

Márquez García, A.Z., E. Márquez García, A. Bolongaro Crevenna Recaséns, y V. Torres Rodríguez, 2010. Cambio en la línea de costa en la Riviera Maya debido a fenómenos hidrometeorológico extremos, ¿Consecuencia del cambio global climático?, p. 345-358. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (ed.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Semarnat-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.

VULNERABILIDAD DE LAS ZONAS COSTERAS
MEXICANAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Cambio en la línea de costa en la Riviera Maya debido a fenómenos hidrometeorológicos extremos, ¿Consecuencia del cambio global climático global?

*A. Z. Márquez García, E. Márquez García,
A. Bolongaro Crevenna y V. Torres Rodríguez*

RESUMEN

Se presenta los resultados de las tasas de erosión y de acumulación presente en 5 sitios localizados en la Riviera Maya, así como un plano de distribución de los procesos de acumulación o erosión presentes en la Riviera Maya obtenidos a partir de la comparación de las líneas de costa definidas de las fotografías aéreas de 1978 e imagen de satélite del área del año 2005 utilizando sistema de información geográfica (SIG): Arc Gis (9.2) y un software para procesamiento digital de imágenes (PDI): Ermapper (7.1). Los resultados muestran que a pesar de incrementarse la intensidad y frecuencia de los huracanes por el cambio global climático, en promedio entre la Riviera Maya, Puerto Morelos y Tulum, existen áreas de erosión y depósito con tasas muy bajas de valores menores a 1 m debido a la presencia de un litoral rocoso, protección de los arrecifes y de la Isla Cozumel. También se hace un análisis de perfiles topográficos de 12 playas de la Riviera Maya, donde se estimó el efecto de la elevación del mar en 0.5 y 1 m cuyo resultado muestra una pérdida del 20 % de las playas y del 90 % respectivamente.

Palabras clave: erosión costera, elevación del mar, huracanes.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la mayor parte de las playas de México y del mundo experimentan procesos de erosión, causados por diferentes procesos antropogénicos: diques, espigones, rompeolas, etc., o naturales como: huracanes, lluvias muy variantes y elevación del nivel del mar, entre otros (Salazar-Vallejo, 1998).

La zona litoral es la más dinámica de todos los ambientes marinos. Las playas y extensiones submarinas de playa no son superficies estables dado que están sujetas a los niveles de energía asociados con el oleaje principalmente (Gutiérrez-Estrada y Montaña-Ley, 1987)

Krumbein y Sloss (1963) mencionan que los procesos que gobiernan la dinámica litoral son los cambios en el nivel del mar, la variación de aporte de sedimentos y los cambios de energía causados por el oleaje y corrientes que causan diferencias en el ancho, profundidad, pendiente y forma de las playas, los cuales varían durante las diferentes épocas del año, siendo las épocas de lluvias donde los cambios son más intensos principalmente por la frecuencia e intensidad de las tormentas.

Actualmente, el papel de la actividad antropogénica también ha contribuido a modificar la zona litoral, desde el momento que construye hoteles, casas, restaurantes, etc., que interrumpe y modifica las playas en su parte continental (supraplaya), hasta la construcción de muelles, espigones, escolleras, rompeolas en la parte marina (infraplaya) que modifican el transporte litoral y la morfología de la playa.

La dinámica costera está determinada por diversos factores físicos y biológicos, entre los primeros destacan, en orden de importancia,

el oleaje, las corrientes marinas y costeras, mareas, cambios del nivel del mar, batimetría, el clima, topografía submarina, las características geológicas de la costa, su tipo y origen; entre los factores biológicos destaca la influencia del ambiente terrestre adyacente, la presencia o ausencia de comunidades biológicas y la existencia o no existencia de una rompiente o laguna arrecifal. Todos estos factores inciden de manera diferencial para esculpir el perfil de la zona litoral y modificarlo continuamente (Sylvatica, 2003).

Un factor muy importante para el sureste del Golfo de México son los huracanes como responsables de los cambios geomorfológicos a lo largo de la línea de costa (Manzano, 1989; Ortiz-Pérez, 1992), donde patrones de acumulación y erosión alteran a lo largo de cientos de kilómetros a las costas de Tabasco y Campeche formando transgresiones marinas que han sido localizados en las últimas décadas (Ortiz-Pérez, 1992)

Actualmente los elementos directamente asociados con el clima como son temperatura, precipitación, viento afectan de alguna forma la morfología de la línea de costa. Diversos estudios que actualmente se han realizado sobre el clima mundial han demostrado un incremento en la temperatura del planeta, lo que repercute en el calentamiento de los océanos dando como resultado un incremento en la frecuencia y la intensidad de los huracanes como lo revela un análisis estadístico basado en datos de los satélites de los últimos 25 años, donde se observa un sensible incremento en la actividad de los huracanes del Atlántico tropical al aumentar la temperatura de la

superficie del océano en agosto-septiembre, se considera que un incremento de 0.5°C de la temperatura de la superficie del océano produce aproximadamente un aumento del 40% de la frecuencia y actividad de los huracanes en relación al promedio de huracanes entre 1950-2000 y el promedio de huracanes de 1995 a 2005 (Saunders y Lea, 2007).

FENÓMENOS CLIMÁTICOS Y LA ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR

En época de Nortes los vientos causan cambios en el nivel del mar causando efectos de acumulación y erosión de sedimentos en la línea de costa sobre todo para el Golfo de México y Mar Caribe causando severos problemas de erosión en la zona costera y sus playas al producir cambios en el nivel del mar, fuertes vientos y altas precipitaciones que mueven grandes cantidades de sedimentos.

Durante las tormentas tropicales los cambios del nivel del mar se dan por cambios de la presión atmosférica donde una mayor presión se tiene un decremento del nivel del mar o viceversa (Carter, 1988). Los fuertes vientos presentes en los huracanes también producen cambios en el nivel del mar de manera temporal en decenas de centímetros hasta unos cuantos metros en lo que se conoce como marea de tormentas que a veces se magnifica en plataformas continentales extensas (Rosenhaus, 1998).

Por otro lado los cambios eustáticos del nivel del mar son causado por el cambio relativo de los volúmenes de las cuencas oceánicas con respecto al total de agua oceánica (Sagahain y Holland, 1991), estimándose a nivel mundial que el cambio del nivel del mar es de 15 cm/

siglo hasta 23 cm/siglo (Hicks, 1978), siendo una de las principales causas el deshielo de los polos y por el incremento de aporte de sedimentos al mar por deforestación y lluvias en la zona continental.

Los cambios en el nivel del mar que se han registrado a nivel mundial causan uno de los mayores efectos en la geología, ecología y desarrollo urbano en las áreas costeras. Un progresivo levantamiento del nivel del mar ha provocado los mayores daños de erosión de la línea de costa.

De acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático en su Segunda Conferencia estimó un aumento de la temperatura del planeta de 2 a 5°C con una elevación del nivel del mar por este fenómeno de 65 cm \pm 35 cm. En los registros hechos por Maaul y Hanson en 1985 se encontró que el nivel del mar tiene un incremento de 0.36 cm/año.

En 1987, Titus cita a varios autores, en los que se encuentra Revelle (1983), quien menciona que el nivel del mar puede subir de 30 a 50 cm en este siglo, 70 cm para el año de 2080; Hoffman *et al.* (1983) estima un ascenso del nivel del mar de 26 a 39 cm para 2025 y de 91 a 136 cm para 2075. La Academia Nacional de Ciencias (NAS) estima que los glaciares pueden elevar el nivel del mar entre 20 y 60 cm.

De antemano, lo que se debe tener en cuenta es el hecho de cualquiera de las predicciones sea cual sea el método y sus escenarios, de cualquier forma la tendencia es una elevación del nivel del mar en gran parte por el Cambio Climático Global.

Las consecuencias del cambio de nivel se ven reflejadas en inundaciones, en intrusión de cuña salina y erosión de la costa (Wayne *et al.*, 1993). Esto provoca una pérdida de hume-

dales y por lo tanto la destrucción de una barrera contra las mareas y oleaje de tormentas provocando que el oleaje impacte en forma erosiva sobre todo a la zona de supraplaya.

Un incremento del nivel del mar aumenta la profundidad de la columna de agua, disminuye la fricción del fondo y entonces un oleaje con mayor energía se presenta en la línea de costa. Por ejemplo, si se elevara 1 m el nivel del mar sobre una plataforma de 10 m de ancho y 10 m de profundidad, una ola existente su altura se incrementaría un 3% y se generarían olas locales con un incremento de su altura de 7.5%. El subir el nivel del mar 1 m, sería catastrófico para bahías someras, estuarios y lagunas donde se generarían olas de mas de 0.75 m de altura en sitios donde no existían (Wells, 1995).

Para el Golfo de México, Sánchez-Santillán, *et al.* (2005) hace una estimación de la tendencia del nivel medio del mar en 6 puertos del Golfo de México con un aumento promedio de 10.94 cm en los últimos cuarenta años,

teniendo a los puertos de Tuxpan y Tampico con los valores más altos de 22.5 cm y 17.9 cm, respectivamente. El incrementar la profundidad, el oleaje se acercará más al litoral incrementando la erosión por el oleaje.

En la Riviera Maya las características morfológicas y geológicas son de una plataforma calcárea sin ríos superficiales que aporten sedimentos para la formación de playas, siendo los arrecifes y la erosión del mismo litoral rocoso las fuentes principales de sedimentos formadores de estas playas. Su distribución depende de las corrientes litorales y marinas principalmente, que junto con los efectos de viento, mareas de tormentas y oleaje presentes durante los nortes y huracanes son los responsables de la modelación de las playas de manera natural aunque debe de analizarse el efecto antropogénico.

La Riviera Maya se localiza en la zona de trayectoria de los huracanes (figura 1) generados en el Atlántico por lo cual son uno de los principales fenómenos naturales que afectan

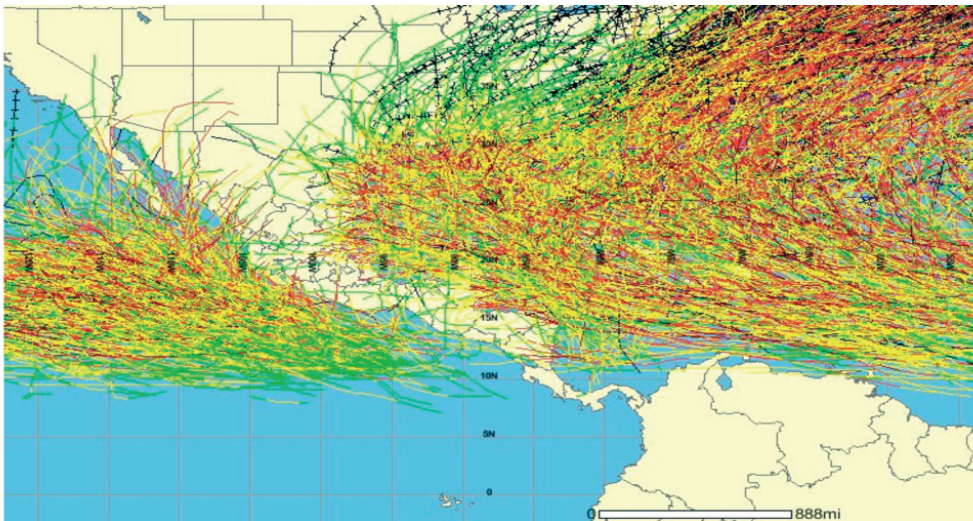


Figura 1.-Trayectoria de huracanes en los últimos 25 años en la república mexicana. NOAA (2006-04-13).

la zona litoral, por lo cual es muy importante evaluar los procesos de acumulación-erosión presentes en la línea de costa que permitan conocer la tendencia de la línea de costa en una zona de alta actividad turística como lo es la Riviera Maya.

Por ejemplo, cuatro de los seis huracanes más intensos de los que se tiene registro se formaron en el 2005, con Wilma con el número uno con una presión mínima de 882 mbar, rompiendo el récord impuesto por el huracán Gilbert en 1988. Los huracanes Emily, Rita y Katrina fueron categoría 5, siendo Rita y Katrina los cuarto y sextos lugares, respectivamente, en intensidad. La temporada del 2005 es la única temporada que ha tenido cuatro huracanes categoría 5 desde que se tiene registro.

Los modelos más recientes presentados durante la Reunión del Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) celebrado en París en Febrero de 2007 muestran que el incremento esperado de la temperatura promedio a finales del siglo XXI, con los diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, será de 1.8°C a 4°C. (Considerando la incertidumbre de dichos escenarios, ésta puede variar de 1.1°C a 6.4°C). Por su parte el aumento esperado del nivel del mar, según diferentes escenarios, para fines del siglo XXI podría ser de 18 a 59 cm. Como consecuencia de lo anterior, los ciclones tropicales y huracanes serán más intensos, con mayor cantidad de lluvia y velocidad del viento.

Para el caso del Golfo de México y Mar Caribe la temperatura de la superficie del mar en el podría aumentar entre 1 y 2° C, favoreciendo las probabilidades de que los ciclones

tropicales alcancen las categorías mayores en la escala Saffir-Simpson. Por lo que es necesario estudios que midan los procesos de erosión-acumulación y tasas de erosión que se presenta en la línea de costa a causa de estos fenómenos

Trabajos relacionados con evaluar la erosión o acumulación en la línea de costa utilizando imágenes de satélite y/o fotografías aéreas para la zona litoral de México son mínimas. Uno de los estudios más recientes fue realizado por Hernández-Santana *et al.* (2008) con una investigación sobre la tendencias morfodinámicas en el margen costero estatal del estado de Tabasco mediante el uso de información cartográfica y mediciones geomorfológicas de campo en los años 2003 y 2004, donde se menciona a Sánchez Magallanes con una tasa de erosión de 3 a 5 m al año y la desembocadura del río San Pedro y San Pablo, con 8 a 9 m al año de retroceso.

El desarrollo de centros urbanos, actividad industrial y el desarrollo turístico en la zona litoral hacen necesario contar con este tipo de investigaciones de toda la República Mexicana con el fin de contar con la información sobre los procesos de erosión-depósitos presentes en la línea de costa que permitan la toma de decisiones sobre el uso y manejo adecuado de la zona costera, determinando la vulnerabilidad de la línea de costa.

Por lo que en el presente trabajo, se plantea determinar en algunos sitios de la zona litoral de la rivierra maya los procesos de acumulación-erosión presentes y medir las tasas de erosión a partir de un método rápido y de alta precisión utilizando imágenes de satélite de alta resolución de diferentes épocas y fotografías aéreas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Establecer el posible efecto de los fenómenos hidrometeorológicos extremos (huracanes) en la línea de costa de la rivierra maya y el efecto del aumento del nivel del mar por el cambio global climático.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Cuantificar las tasas de erosión de la línea de costa de la rivierra maya con apoyo de imágenes de satélite y fotografías aéreas.
- Conocer la evolución y tendencias a futuro de algunas playas de la rivierra maya por variaciones del nivel del mar

METODOLOGÍA

La reconstrucción histórica de la línea de costa se realizó a escala regional (1:50 000). El período de observación fue de 1978 a 2005, a partir de los documentos cartográficos siguientes: fotografías aéreas escala 1: 50 000 de 1978 e imagen satelital Ikonos de 4 m de resolución del año 2005, todas ellas en formato raster.

Los resultados del análisis litoral de la Rivierra Maya comprendió 5 sitios localizados entre Puerto Morelos y Tulúm, cuya comparación presentó una mayor georreferenciación y mínima distorsión entre la línea de costa obtenida de las fotografías aéreas del año 1978 y la obtenida por la imagen de satélite del 2005 (figura 2).

En el presente caso del Sistema de Información Geográfica (SIG) se empleó para integrar información digital y convertir formatos de proyecciones en uno común WGS84 (Sistema Geodésico Mundial), mientras que el PDI (Proceso Digital de Imágenes) se empleó para georreferenciar imágenes a partir de puntos

de campo (control) conocidos, así como para realizar mejoramientos digitales para realzar la interfase agua continente y visualización de la vegetación, parámetros ambos muy útiles para configurar la línea de costa.

Todo el material cartográfico y digital utilizado se convirtió a la proyección Universal Transversa de Mercator para la Zona 15 sobre un esferoide definido por WGS84. Para ello se emplearon un software para un sistema de información geográfica comercial (SIG): Arc Gis (9.2) y un software para procesamiento digital de imágenes (PDI): Erdas (7.1).

Por otro lado se analizó la información de Márquez-García *et al.* (2006) sobre perfiles topográficos de playa realizados en noviembre del 2004 (nortes), marzo del 2005 (secas) y agosto del 2005 (lluvias) en la rivierra maya estimando el posible efecto de la elevación del mar a 50 cm y 1 m de altura.

La información obtenida se comparó con el número de huracanes extremos en el Atlántico para un período de 1988 al 2005.

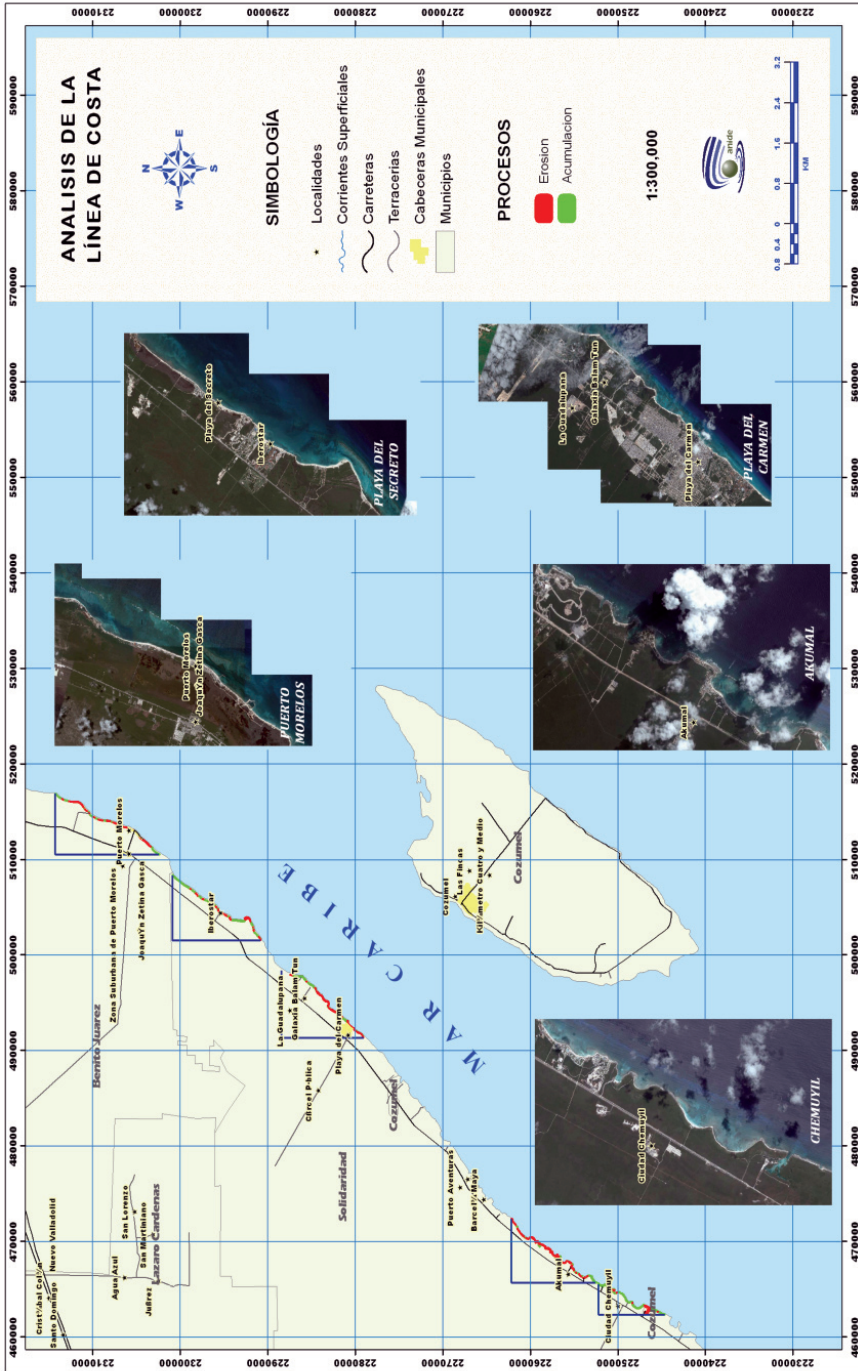


Figura 2. Análisis de la línea de costa y procesos de acumulación y erosión en 5 secciones de la Riviera Maya.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presenta una cuantificación de los procesos de erosión y depósito presentes en los 5 sitios analizados de la Riviera Maya, en el que se tiene un mayor crecimiento de playa en Chemuyil con un promedio de 38 m a lo largo de 11.5 km de longitud, mientras que el menor crecimiento fue de cerca de 6 m en Puerto Morelos en una longitud promedio de 14 km de línea de costa para un intervalo de 27 años. Por otro lado la mayor erosión de 17 m presente en la línea de costa se tiene en Akumal en una longitud promedio de 14 km y la menor erosión de 8 m en Playa Secreto en Punta Venado para una longitud promedio de cerca de 14 km para el mismo intervalo de tiempo (figura 3).

A partir de ello se estimó una tasa de acumulación que varía desde 22 cm/año en Puerto Morelos hasta 1.42 m/año en Chemuyil y una tasa de erosión de 32 cm/año en playa Secreto y 65 cm/año en Akumal. Estos resultados difieren grandemente si comparamos la tasa de erosión de 3 a 5 m/año para Sánchez Magallanes y 8 a 9 m/año en el río San Pedro y San Pablo en el Golfo de México (Hernández *et al*, 2008; Ortiz-Pérez, 1992).

PERFILES DE PLAYA

En la figura 4 se presentan 12 sitios de playa de la Riviera Maya donde se tiene un registro de perfiles topográficos de playa: Punta

Tabla 1. Valores de acumulación y erosión presentes en la Riviera Maya.

Acumulación						
ID	Sitio	Area litoral (m ²)	Longitud del litoral (m)	Intervalo (años)	Desplazamiento Total (m)	Desplazamiento Anual Promedio (m/año)
1	Puerto Morelos	82 257	14 007	27	5.87	0.22
2	Playa del Secreto	286 031	13 755	27	20.79	0.77
3	Playa del Carmen	153 645	12 769	27	12.03	0.45
4	Akumal	148 798	16 198	27	9.19	0.34
5	Chemuyil	443 478	11 568	27	38.34	1.42
Erosión						
ID	Sitio	Area litoral (m ²)	Longitud del litoral (m)	Intervalo (años)	Desplazamiento Total (m)	Desplazamiento Anual Promedio (m/año)
1	Puerto Morelos	128 770	14 007	27	9.19	0.34
2	Playa del Secreto	120 682	13 755	27	8.77	0.32
3	Playa del Carmen	207 472	12 769	27	16.25	0.60
4	Akumal	282 527	16 198	27	17.44	0.65
5	Chemuyil	107 413	11 568	27	9.29	0.34

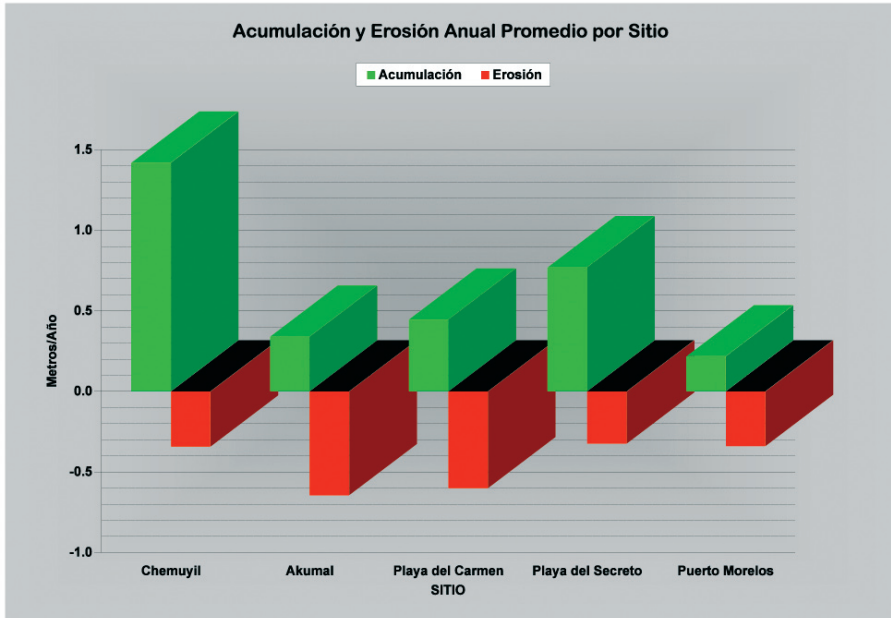


Figura 3. Tasas de acumulación y erosión presentes en la Riviera Maya.

Maroma,, Tres Ríos, Capitán Lafitte, Playa Esmeralda, los muelles fiscal, calle 14 y muelle ultramarino de Playa del Carmen, Punta Venado, Paa-mul, Akumal, X-Cacel y Tulum, publicados por Márquez-García *et al.* (2006), cuyo análisis se muestra en la tabla 2.

Se consideró las características morfológicas de las playas como son la altura de la supraplaya con respecto al nivel del mar y su longitud de las mismas, a partir de ello se estimó el impacto del nivel del mar si se eleva 0.5 m y 1 m de altura con respecto al nivel actual, si el nivel del mar sube 50 cm, las playas al norte de la Riviera Maya como son Punta Maroma y Tres Ríos desaparecerán, mientras que playas al Sur de la rivierra disminuirán su longitud considerando longitudes de 10m a 30 m en Akumal, X-Cacel y Tulum, pero, si el nivel del mar se eleva hasta 1 m, gran parte de las playas desaparecerían sobre todo al

Norte de la rivierra, mientras al Sur tendrían playas de menos de 10 m de longitud excepto Tulum que presentaría una extensión máxima de 20m.

Esta estimación no considera los posibles cambios que existieran por huracanes, disminución de transporte litoral o la construcción de alguna obra civil, entre otros procesos o actividades.

Al analizar los perfiles de playa en un año de monitoreo Marquez *et al.* (2006) muestran que la Riviera Maya tiene una predominancia de playas acumulativas-erosivas, aunque de alguna manera el proceso erosivo esta presente en varias partes de las diferentes playas de la Riviera Maya. Estos resultados también coinciden con los resultados de la comparación de la línea de costa obtenidas de las imágenes de satélite.

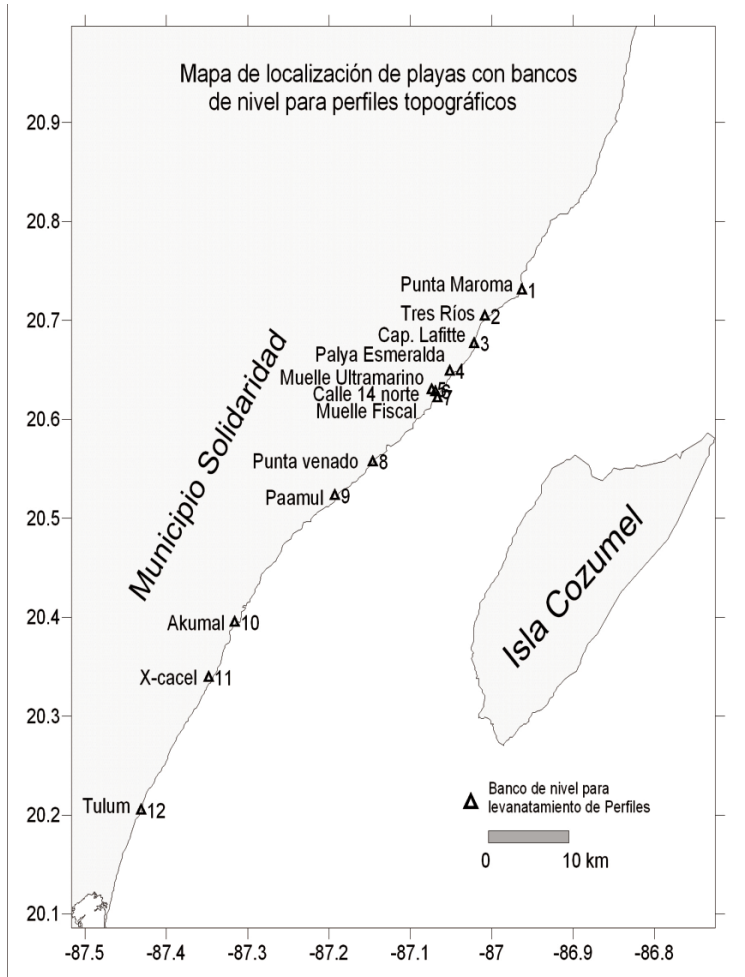


Figura 4. Localización de los perfiles de playa levantados en la Riviera Maya. (Márquez García *et al.*, 2006).

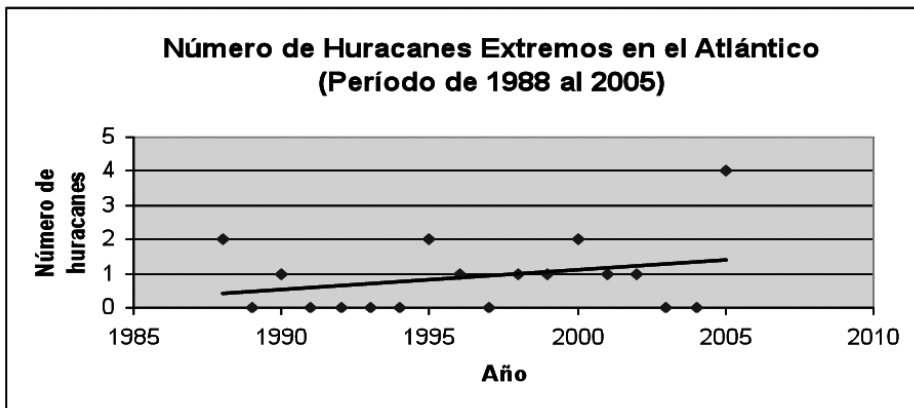
HURACANES EXTREMOS

Si consideramos los eventos hidrometeorológicos extremos que se han presentado en el Atlántico (Blake *et al.*, 2007), se hizo un análisis de la frecuencia de los huracanes extremos de 1988 al 2005 donde se puede observar una tendencia de aumento de la frecuencia hacia el 2005, que culminó con 4 huracanes de categoría 5 en el 2005, (figura 5), resultado del cambio global climático.

Sin embargo, a pesar de tener un incremento en el número de fenómenos hidrometeorológicos extremos, la erosión costera en las playas de la Riviera Maya no ha sido considerable como lo demuestran la presencia de playas erosivas-acumulativas con una tasa de erosión de menos de 1 m, por lo que se debe efectuar un trabajo detallado de la costa de la Riviera Maya de las causas locales de erosión como es la actividad turística, obras civiles como espi-

Tabla 2. Características morfológicas y tipo de playa de sitios en la Riviera Maya con estimación del impacto en su longitud si el nivel del mar se eleva 0.5 m o 1 m.

Playa	Nivel de supraplaya (m)	Longitud de playa (m)	Longitud de playa (m) por elevación del nivel del mar (50 cm)	Longitud de playa (m) por elevación del nivel del mar (1 m)	Tipo de playa
Punta Maroma	0.4 a 1.2	16 a 50	0	0	Erosiva
Tres Ríos	0.2 a 0.7	6 a 12	0	0	Acumulativa-erosiva
Capitán Lafitte	0.5 a 2.2	16 a 35	15 a 0	0	Acumulativa-erosiva
Playa Esmeralda	0.2 a 1.2	16 a 25	5 a 0	0	Acumulativa-erosiva
Muelle Ultramarino	0.5 a 1.2	30 a 35	10	0	Acumulativa-erosiva
Calle 14	0.5 a 1.0	20 a 40	10	0	Acumulativa-erosiva
Muelle Fiscal	1.0 a 1.5	7 a 40	1 a 10	0	Acumulativa-erosiva
Punta Venado	1 a 2	10 a 50	2 a 20	0 a 10	Erosiva
Paa-mul	1.5 a 2	14 a 40	10 a 20	0 a 10	Estable
Akumal	1.5 a 3	5 a 20	10 a 15	0 a 5	Acumulativa
X-cacel	1 a 2	10 a 40	8 a 20	0 a 10	Acumulativa-erosiva
Tulum	1.5 a 3	20 a 50	15 a 30	5 a 20	Acumulativa

**Figura 5.** Número de huracanes extremos en el Atlántico durante el período de 1988 al 2005).

gonas, muelles, hoteles, factores biológicos, como el papel que juegan los arrecifes y la presencia de manglar, entre otros factores.

Es importante, considerar que la existencia de una playa depende de 4 factores:

- 1) Fuente de sedimentos
- 2) Transporte litoral
- 3) Condiciones de energía de oleaje, corrientes y mareas no extremas.
- 4) Nivel del mar estable

Para el caso de la rívera, la fuente de sedimentos es principalmente de origen biogénico, es decir, proviene de la erosión de la zona arrecifal y del material calcáreo de los litorales rocosos presentes en el área.

El transporte litoral en la rívera presenta interrupción de manera natural por puntas y litorales rocosos, además de la construcción de espigones, rompeolas, y obras civiles asociadas a la protección hotelera, lo cual produce áreas acumulativas y áreas erosivas.

Los efectos causados por oleaje, marea y corrientes presentes en nortes y huracanes, en cierta forma son disminuidos por la presencia de manglares, de la zona arrecifal y de la isla de Cozumel, sin embargo donde no se tiene esta protección la vulnerabilidad aumenta, sobre todo si se considera que la frecuencia e intensidad de huracanes se presenten más continuamente.

Finalmente el incremento del nivel del mar, es un proceso a largo plazo pero que ya está presente y debe ser considerado dentro de los problemas de erosión de costas.

La dinámica de las playas es muy compleja donde intervienen diferentes factores desde los geológicos, oceanográficos y antropogénicos que para cada playa intervienen de diferente manera por lo que cada playa debe ser estudiada de manera local, sin dejar de tomar en cuenta el contexto regional.

CONCLUSIONES

A pesar de ser una zona de paso de huracanes, con un incremento en categoría y frecuencia, la tasa de erosión y/o acumulación son bajas de menos de 1 metro en comparación a las presentes en el sur del Golfo de México, esto debido a la presencia de un litoral rocoso en la línea de costa con una protección natural que representan los manglares y arrecifes presentes en la zona litoral y de alguna forma la presencia de la isla de Cozumel.

El impacto del nivel del mar si se estima un incremento por el cambio global climático de 50 cm desaparecerán 20 % de las playas pero si se eleva 1 m el nivel del mar 90 % de las playas actuales desaparecerá.

En el desarrollo de centros urbanos y el desarrollo turístico en la zona litoral hacen necesario contar con este tipo de investigaciones con el fin de contar con la información sobre los procesos de erosión-depósito presentes en la línea de costa que permitan la toma de decisiones sobre el uso y manejo adecuado de la zona costera y determinar la vulnerabilidad de la línea de costa por el cambio global climático que comprende elevación del mar, frecuencia e intensidad de huracanes y nortes.

RECOMENDACIONES

En la Riviera Maya como en la zona litoral de todo el país esta expuesta a fenómenos meteorológicos extremos y de la elevación del nivel del mar como resultado del cambio global climático por lo que se recomienda:

- Llevar a cabo un programa de vulnerabilidad de la zona costera por fenómenos hidrometeorológicos extremos y cambios del nivel del mar que contemple un monitoreo nacional y permanente que permitan identificar los cambios en la zona litoral para proponer las medidas de mitigación pertinentes.
- En la Riviera Maya es necesario llevar un monitoreo permanente a detalle

de la dinámica de los sitios de erosión-deposito y evaluar el efecto de los huracanes, nivel del mar (cambio global climático) y de los efectos antropogénicos que permitan evaluar las causas principales de erosión y tomar las medidas de mitigación necesarias.

Se recomienda que para conservar una playa se tome en cuenta la existencia de una fuente continua de sedimentos, un transporte litoral sin interrupciones y la protección de las playas a los fenómenos hidrometeorológicos extremos.

LITERATURA CITADA

- Blake, E.S., E.N Rappaport, y C.W. Landsea, 2007, The deadliest, costliest and most intense United States tropical cyclones from 1851 to 2006 (and other frequently requested hurricane facts), NOAA Technical Memorandum NWS TPC-5 , 43p.
- Carter, R.W.G., 1988. Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological, and Cultural Systems of Coastlines; Academic Press, London, UK.
- Gutiérrez-Estrada y Y. Montaña-Ley, 1987. Control de perfiles de playa en el área de Mazatlán, Sinaloa, México. *An.Inst.Cienc. del Mar*.
- Hernández-Santana, J.R., M.A. Ortiz-Pérez, A.P. Méndez-Linares, y L. Gama-Campillo, 2008. Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. Boletín No. 65 del Instituto de Geografía.
- Hicks, S.D., 1978. An Average Geopotential Sea Level Series for the United States, *Journal of Geophysical Research*, ; 83(C3): 1377-1379.
- Hoffman, J.S., D. Keyes, D., y J.G. Titus, 1983. Projecting future sea level rise. Methodology, estimates to the year 2100, and research needs; Report 230-09-007. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Krumbein, W.C., y L.C. Sloss, 1963. Stratigraphy and Sedimentation, W.H. Freeman company, San Francisco, 660 p.
- Manzano, O., 1989. Estudio geomorfológico para la zonificación de las áreas de manejo de la reserva de la Biosfera los pantanos de Centla, Tabasco. Bsc thesis, Colegio de Geografía UNAM, México.

- Márquez-García, E., S. Flores-Erazo, A. Márquez-García, y V. Pérez Aguilar, 2006. Cambios por erosión y acreción de las playas del Municipio de Solidaridad, p. 45-57. En: M.J. Bello, G. De la Lanza-Espino, y G. Pérez de la Fuente, (eds.). Comunidad arrecifal de las playas en la Riviera Maya. Revista del Medio Ambiente, Turismo y Sustentabilidad, Vol. 2, núm. 1, Universidad del Caribe.
- Maul, G.A., y K. Hanson, 1985 A Century of Southeastern United States Climate Change Observations: Temperature, Precipitation and Sea Level. Global Change: A Southern Perspective. Southeast Regional Climate Center Colombia, SC, p. 139-155.
- NOAA, 2006. NOAA reviews record-setting 2005 Atlantic hurricane season”, National Oceanic and Atmospheric Administration. Retrieved on 2006-04-26.
- Ortiz P., M.A., 1992. Retroceso reciente de la línea de costa del frente deltaico del río San Pedro, Campeche- Tabasco. *Boletín Instituto de Geografía*, 25: 7-23.
- Rosengaus M., 1998. Efectos destructivos de ciclones tropicales. MAPFRE. 251p
- Sahagian, D.L., y S.M.Holland, 1991. Eustatic sea-level curve based on a stable frame of reference: Preliminary results. *Geology*, 19: 1208-1212.
- Salazar-Vallejo, S. I., 1998. Calentamiento global y efectos costeros. *Ava. Cient*, 25:10-20.
- Sánchez, S. N., L.R. Garduño, y R. P. Negrete, 2005. Análisis del nivel del mar en seis puertos del Golfo de México a través de un método alternativo. UAM-Xochimilco. UNAM.
- Saunders M. A., y S. Adam Lea, 2008. Large contribution of sea surface warming to recent increase in Atlantic hurricane activity. *Nature* 451: 557-560.
- Sylvatica S.C., 2003. Manifestación de impacto ambiental: modalidad particular. Tomo L Proyecto integral de recuperación y protección de playas con Epc-kanaab en el litoral norte, Punta Cancún , Quintana Roo. 252 p.
- Titus, J., 1987. Sea level rise and wetland loss: an overview Greenhouse effect; sea level rise and coastal wetlands, EPA (Environmental Protection Agency). US. pp. 1-35.
- Wayne, L., M., L. Byrnes, S. Bristsch, P. Penland, T. Wilkey, T. Williams, y J. Williams, 1993. A method for classifying land loss by geomorphology and process. p. 85-95. *In: American Society of Civil Engineers. Coastlines of the Gulf of México*. Nueva York.
- Wells J.T., 1995. Effects of Sea Level Rise on Coastal Sea Level Rise on Coastal Sedimentation and Erosion, p. 260. *In: D. Eisma (ed.) Climate Change Impact on Coastal Habitation*.