa de Investigación en Cambio Climático / Universidad Autónoma de Chapingo. <http://atlasclimatico.unam.mx/VyA>
- Morales, J. G. y Pérez Damían, J. L. (2006). Crecimiento poblacional e instrumentos para la regulación ambiental de los asentamientos humanos en los municipios costeros de México. *Gaceta*

- Ecológica*, 79, 53-77. <http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/gacetas/GE79.pdf>
- Nerem, R. S., Beckley, B. D., Fasullo, J. T., Hamlington, B. D., Masters, D. y Mitchum, G. T. (2018). Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(9), 2022-2025. <https://www.pnas.org/content/115/9/2022>
- Nerem, R. y Mitchum, G. T. (2001). Sea level change. En L. Fu y A. Cazenave (eds.), *Satellite altimetry and Earth sciences* (pp. 329-349). Londres: Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0074614201801534>
- Nicholls, R. y Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517-1520. <https://science.sciencemag.org/content/328/5985/1517>
- Nicholls, R. y Small, C. (2002). Improved estimates of coastal population and exposure to Hazards released. *Eos*, 83(28), 301-305. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2002EO000216>
- Nicholls, R. J., Wong, P. P., Burkett, V., Codignotto, J., Hay, J., McLean, R., Ragoonaden, S. y Woodroffe, C. D. (2007). Coastal systems and low-lying areas. En M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C. E. Hanson (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 315-356). Londres: Cambridge University Press. <http://ro.uow.edu.au/scipapers/164>
- Núñez Gómez, J. C., Ramos Reyes, R., Barba Macías, E., Espinoza Tenorio, A. y Gama Campillo, L. M. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 91, 70-85. <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/50172>
- Ortiz-Pérez, M. A. y Gama Campillo, L. (2019). Dinámica e inestabilidad de la zona costera. En *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de estado, Volumen I* (pp. 83-87). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).

<https://es.scribd.com/document/420771017/La-Biodiversidad-en-Tabasco-CONABIO-14868>

- Ortiz-Pérez, M. A., Hernández-Santana, J. R., Figueroa MahEng, J. M. y Gama Campillo, L. (2010). Tasas del avance transgresivo y regresivo en el frente deltaico tabasqueño en el periodo comprendido del año 1995 al 2008. En A. V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* (pp. 305-324). México: Gobierno del Estado de Tabasco / Instituto Nacional de Ecología / Universidad Autónoma de Campeche, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/10/Vulnerabilidad-de-las-Zonas-Costeras-de-Latinoame%CC%81rica-al-Cambio-Clima%CC%81tico.pdf>
- Ortiz-Pérez, M. A. y Méndez-Linares, A. P. (1999). Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 39, 68-81. <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59084>
- Perevochtchikova, M. y Lezama de la Torre, J. L. (2010). Causas de un desastre: inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *Journal of Latin American Geography*, 9(2), 73-98. [https://www.jstor.org/stable/25765308?seq=1#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/25765308?seq=1#metadata_info_tab_contents)
- Rahmstorf, S. (2007). A semi empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, 19(315), 368-370. <https://science.sciencemag.org/content/315/5810/368>
- Ramos Reyes, R., Gama Campillo, L. M., Nuñez Gómez, J. C., Sánchez Hernández, R., Hernández Trejo, H. y Ruíz Álvarez, O. (2016b). Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera en el litoral tabasqueño ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2551-2563. <https://www.researchgate.net/publication/296671243>
- Ramos-Reyes, R., Zavala-Cruz, J., Gama-Campillo, L. M., Pech-Pool, D. y Ortiz-Pérez, M. A. (2016a). Indicadores geomorfológicos para evaluar la vulnerabilidad por inundación ante el ascenso del nivel del mar debido al cambio climático en la costa de

- Tabasco y Campeche, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 581-598. <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/6803/%2812%29Ramos.pdf>
- Schellnhuber, H. J. (2009). Tipping elements in the Earth system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(49), 20561-20563. <https://www.pnas.org/content/106/49/20561>
- Seingier, G., Espejel, I., Fermán, J. L. y Delgado, O. (2010). Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal. En E. Rivera Arriaga, G. Villalobos, L. Alpuche, I. Azuz-Adeath y A. Ortega (eds.), *Cambio climático en México: un enfoque costero y marino* (pp. 669-688). Campeche: Universidad Autónoma de Campeche / CETYS Universidad / Gobierno del Estado de Campeche. [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/fgm/Uso\\_y\\_Manejo\\_18P/8\\_Vulnerabilidad\\_poblaciones\\_costeras.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/fgm/Uso_y_Manejo_18P/8_Vulnerabilidad_poblaciones_costeras.pdf)
- Tudela, F. (1992). *La modernización forzada del trópico: el caso de Tabasco*. Ciudad de México: El Colegio de México, A.C. / Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados / Federación Internacional de Institutos de Estudios Avanzados / Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social.
- Vermeer, M. y Rahmstorf, S. (2009). Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(51), 21527-21532. <https://www.pnas.org/content/106/51/21527>
- White, E. y Kaplan, D. (2017). Restore or retreat? Saltwater intrusion and water management in coastal wetlands. *Ecosystem Health and Sustainability*, 3(1). <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1002/ehs2.1258>
- Williams, S. J. (2013). Sea-level rise implications for coastal regions. *Journal of Coastal Research*, 63(63), 184-96. [https://www.researchgate.net/publication/260178625\\_Sea-Level\\_Rise\\_Implications\\_for\\_Coastal\\_Regions](https://www.researchgate.net/publication/260178625_Sea-Level_Rise_Implications_for_Coastal_Regions)
- Williams, S. J. y Gutierrez, B. T. (2009). Sea-level rise and coastal change: Causes and implications for the future of coasts and



low-lying regions. *Shore and Beach*, 77(4), 13-21. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70190255>

- Zavala-Hidalgo, J., de Buen Kalman, R., Romero-Centeno, R. y Hernández Maguey, F. (2010). Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas. En A. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* (pp. 249-268). México: Gobierno del Estado de Tabasco / Instituto Nacional de Ecología / Universidad Autónoma de Campeche, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/10/Vulnerabilidad-de-las-Zonas-Costeras-de-Latinoame%CC%81rica-al-Cambio-Clima%CC%81tico.pdf>
- Zikra, M. y Lukijanto, S. (2015). Climate change impacts on Indonesian coastal areas. *Procedia Earth and Planetary Science*, 14, 57-63. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878522015002362>

## Acerca de los autores

**Lilia María Gama Campillo** es doctora en Ciencias por la Universidad de California, campus Riverside, y bióloga por la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es profesora investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, responsable del Laboratorio de Ecología del Paisaje y Cambio Global, e integrante del cuerpo académico Resiliencia ante el cambio global. Sus líneas de interés son ecología del paisaje, diagnóstico ambiental, dinámica y vulnerabilidad al cambio global costero y etnoecología. Ha dirigido proyectos financiados por Conacyt, Semarnat, INECC, Sernapam, Conapesca y BID. Recibió el Premio Estatal de Ecología “José Narciso Rovirosa”, del Gobierno del Estado de Tabasco en 2012, y la Medalla al Mérito por la Defensa del Medio Ambiente del Honorable Congreso del Estado de Tabasco. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5417-9697>

Entre sus publicaciones se encuentran:

- Gama Campillo, L., Macías-Valadez, M. E., Pacheco-Figueroa, C. J., Collado-Torres, R. A., Mata-Zayas, E., Díaz-López, H. M., Valdez Leal, J. D., Arriaga Weiss, S. y Rangel-Ruíz, L. J. (2020). Panarquía: propuesta de análisis de la dinámica costera de Tabasco ante el cambio global. En E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, O. D. Cervantes Rosas, A. Espinoza-Tenorio, R. Silva Casarín, A. Ortega-Rubio, A. V. Botello y B. E. Vega-Serratos (eds.), *Gobernanza y manejo de las costas y mares ante la incertidumbre. Una guía para tomadores de decisiones* (pp. 427-447). México: Universidad Autónoma de Campeche. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/11/Libro-Gobernanza.pdf>
- Ortiz-Pérez, M. A. y Gama Campillo, L. (2019). Dinámica e inestabilidad de la zona costera. En A. Cruz, J. Cruz, J. Valero, F. P. Rodríguez, E. D. Melgarejo, E. E. Mata y D. J. Palma (coords.), *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Volumen I* (pp. 83-87). Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janiumbin/detalle.pl?Id=20201021144909#>
- Ramos Reyes, R., Gama Campillo, L. M., Nuñez Gómez, J. C., Sánchez Hernández, R., Hernández Trejo, H. y Ruíz Álvarez, O. (2016). Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera en el litoral tabasqueño ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2551-2563. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263144472009.pdf>

**Hilda María Díaz López** es maestra en Ciencias Ambientales por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Actualmente es técnico académico del Laboratorio de Ecología del Paisaje y Cambio Global, de la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT. Sus líneas de interés son diagnóstico ambiental, vulnerabilidad de la zona costera, ecología y conservación de primates mexicanos. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7754-9072>

Entre sus publicaciones se encuentran:

- Díaz-López, H. M., Gama Campillo, L., Serio-Silva, J. C. y Collado Torres, R. (2019). Uso del hábitat por el mono aullador negro (*Alouatta pigra*) en una plantación de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) en Balancán. En *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de*

*Estado. Volumen II* (pp. 346-349). Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20201021145745#>

Gama Campillo, L., Collado Torres, R., Díaz-López, H. M., Villanueva-García, C., Galindo-Alcántara, A., Zequeira-Larios, C. y Pedrero-Sánchez, A. E. (2019). El ordenamiento ecológico territorial. En A. Cruz, J. Cruz, J. Valero, F. P. Rodríguez, E. D. Melgarejo, E. E. Mata y D. J. Palma (coords.), *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de estado. Volumen III* (pp. 229-233). Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janiumbin/detalle.pl?Id=20201021150002#>

Mata-Zayas, E. E., Gama Campillo, L., Vázquez-Navarrete, C., Díaz López, H., Figueroa Maheng, J. M. y Rincón Ramírez, J. (2017). Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos en la zona de influencia costera de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, ante la elevación de nivel medio del mar asociado al cambio climático. En A. Vázquez Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático* (pp. 193-230). México: Gobierno del Estado de Tabasco / Instituto Nacional de Ecología / Universidad Autónoma de Campeche, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/10/Vulnerabilidad-de-las-Zonas-Costeras-de-Latinoame%CC%81rica-al-Cambio-Clima%CC%81tico.pdf>

**Ricardo Collado Torres** es maestro en Ciencias Ambientales por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Actualmente colabora como técnico en proyectos del Laboratorio de Ecología del Paisaje y Cambio Global, en la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT. Sus líneas de interés son percepción remota y dinámica y vulnerabilidad de las zonas costeras. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6884-431X>

Entre sus publicaciones se encuentran:

Gama Campillo, L., Collado-Torres, R., Díaz-López, H. y Moguel Ordoñez, E. (2019). Estudio de caso: la modificación del paisaje

como indicador de salud ecológica. En A. Cruz, J. Cruz, J. Valero, F. P. Rodríguez, E. D. Melgarejo, E. E. Mata y D. J. Palma (coords.), *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Volumen II* (pp. 160-163). Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20201021145745#>

Gama Campillo, L., Collado-Torres, R., Díaz-López, H., Villanueva-García, C., Macías-Valadez, M. E. y Moguel Ordoñez, E. (2019). El estudio de paisaje: una herramienta para el manejo de los recursos naturales. En A. Cruz, J. Cruz, J. Valero, F. P. Rodríguez, E. D. Melgarejo, E. E. Mata y D. J. Palma (coords.), *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Volumen II* (pp. 153-158). Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20201021145745#>

**María Elena Macías Valadez Treviño** es doctora en Educación por el Centro de Investigación y Posgrado, México. Actualmente es profesora investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Es integrante del cuerpo académico Resiliencia ante el cambio global. Sus líneas de interés son vulnerabilidad de las comunidades al cambio global y percepción de la población a los impactos del cambio global. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4072-827X>

Entre sus publicaciones recientes se encuentran:

Gama Campillo, L. y Macías-Valadez, M. E. (2019). Dimensión social del cambio climático para la implementación de medidas de adaptación socialmente aceptables. *Kuxulkab'*, 23(45), 21-28. <http://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/2071>

Gama Campillo, L. y Macías-Valadez, M. E. (2019). Alternativas para el desarrollo sustentable. En A. Cruz, J. Cruz, J. Valero, F. P. Rodríguez, E. D. Melgarejo, E. E. Mata y D. J. Palma (coords.), *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Volumen II* (pp. 223-227). Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20201021150925#>

Silván-Hernández, O., De la Cruz-Burelo, F., Macías-Valadez, M. E. y Pampillón-González, L. (2017). Theoretical and technical biomass resource assessment from swine and cattle manure in Tabasco: A case study in Southeast Mexico. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, 83-92. <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2017/10/SETA-O.-Silvan-2017.pdf>

**Ena Edith Mata Zayas** es doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad de Plymouth, Reino Unido. Actualmente es profesora investigadora de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Es integrante del cuerpo académico Resiliencia ante el cambio global. Sus intereses de investigación se enfocan en la conservación de mamíferos, biodiversidad y servicios ecosistémicos en agrosistemas, y adaptación al cambio climático. Ha participado en proyectos financiados por Conacyt, Sernapam, Conabio y NSF. Es coeditora de la obra *La biodiversidad de Tabasco. Estudio de estado*, de Conabio. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7673-3081>

Entre sus publicaciones se encuentran:

Sánchez-Díaz, B., Mata-Zayas, E., Gama Campillo, L., Rullan-Silva, C., Vidal-García, F. y Rincón-Ramírez, J. (2019). Use of different spectral vegetation indexes to determine the presence of mantled howler monkeys (*Alouatta palliata* G.) on Cocoa Agrosystems (*Theobroma cacao* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(1), 1279-1297. [http://aloki.hu/pdf/1701\\_12791297.pdf](http://aloki.hu/pdf/1701_12791297.pdf)

Dunn, J. L., Knowlton, J. L., Handler, R. M., Pischke, E. C., Halvorsen, K. E., Mesa-Jurado, M. A., Selfa, T. L., Flaspohler, D. J., Licata, J., Mata-Zayas, E. E., Medeiros, R., Moseley, C., Nielsen, E., Picasso, V., Sacramento-Rivero, J., De Souza, T., Vázquez, V. y Basiliko, N. (2019). Lessons from the transdisciplinary, international BIOPIRE Project. En K. E. Halvorsen, C. Schelly, R. M. Handler, E. C. Pischke, J. L. Knowlton (eds.), *A research agenda for environmental management* (pp. 107-120). Londres: Elgar Research Agendas. <https://doi.org/10.4337/9781788115193>

**José Manuel Figueroa MahEng** es licenciado en Geografía por el Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Labora como técnico académico en el departamento de Geografía Física del Instituto de Geografía de la UNAM, y es asesor de Consultores en Gestión Política y Planificación Ambiental, S.C. Sus líneas de interés son la geografía física, con especialización en cartografía y geomorfología. Es miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Geomorfología, A.C. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5132-5724>

Entre sus publicaciones se encuentran:

- Cyphers, A., Murtha, T., Borstein, J., Zurita-Noguera, J., Luna Gómez, R., Symonds, S., Jiménez, G., Ortiz, M. A. y Figueroa MahEng, J. M. (2010). Arqueología digital en la primera capital olmeca, San Lorenzo. *THULE, Rivista Italiana di Studi Americanistici*, 24-25, 121-144. [https://www.academia.edu/23969427/Arqueolog%C3%ADa\\_digital\\_en\\_la\\_primera\\_capital\\_olmeca](https://www.academia.edu/23969427/Arqueolog%C3%ADa_digital_en_la_primera_capital_olmeca)
- García Aguirre, M. C., Álvarez, R., Dirzo, R., Ortiz, M. A. y Figueroa MahEng, J. M. (2010). Delineation of biogeomorphic land units across a tropical natural and humanized terrain in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Geomorphology*, 121(3-4), 245-256. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X10002102>
- Hernández Santana, J. R., Ortiz Pérez, M. A. y Figueroa Mah Eng, M. (2008). Análisis morfoestructural del estado de Oaxaca, México: un enfoque de clasificación tipológica del relieve. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 68, 7-24. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n68/n68a2.pdf>

Recepción: 7 de octubre de 2019.  
Aceptación: 25 de noviembre de 2020.