

Estudio de la erosión costera en Cancún y la rívera Maya, México

Study of coastal erosion in Cancun and rívera Maya, Mexico

Pedro Guido Aldana¹, Adriana Ramírez Camperos², Lucio Godínez Orta³, Sergio Cruz León³ & Arturo Juárez León⁴

1. Dr., Especialista en Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – IMTA

2. C. Dra. en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM

3. Drs., Profesores - Investigadores, Instituto Politécnico Nacional - IPN

4. M Sc., Profesor - Investigador, Instituto Politécnico Nacional - IPN

pedroguido@tlaloc.imta.mx

Recibido para evaluación: 18 de Agosto de 2009 / Aceptación: 18 de Septiembre de 2009 / Versión Final: 1 de Octubre de 2009

Resumen

La zona turística de Cancún y la Riviera Maya en el estado de Quintana Roo, constituye uno de los desarrollos turísticos más modernos e importantes de México. La actividad turística en esta zona es considerada actualmente como un renglón estratégico de la economía nacional. Debido a su ubicación geográfica, la región en estudio es altamente vulnerable a los ciclones tropicales. Mediante visitas técnicas y el análisis de imágenes satelitales, especialistas del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, de la Universidad Nacional Autónoma de México y del Instituto Politécnico Nacional se dieron a la tarea de estudiar las posibles causas de la erosión costera con el fin de proponer algunas soluciones. Para lograr tal objetivo, la zona turística se caracterizó de acuerdo con su problemática particular. El análisis de la información obtenida permite afirmar que las causas de la erosión son tanto naturales (interacción de procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera) como antropogénicas (ocupación de la duna litoral por parte de particulares, construcción desordenada de obras de protección). Pudo concluirse que las soluciones propuestas para detener la erosión costera deberían seleccionarse desde un punto de vista integral y además deberían ser blandas como lo es la alimentación artificial con arena.

Palabras Clave: Erosión de playas, Procesos costeros, Alimentación artificial con arena, Tubos de geotextil.

Abstract

Riviera Maya is a tourist resort of Cancun and Cozumel Island located in Quintana Roo State, Mexico. It constitutes one of the more modern and important developments in the country due to significant employment generated by affluent visitors. Tourist activity in this zone is considered at the moment as a strategic field for the national economy. Due to its geographic location, this area is highly vulnerable to tropical cyclones. Through technical visits and the analysis of satellite images, specialist of the Mexican Institute of Water Technology, National Autonomous University of Mexico and National Polytechnic Institute studied possible coastal erosion causes and proposed some solutions. To raise this objective, the touristic zone was characterized in accord with their individual problematic. Analysis of the obtained information allows to establish that erosion causes are as much natural (interaction of climatic, meteorological, hydrodynamic and sedimentary processes with the coastal morphology) as anthropogenic (coastal dune occupation and disorderly construction of beach protection structures). Solutions proposed to stop beach erosion progress should be selected from an integral point of view and should be also soft (beach nourishment).

Key Words: Beach erosion, Coastal processes, Beach nourishment, Geotextil tubes.

1. Introducción

El extremo oriente de la Península de Yucatán, al sur de la República Mexicana, limita con el mar Caribe y es conocido como la Riviera Maya, dada la influencia de esta conocida cultura prehispánica a lo largo y ancho de este territorio. Es en esta zona donde se sitúa uno de los desarrollos turísticos más modernos e importantes de México, cuya expansión se viene produciendo desde la década de los 70's. Dada la gran afluencia de visitantes y los numerosos empleos directos que se generan, la actividad turística en esta zona es considerada actualmente como un renglón estratégico de la economía nacional. Desafortunadamente el estado de Quintana Roo se ubica dentro de la franja con mayor incidencia de las trayectorias de huracanes, lo que lo hace altamente vulnerable a los mismos. Es así como la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos en los últimos años, ha ocasionado cuantiosos daños a la infraestructura hotelera y ha afectado significativamente la estabilidad de las playas. Es necesario sumar a lo anterior a las externalidades negativas producto de la expansión hotelera en la zona.

Además de las modificaciones a la dinámica del sistema costero que han sido inducidas por la construcción masiva de vías y hoteles, dos eventos atmosféricos han sido de particular importancia por los daños ocasionados a las playas en la Riviera Maya: el huracán Gilberto en 1988 y el Willma en el 2005. Al paso de estos huracanes, además del colapso de gran parte de las líneas de conducción y transmisión y de los severos daños sufridos por edificaciones hoteleras y viviendas, se produjo una gran pérdida de arena en las playas con la consecuente reducción de sus anchos y quedando al descubierto el estrato rocoso en algunos de la isla barrera de Cancún. Las zonas de selva y manglar existentes en la zona padecieron un grave deterioro mientras que varios tramos de la barrera arrecifal en la zona de la isla de Cozumel colapsaron.

La erosión costera es un fenómeno natural que se origina por la interacción de los procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera y con la batimetría del fondo de la zona cercana a la costa, lo que ocasiona un retroceso de la línea de costa. El cambio climático es un factor que cada día toma mayor importancia dada la sobre elevación del nivel del mar y el incremento en la frecuencia

e intensidad de las tormentas tropicales, entre otros. La problemática de erosión de playas que se está presentando en la zona turística de Cancún y Cozumel obedece a la combinación de estos complejos fenómenos naturales, así como también a las acciones a veces irresponsables del hombre en su afán por explotar los recursos naturales sin considerar la sustentabilidad de los mismos. De esta forma, la configuración costera puede ser alterada, aumentando la vulnerabilidad, poniendo en riesgo o causando daños a este frágil sistema, (Azuz 2004; Arriaga et al, 2004). Es de resaltar que los procesos erosivos que se observan en la Riviera Maya, también se están presentando en otras playas del Caribe (PNUMA, 2003).

Dentro de este contexto, surge la necesidad de conocer más sobre los orígenes de la problemática de la erosión en la Riviera Maya, entender la compleja dinámica costera con el fin de hacer un diagnóstico de la situación actual y de esta forma poder plantear alternativas de solución en el corto y en el largo plazo. En el presente artículo se presentan algunos antecedentes sobre el desarrollo de la zona turística de la Riviera Maya, la problemática de erosión existente en la zona, se analizan sus posibles causas, se comentan las acciones realizadas a la fecha, se analiza la dinámica de los sedimentos en la zona y finalmente se dan algunas conclusiones y recomendaciones. Las visitas técnicas realizadas a la zona y el análisis de imágenes satelitales permitieron elaborar un mapa conceptual de la dinámica de los sedimentos. Es de anotar que la información existente a la fecha, no solo es limitada, sino también está enfocada principalmente a la isla barrera de Cancún. La mayor parte de la información ha sido generada por el grupo de Oceanografía de la Comisión Federal de Electricidad - CFE y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (mediante tesis de maestría y doctorado que pueden consultarse en la biblioteca central de esta universidad), a solicitud del Gobierno de Quintana Roo.

2. Antecedentes

La historia de la Riviera Maya es relativamente reciente. En el caso particular de Cancún, este destino surgió en el escenario turístico a principios de la década de los 70's, luego de que el presidente Díaz Ordaz encargara al Banco de México un Plan

Nacional de Turismo. En pocos años se transformó y de ser una isla de pescadores rodeada de selva virgen y playas poco conocidas, pasó a ser un centro turístico mexicano reconocido en el mundo con una derrama económica superior a los cinco mil millones de dólares anuales (Hernández, 2008). En el caso de

Playa del Carmen, hasta mediados de los años ochenta era un pequeño pueblo de paso, pero en las últimas dos décadas se ha transformado vertiginosamente al ritmo del crecimiento del turismo y en la actualidad ofrece una serie de atracciones en sus alrededores.



Figura 1. Localización de la zona de estudio a) Sector norte de Cancún en 1970 b) Vista actual del sector norte de Cancún y su desarrollo turístico (fotografías aéreas tomadas de norte a sur)

Los huracanes presentados en los últimos años, especialmente en las zonas del Caribe Mexicano y en América Central, han provocado cambios constantes en las configuraciones costeras. En el caso particular de Cancún y la Riviera Maya hay además factores antropogénicos involucrados y que tienen que ver con el crecimiento y expansión de la zona turística, actividades que se han desarrollado sin considerar las afectaciones a la dinámica costera, a la morfología de la zona, al paisaje y a los ecosistemas existentes en la zona, ver Figura 1. Resulta de gran interés citar algunos eventos sobresalientes en la historia de Cancún y la Riviera Maya y los que han incidido en la problemática de pérdida de playas (Fuente: Fondo Nacional del Turismo, México):

- 1968: el presidente Días Ordaz encarga al Banco de México un plan Nacional de Turismo.
- 1969: el banco de México crea Infratur (hoy día FONATUR) para estudiar las zonas con el mayor potencial para el turismo, quedando como áreas seleccionadas Quintana Roo e Ixtapa Zihuatanejo.
- 1970: como parte del Plan Maestro que dio origen a Cancún, se hizo el relleno de algunas zonas para que el ancho de la isla barrera fuera de 250 a 300 metros, y de esta forma cupieran los grandes hoteles y se pudiera instalar lo que hoy se conoce como el campo de golf Pok Ta Pok.
- 1972: se coloca la primera piedra del primer hotel.
- 1973: se autoriza la construcción del canal Sigfrido, cinco kilómetros al oeste de Punta Cancún, para conectar el mar con las lagunas y de esta forma mejorar la calidad ambiental de las mismas que empezaban a contaminarse.
- 1974: se inauguran los hoteles Cancún Caribe y el Playa Blanca. Inicialmente no contaban con agua potable ni sistemas de drenajes, por lo cual se construyeron fosas sépticas. Se continúa con la construcción masiva de hoteles, invadiendo la duna y las playas. La red de drenaje en el subsuelo se ve afectada por las cimentaciones de las nuevas y numerosas estructuras. Se cierran bocas naturales impidiendo la interacción entre el mar y las lagunas costeras. Se inicia un marcado deterioro del medioambiente del cual un ejemplo es la contaminación de la laguna de Nichupté, debido al vertimiento indiscriminado de aguas negras.

- 1988: el paso del huracán Gilberto de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson el 13 y 14 de septiembre afectó drásticamente el norte de la Península de Yucatán, en particular a Cancún. Las actividades turísticas se suspendieron durante una semana. Gilberto ocasionó una pérdida sustancial de playa al tiempo que destruyó un millón de hectáreas de bosque tropical y manglar sólo en el estado de Quintana Roo.

- 2005: el 21 de octubre se presenta el huracán Wilma en la Península de Yucatán, ver Figura 2; se clasificó en la categoría 4. Hubo un marcado decremento en los anchos de las playas de la Zona Hotelera. Fue necesaria la intervención de las autoridades federales y estatales para recuperar las playas.



Figura 2. Panorámica de Cancún luego del paso del huracán Wilma en el 2005

• 2006: el 19 de mayo, el gobierno federal, estatal y la Secretaría de Turismo entregaron oficialmente las obras de recuperación de 11.5 km de playas erosionadas en la Zona Hotelera de Cancún,

restableciéndose su anchos a unos 25 m. La empresa Mexicana de Dragados, filial en México de la compañía belga Jan de Nul estuvo a cargo de los trabajos (ver Figuras 3 y 4).



Figura 3. Sector norte de Cancún luego de la colocación de arena y los geotubos (poco visibles para un turista inadvertido)



Figura 4. Imagen de satélite de la isla barrera de Cancún después de las actividades de alimentación artificial con arena en el 2006. Los anchos de playa seca superan los 25 m

- 2007: se presenta el Huracán Dean, el más intenso registrado en la zona desde el Huracán Wilma en el 2005.
- 2009: a partir del mes del primero de noviembre se inician los trabajos de vertido de arena en las playas de la isla barrera de

Cancún con el fin de mejorar los anchos de playa seca y lograr al menos 30 m. La empresa Mexicana de Dragados, filial en México de la compañía belga Jan de Nul realiza los trabajos (ver Figura 5).



Figura 5. Inicio de actividades de vertido de arena en las playas de la isla barrera de Cancún el primero de noviembre de 2009

Luego de esta revisión cronológica de eventos, se puede afirmar que el huracán Gilberto fue el acontecimiento que alertó sobre la vulnerabilidad de la zona turística, mientras que el huracán Wilma obligó a las autoridades locales y federales a la toma de acciones inmediatas que consistieron en el bombeo de 2.7 millones de m³ de arena en el 2006 y la instalación de 1.5 km de geotubos en el 2007 para regenerar las playas de Cancún, ver Figura 3. Con relación a los geotubos, ya se tenía alguna experiencia previa en sectores cercanos (Álvarez et al, 2006). En el caso de las playas de Playa del Carmen, aún no se llevan a cabo acciones de recuperación. La invasión de la duna y la pérdida de los manglares amplifican el problema de erosión y por ende la pérdida de playas (Silvester y Hsu, 1997). Asimismo se han identificado zonas críticas que merecen especial atención por ser más vulnerables debido a que en ellas se concentra la mayor parte de la energía del oleaje, como es el caso de la zona central de la isla barrera de Cancún y algunos sectores de las playas de Playa del Carmen. El huracán Dean (2007) puso a prueba las obras de protección y regeneración que se implementaron en las playas de la isla barrera de Cancún. A pesar de que las obras resistieron el paso de este huracán, quedó clara la necesidad de reforzar tales estructuras, bombear una mayor cantidad de arena hacia las playas, construir nuevas protecciones en el corto plazo y realizar estudios con el

fin de comprender la dinámica costera, definir la celda litoral y de esta forma poder proponer soluciones más eficientes y duraderas. Debe entenderse como celda litoral aquellos sectores cerrados de las playas en los cuales es posible estudiar los procesos del transporte de sedimentos en forma aislada (Committee on Mitigating Shore Erosion Along Sheltered Coasts). Durante finales del 2009 y principios del año 2010, la Comisión Federal de Electricidad realizará actividades relacionadas con el dragado y bombeo de arena en Cancún y Playa del Carmen con el fin de lograr anchos de playa seca de al menos 30 m.

3. Generalidades sobre la geomorfología de la zona en estudio

La geomorfología costera tiene dos objetivos principales: estudiar la forma de las costas y los procesos que actúan en ella. De esta forma es posible obtener elementos de juicio sobre algunas de las causas de la erosión y pérdida de playas. En el caso de Cancún, su geomorfología suscita especial interés, pues de los diferentes tipos de costa existentes (de rías, fiordos,

deltas, fallas, arrecifes coralinos, volcánicas, entre otras) ésta se clasifica como una costa de isla barrera, intermedia entre el mar Caribe y un sistema lagunar, que antes del desarrollo turístico estuvieron intercomunicados por medio de canales.

En un estudio sedimentológico del área de Tulum, Cancún e Isla Mujeres (Aguayo et. al., 1980), se hicieron varias consideraciones interesantes. En este estudio se comentó que el área analizada es tectónicamente inactiva y está afectada por las corrientes litorales, la acción del oleaje, las mareas y el viento, siendo estos procesos los que controlan la movilidad de los diferentes tipos de material calcáreo que se distribuyen en cinco ambientes sedimentarios: 1) complejo arrecifal, desarrollado desde el extremo sur de la isla barrera de Cancún hacia el sur de esta provincia; 2) playa de alta energía en mar abierto, generando gran cantidad de oolitas (partículas carbonatadas), depositadas a lo largo de la isla barrera de Cancún; 3) megarrizaduras de fondo, entre el continente e Isla Mujeres (Bahía Mujeres); 4) dunas eolíticas y litorales, las cuales conforman a las dos islas, Cancún y Mujeres; 5) lagunas restringidas que se desarrollaron durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno a causa del depósito de tómbolos o espolones en los extremos sur y norte de la isla barrera de Cancún (ver Figura 9).

En otro estudio realizado durante el 2007 (Feliz y Silva, 2007) se comenta que en la costa este de la Península de Yucatán donde se localiza la zona de estudio, se identifican afloramientos de calizas pertenecientes a la plataforma continental, que a su vez forman costas que tienen pequeños cantiles y salientes que

separan a las playas. En la margen este de la Península existe una falla geológica con dirección Nor - Noreste - Suroeste, que se piensa pudo haber influido en la tendencia de la forma de la costa Noreste de dicha Península. La isla de Cozumel localizada frente a la costa de Quintana Roo, está constituida por material calcáreo y por la separación con respecto al continente; se piensa que la isla tuvo su origen a partir del producto de los procesos generados por el callamiento tectónico. Hacia el sur de la Riviera Maya, la costa se considera extremadamente confinada, debido a una estructura de falla. En la parte este de la Península de Yucatán se identifica una gran barrera de coral, que se extiende intermitentemente a lo largo de 650 km, iniciando de la esquina Noreste de la Península hasta el límite sur dentro del Golfo de Honduras; un gran número de cayos e islotes abundan en el arrecife y en la parte posterior de este. Las lagunas someras que se encuentran son delimitadas con manglares que crecen sobre terrenos de lodo calcáreo o de los mismos arrecifes coralinos, los cuales a su vez resguardan a las playas y lagunas de las acciones provocadas por el oleaje.

4. Definición de la problemática

La problemática que se presenta en la isla barrera de Cancún y la Riviera Maya es compleja debido a los diferentes factores involucrados. Esta consiste en una reducción progresiva del ancho de sus playas ocasionada por la pérdida de arena del sistema y el



a)



b)

Figura 6. a) Afloramientos rocosos en Cancún debido a la pérdida de arena en el sistema costero b) Invasión indiscriminada de las playas de Playa del Carmen y soluciones particulares para evitar la pérdida de playa

En la Tabla I se presentan valores de ancho de playa máximos, medios y mínimos para la isla barrera de Cancún, encontrados a partir del análisis de mosaicos de imágenes desde los inicios del

desarrollo turístico hasta el año 1999, (Ramírez, 2006). Se aprecia la reducción paulatina de los anchos de playa a medida que el número de edificaciones se fue incrementando.

Tabla I. Evolución del ancho de playa entre 1970 y 1999. Ramírez (2006).

Año	Ancho de playa [m]			No. de Edificaciones	
	Máx	Medio	Mín	Funcionando	En construcción
1970	106.89	70.95	24.80	<i>Se inicia la construcción de terraplenes para las vías y los rellenos para ensanchar la isla</i>	
1985	96.45	42.69	6.06	17	9
1990	44.98	17.40	0	54	3
1999	37.13	16.26	0	63	4

En términos generales, los orígenes de la problemática son diversos y son más confusos cuando existe la intervención del hombre. Algunas causas antropogénicas son:

- La construcción masiva de hoteles, vías y la consecuente invasión de la duna litoral e inclusive de las playas, ver Figura 1 y 6b. En el caso de Cancún, esta zona presentaba originalmente la configuración morfológica de una isla barrera estrecha, con dos tómbolos en proceso de formación en sus puntas, la cual se alteró

por el acarreo y depósito de material que tuvieron como objetivo ensanchar la isla y preparar las zonas para su urbanización (Ramírez, 2006).

- El cierre de bocas y canales que comunicaban el sistema lagunar Nichupté con el Mar Caribe.
- Falta de políticas públicas asociadas a la conservación de playas como elemento de generación de riqueza y como hábitat de diversas especies de flora y fauna.



Figura 7. Intentos de estabilización de Punta Cancún mediante estructuras de cierre.

- Ausencia de un manejo costero integrado.

Causas debidas a la naturaleza:

- La pérdida de arrecifes en algunos sectores por los huracanes.
- El calentamiento global y los eventos climatológicos extremos. Diversos fenómenos atmosféricos como la niña, ciclones, huracanes, entre otros.
- El análisis de mosaicos fotográficos en diferentes años confirma la hipótesis del desprendimiento de material rocoso en Punta Cancún y la separación de las masas rocosas que conforman Punta Nizuc, lo que ayuda a la migración de sedimentos entre los grandes fragmentos de roca. En 1999 se construyeron estructuras de cierre en Punta Cancún con el fin de estabilizar el sistema playero, sin embargo, estas soluciones no han funcionado adecuadamente (Ramírez, 2006), ver Figura 7.

Las visitas técnicas realizadas a la zona y los pocos estudios

existentes realizados por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y la Comisión Federal de Electricidad permiten corroborar las causas del problema de pérdida de playas en Cancún y hacer las siguientes precisiones:

- Hay una alteración de la dinámica y la estabilidad costera, incrementando la vulnerabilidad de la zona.
- Los eventos meteorológicos extremos han dañado tramos de la barrera arrecifal de la Riviera Maya, los cuales constituyen una defensa natural al ser disipadores de la energía del oleaje y evitar el transporte de la arena mar adentro.
- La zona turística de Cancún y la Riviera Maya se ubica sobre una zona frágil desde un punto de vista medioambiental, aspecto que no ha sido considerado por los inversionistas.
- En el caso de las playas de Playa del Carmen, particulares han colocado obras de protección en forma indiscriminada las cuales no obedecen a ningún diseño previo, empeorando la situación, ver Figura 6b y 8.



Figura 8. Estructuras de protección (geotubos) instalados de manera indiscriminada en Playa del Carmen

Otros investigadores (Feliz y Silva, 2007) también han hecho las siguientes precisiones:

- Desde su formación, la isla barrera de Cancún presenta una tendencia hacia la erosión por las tormentas y ciclones tropicales; sin embargo, el sistema tenía la capacidad de recuperarse por sí mismo y mantener un cierto equilibrio.
- La cobertura vegetal sobre la barra que evitaba la pérdida de material sedimentario, desaparece completamente en los años posteriores a 1990.
- La erosión ha ido en aumento, conforme se han hecho construcciones. Se han observado patrones de recuperación de las playas en algunos sectores cuando el tiempo entre el paso de un huracán y otro es considerable.
- Los huracanes contribuyen con la erosión de las playas, pero no son la única causa.
- Se considera que los sedimentos que pierden las playas, se depositan en barras sumergidas después de la rompiente; este material no regresa al sistema y cuando ocurren huracanes, es transportado mar adentro.
- En relación con el manejo costero, es necesario tomar acciones que permitan la subsistencia del sistema. Es necesario un manejo integral de la zona costera, con el fin de que el sistema vuelva a tener la capacidad de autoregularse y a la vez que este destino turístico se desarrolle de manera sostenible.

Como se ha comentado, la problemática de las playas de Cancún y la Riviera Maya es compleja. Podría afirmarse que el sistema costero ha sido modificado por actores naturales y humanos y en la actualidad no es capaz de absorber nuevos embates ni de recuperarse por sí mismo. Frente a la fragilidad del sistema es necesario plantear una solución de carácter integral, que no genere riesgos a los turistas y sin alterar el paisaje natural, (Hernández, 2008). Además que reconozca dentro de un plan de manejo costero integrado, aquellas zonas de concentración de energía del oleaje, mitigue el transporte de sedimentos fuera del sistema y permita el usufructo de la zona turística.

5. Metodología

La metodología empleada en esta investigación consistió en el análisis de fotografías aéreas, recolección de información de campo a partir de la realización de visitas y recorridos por parte de especialistas del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA, de la Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM y del Instituto Politécnico Nacional - IPN durante el año 2008 a la isla barrera de Cancún y a la zona donde se localiza Playa del Carmen. También se ha revisado la información sobre el tema que ha generado el Instituto de Ingeniería de la UNAM y la Gerencia de Ingeniería Civil (Grupo de Oceanografía) de la Comisión Federal de Electricidad - CFE (México). A partir de las fotografías aéreas e imágenes del sistema Google Earth se analizaron las playas de Cancún y la Riviera Maya por sectores, lo que permitió encontrar las zonas donde hay fuerte erosión y aquellas en donde por el contrario se produce acreción. También se consideró el efecto de las estructuras que se han construido sobre las playas. El análisis efectuado a la fecha es teórico y permite el planteamiento de algunas hipótesis. El IMTA planea instrumentar la zona cuestión de estudio luego de que terminen las labores de vertido de arena sobre las playas afectadas las cuales se desarrollarán a partir del mes de octubre de 2009 y hasta febrero de 2010. El objetivo es realizar un monitoreo de distintas variables físicas (corrientes, oleaje, transporte de sedimentos, entre otras) por un periodo de diez años a partir del 2010 con el fin de obtener datos de campo y de esta forma llegar a un conocimiento y un entendimiento más profundo del problema de erosión que se presenta actualmente en las costas del estado de Quintana Roo en México, particularmente en las playas de Cancún y la Riviera Maya. Esta información sustentaría y haría válidas las hipótesis que se plantean en este artículo.

6. Diagnóstico

Diversos aspectos relacionados con la morfología y los procesos costeros se discuten en la actualidad con el fin de evaluar el problema de la erosión, determinar su carácter y proponer soluciones (Silvester y Hsu, 1997), (Rivera et. al., 2004), (US

Army 2002). El análisis de la información generada a la fecha, permitió concluir que la morfología litoral del nororiente y oriente de la Península de Yucatán presenta una dinámica costera intensa. Son comunes los cuerpos sedimentarios en proceso de desarrollo como son las puntas arenosas, barreras e islas de barrera arenosas, playas amplias con cordones de duna y otras en proceso de crecimiento. También se observan sectores de líneas de costa en proceso de erosión, así como costas rocosas rectas o puntas rocosas (Punta Nizuc y Cancún).

Isla barrera de Cancún

La morfología del área asociada a la Playa Cancún está constituida por: (1) El sistema de isla barrera con una playa abierta, limitada por puntas rocosas, Punta Cancún y Punta Nizuc, y (2) El complejo lagunar Nichupté, con cuerpos lagunares pequeños separados parcialmente por acumulaciones arenosas y pantanos de manglar, ver Figura 9. Hacia tierra, el sistema lagunar limita con una línea de costa antigua.

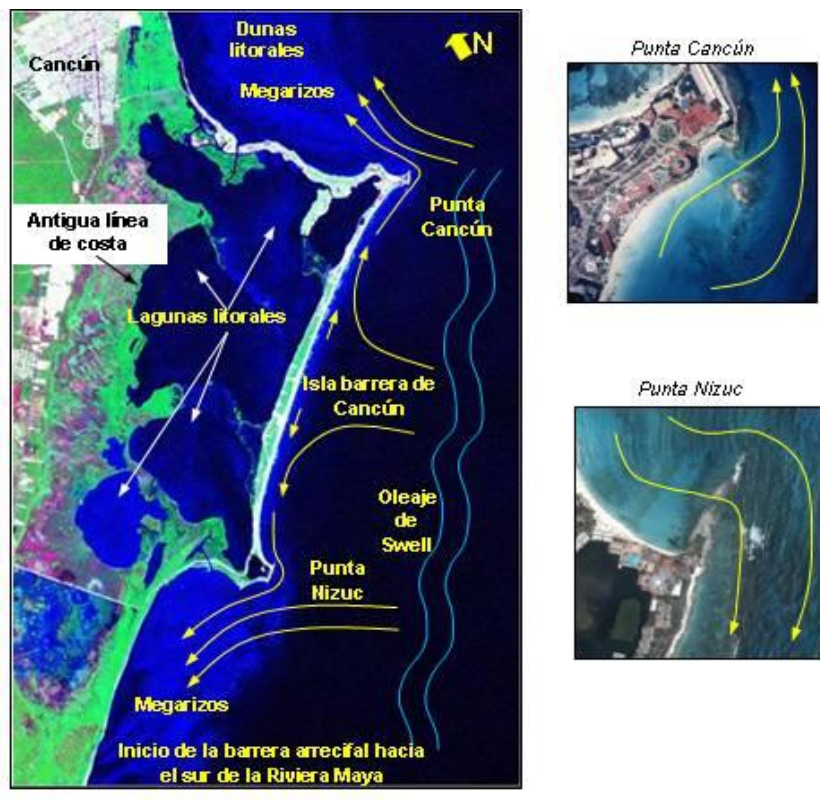


Figura 9. Isla barrera de Cancún. Se aprecian algunos elementos morfológicos y el patrón general del transporte de sedimentos

Se plantea de la hipótesis de que la línea de costa correspondiente a la isla barrera de Cancún funciona como una divisoria general en el transporte litoral neto, generando una deriva hacia el norte y otra hacia el sur a partir de las puntas Cancún y Nizuc respectivamente, ver Figura 9. Lo anterior está evidenciado por la serie de mega-rizaduras que se forman al norte de Punta Cancún y al sur de Punta Nizuc, así como por geoformas de la zona norte, que indican un transporte con dirección oeste noroeste, y

al sur, en el sector Punta Nizuc - Muelle Norte, geoformas que indican un transporte con dirección oeste suroeste.

Frente a la playa de Cancún no existen arrecifes, por lo que no hay un aporte directo de esta fuente de sedimentos que es la principal para la costa norte y este de la Península de Yucatán. El proceso de transporte litoral podría estar aportando parte de los sedimentos a la playa y el oleaje de swell podría estar

moviéndolos, traspasando el área de las puntas. Se considera que la salida de sedimentos por transporte litoral es mayor que el ingreso. Dentro de este contexto puede afirmarse que la playa de Cancún se encuentra en un régimen erosivo y que el volumen de sedimento que entra al sistema es mínimo. Debido a que Cancún es una isla barrera separada de tierra firme, presenta una configuración particular, tal que no permite el ingreso de sedimentos por deriva litoral. El sedimento que sale por deriva litoral, hacia la zona de megarizaduras, por Punta Nizuc y Punta Cancún, ya no regresa al sistema. Entonces, suponemos que la recuperación natural de las playas de Cancún no es posible.

Riviera Maya

El norte de Playa del Carmen presenta una línea de costa estable, con playas bien desarrolladas. Al sur se aprecian procesos erosivos, particularmente en Punta Sur (al sur de Playa del Carmen) la cual es rocosa. De esta forma, las playas de Playa del Carmen son un sector vulnerable a la erosión de la línea de costa, ya que se localizan en la transición entre un sector estable al norte y uno erosivo al sur. En la Figura 10 se presenta una imagen tomada de Google Earth en la que se señalan con líneas verdes y rojas las zonas en donde se presenta acreción y erosión

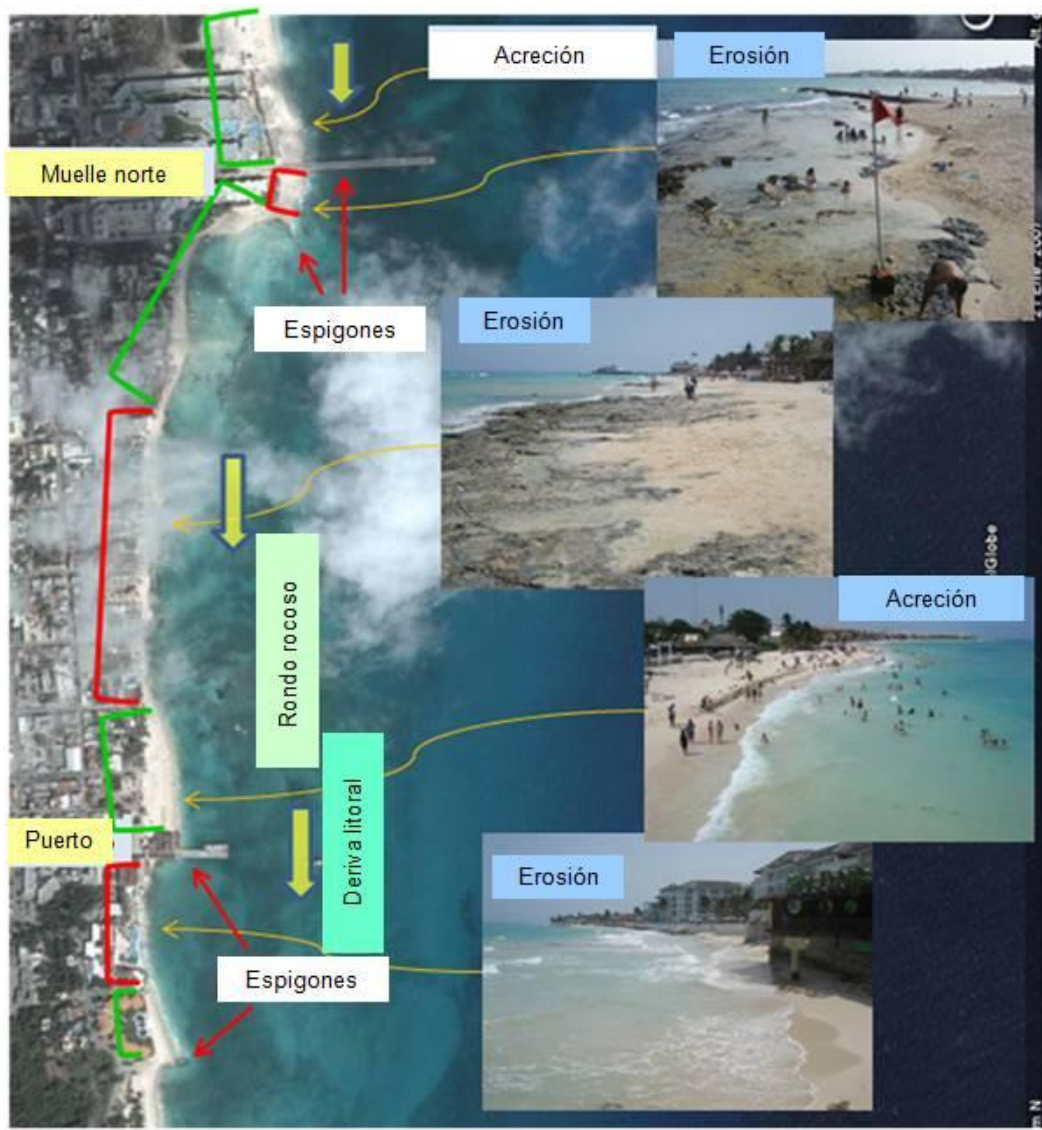


Figura 10. Acreción y erosión en diferentes sectores de Playa del Carmen, Riviera Maya (Imagen de Google Earth y fotografías recientes)

respectivamente. Las flechas amarillas indican la dirección del transporte litoral.

Un factor natural que hace vulnerable las playas de la Riviera Maya, es que la plataforma continental es muy estrecha, acuciándose de norte a sur, ver Figura 11. Dicho acuciamiento se observa desde Punta Nizuc, en donde la plataforma interna que se observa en las imágenes de *Google Earth*, alcanza cerca de 8 km, mientras que hacia el sur, frente al Muelle Norte, la amplitud es de 1 km y frente a Punta Sur es de solo 400 m. Lo anterior se

debe a la existencia de una serie de fallas que separan las placas tectónicas Norteamericana y del Caribe, ver Figura 12. Justo en el canal entre la península y Cozumel se tiene una de esas fallas, lo que hace que dicho canal sea profundo, ~ 500 m, (*General Bathymetric Chart of the Oceans*). Se sabe que sobre plataformas estrechas, los sedimentos no son retenidos por mucho tiempo sobre las playas, aunque en el área de Playas del Carmen, la presencia de barreras arrecifales contribuye a la retención de sedimentos. Por tanto se plantea la hipótesis de que existe una pérdida de arena desde la plataforma interna hacia el fondo del canal.

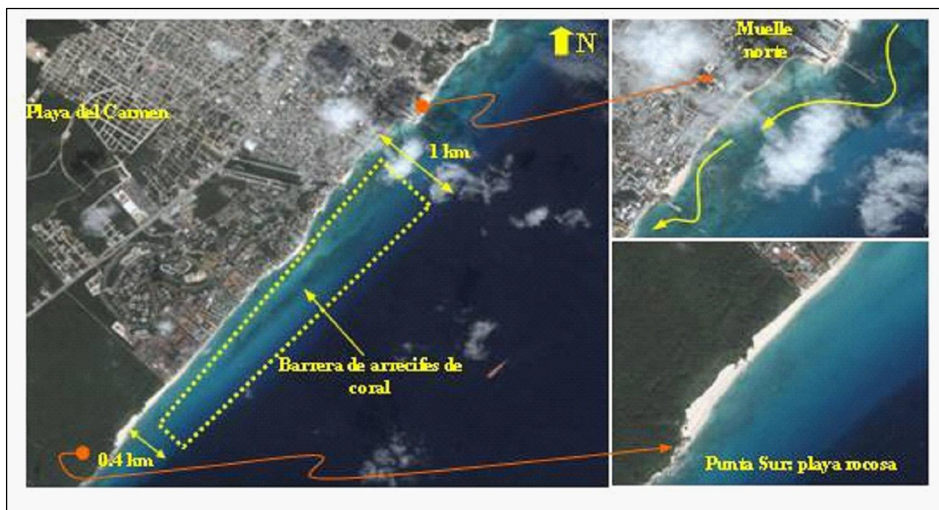


Figura 11. Se observa como la plataforma continental se estrecha de norte a sur y el efecto de estructuras marítimas sobre el transporte de sedimentos (imágenes de Google Earth)



Figura 12. Dinámica de los sedimentos en Playa del Carmen (Imagen de Google Earth)

Por las modificaciones que ha sufrido Playa del Carmen como consecuencia de las actividades turísticas, los rasgos naturales se han perdido o están muy alterados. No es posible diferenciar las características naturales de las playas, excepto en el sur, en el área próxima a la Punta Sur, en donde existe una playa con una amplitud máxima de 80 m. Sobre la plataforma interna se observa una barrera arrecifal y alrededor del puerto y del Muelle Norte se observa un fondo rocoso, lo cual brinda protección a la línea de costa. Aunque a partir de la morfología natural no se puede inferir un patrón de transporte litoral en esta zona, existen estructuras artificiales que permiten identificar que el transporte litoral tiene dirección sur. A continuación se describe la dinámica litoral que se infiere a partir de las observaciones de campo y del comportamiento de las estructuras artificiales.

Las arenas salen de la zona costera de Playa del Carmen por dos procesos; (1) parte del sedimento que es erosionado de la playa es llevado más allá del mar somero; por la cercanía del canal profundo a la línea de costa en este sector, ese sedimento podría salir definitivamente del ambiente de playa y mar somero y (2) la mayor parte del sedimento continúa moviéndose por deriva litoral hacia el sur, hasta salir de esta zona en el área de Punta Sur, ya sea hacia el sector costero siguiente o hacia el canal profundo.

Los aportes de sedimentos a Playas del Carmen son dos: (1) el transporte litoral o deriva litoral, que acarrea sedimentos desde la zona norte de Playa del Carmen y (2) sedimentos que liberan el sustrato rocoso y los corales, cuando son afectados por erosión en periodos de oleaje extremo. El aporte por producción de sedimentos desde las estructuras coralinas debe ser muy bajo, ya que se observa poca extensión de la barrera arrecifal. De igual manera, la producción de sedimentos por erosión de fondos rocosos se infiere que es baja. En términos generales, esta zona también podría estar perdiendo más sedimentos de los que recibe, por tanto, la recuperación natural de playa, al igual que en la isla barrera de Cancún, no se presentará.

7. Conclusiones

La problemática de erosión de las playas de la Riviera Maya es compleja y sobre las causas de la misma se han identificado diversos factores tanto naturales como antropogénicos. Las

causas naturales involucran la ocurrencia de huracanes, cuya frecuencia e intensidad se han incrementado en los últimos años, la elevación del nivel del mar por el cambio climático y las escasas fuentes de aportación de arena al sistema. Es de anotar que las investigaciones realizadas a la fecha resultan insuficientes para establecer una relación causa - efecto entre los diferentes procesos y los orígenes de la erosión. Entre las causas antropogénicas se pueden citar la ocupación de la duna principal por la actividad turística, la incorrecta ubicación de obras de protección, la construcción de puertos y la destrucción de los arrecifes coralinos y pastos marinos, los cuales son fuente importante de arena para los sistemas costeros.

Desafortunadamente las investigaciones realizadas a la fecha resultan insuficientes para establecer la relación causa efecto entre los distintos procesos que dan origen a la erosión. Es crucial la realización de más estudios de campo (mediciones de corriente, oleaje, transporte de sedimentos, entre otros) con el fin de proponer obras de protección que permitan la recuperación y estabilización de las playas con la mayor relación efectividad - costo.

Las soluciones frente al problema de la erosión deberían ser blandas de tal forma que se conserve el paisaje, no se alteren los ecosistemas y puedan desarrollarse actividades náuticas propias del turismo. La alimentación artificial con arena y la instalación de geotubos parecen ser buenas alternativas y en este sentido, la experiencia en Cancún ha sido beneficiosa, pero requieren evaluarse con detalle. El monitoreo de las zonas en donde se lleven a cabo este tipo de obras debe ser tarea primordial con el fin de conocer la evolución del relleno con arena, hacia dónde se da el transporte de sedimentos e identificar las zonas más vulnerables; se hace necesario evaluar las tasas de erosión luego del vertido de arena. Las soluciones duras deberían en lo posible evitarse (construcción de espigones, escolleras, entre otras), tal como lo han afirmado algunos investigadores (Bijker y Van de Graff, 1983). Además, las soluciones deben involucrar la experiencia adquirida no solo por ingenieros de costas sino también por geólogos, geógrafos, biólogos, ecologistas, entre otros especialistas (Guilcher, 1974).

La alimentación artificial de playas no provee una solución permanente al problema de la erosión (Institution of Civil Engineers, 1985). Aunque los costos de inversión iniciales no son tan altos, el costo de mantenimiento sí lo es.

La capacidad de recuperación de las playas después de los huracanes y el oleaje de swell persistente en forma oblicua sobre las mismas son los factores más importantes que gobiernan la durabilidad de los proyectos de alimentación artificial de playas (Silvester y Hsu, 1997).

La industria turística que se desarrolla en Cancún y la Riviera Maya ocupa un lugar muy importante no solo en la economía regional sino en el país, siendo las playas el principal activo. Sin embargo, no existe una política pública asociada a la conservación de las playas. La legislación ambiental en lo referente a la protección de las zonas costeras, particularmente de las playas, es insuficiente, siendo necesario implementar programas de manejo integrado que aseguren un desarrollo sostenible del turismo en la región. Esta consideración también debería ser tenida en cuenta por otros países del Caribe.

Bibliografía

- Aguayo, C., Bello, R., et al, 1978. Estudio sedimentológico en el área Tulúm - Cancún - Isla Mujeres en el Estado de Q. Roo: Soc. Geo. Mex. Tomo XLI. No. 1, 2.
- Álvarez, E., Rubio, R. and Ricalde, H., 2006. Yucatan: Shoreline restored with geotextile tubes as submerged breakwaters: Geosynthetics. Vol. 24. No. 3, pp. 20-27.
- Arriaga, R. E., Villalobos, G. J., et al, 2004. El Manejo Costero en México. Centro EPOMEX-UAC/CETYS Universidad de Quintana Roo, Semarnat. México.
- Azuz, I., 2004. El Manejo de los Cambios en la Morfología Costera. Rivera, E., J. Villalobos, I. Azuz y F. Rosado (Eds.), El Manejo Costero en México. UAC, Semarnat, CETYS, U. Q. Roo. 654 P.
- Bijker, E. W. and Van De Graff, J., 1983. Littoral drift in relation to shoreline protection. Shoreline Protection. Proc. Instn. Civil Engrs., Thomas Telford London, pp. 81-86.
- Comisión Federal de Electricidad CFE, s.a. Disponible en: <<http://www.cfe.gob.mx>>.
- Feliz, A. y Silva, R., 2007. Análisis de la dinámica geomorfológica de la zona hotelera de Cancún como contribución al desarrollo de un plan de manejo costero. Tesis de Licenciatura. DEPFI-UNAM.
- Fondo Nacional del Turismo, FONATUR, s.a. Disponible en: <<http://www.fonatur.gob.mx>>.
- Guilcher, A., 1974. Studies in coastal geomorphology contributing to coastal engineering. Proc. 14th Inter. Conf. Coastal Eng., ASCE I, pp. 1-19.
- Hernández, I., 2008. Política para la conservación de las playas de Q. Roo. Documento Final. Coordinación General de Asesores del Gobierno de Quintana Roo.
- Institution of Civil Engineers, 1985. Coastal Engineering Research. Maritime Eng. Group. London: Thomas Telford Ltd.
- Ramírez, E., 2006. Evolución morfodinámica de la playa comprendida entre Punta Cancún y Punta Nizuc en el Estado de Quintana Roo. Tesis de Maestría. DEPFI-UNAM.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. 2003. Reunión de expertos. Diagnóstico de los procesos de erosión en las playas arenosas del Caribe. La Habana, Cuba. Disponible en Internet: <http://www.gpa.unep.org/content.html?id=237>
- Rivera, E., Villalobos, G., Azuz, et al, 2004. El manejo costero en México. UAC, Semarnat, CETYS - Universidad, UAQR.
- Silvester, R. and Hsu, JRC., 1997. Coastal Stabilization. Advanced Series on Ocean Engineering, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.: London.
- Universidad Nacional Autónoma de México, s.a. Disponible en: UNAM <<http://www.unam.mx>>.
- US. Army Coastal Engineering Research, 2002. Shore Protection Manual.

