

Bolongaro Crevenna Recaséns, A., A. Z. Márquez García, V. Torres Rodríguez y A. García Vicario, 2010. Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche, p. 73-96. 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

---

# Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche

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

---

## RESUMEN

En este estudio se evaluó el impacto de la erosión de las playas y el aumento en el nivel del mar en las costas de Campeche, México, sobre la anidación de las tortugas marinas *Eretmochelys imbricata* y *Chelonia mydas*, así como la selección de sitios para anidar. El área de estudio comprendió las playas de los campamentos de Isla Aguada y Chenkan con una longitud de 30 y 20 km, respectivamente, en donde se tienen implementados proyectos para monitorear, proteger y dar seguimiento a las poblaciones de tortugas marinas que llegan a desovar. Para evaluar el proceso de erosión y su cuantificación se realizó una comparación de la línea de costa con imágenes de satélite y una caracterización morfológica y sedimentológica durante tres temporadas del año: lluvias, nortes y secas. Se modelaron escenarios de pérdida de playa por aumento del nivel del mar. Se realizó un análisis histórico comparativo del número de anidaciones en las playas estudiadas para verificar si existe un desplazamiento de los sitios de anidación de las tortugas. Los resultados obtenidos muestran tasas de erosión de 6.8 m/año. Los índices reproductivos tienden a ser mayores en arenas gruesas y medias para ambas especies. En un escenario de cambio climático se acelera el proceso de erosión por el aumento de fenómenos hidrometeorológicos extremos y por el aumento del nivel del mar, por lo que es importante considerar los fenómenos de erosión y cambio climático para diseñar medidas de mitigación en los programas de conservación de la tortuga marina.

**Palabras clave:** cambio climático, tortugas marinas, anidación, erosión de playas, Campeche, México.

## INTRODUCCIÓN

El litoral mexicano integra una diversidad de bienes generados por la interacción de procesos geológicos y climáticos, aunados a la acción de depositación y erosión costera ocasionada por algunos agentes fluviales y oceanográficos. Sobre este marco físico, se desarrollan los sistemas naturales más productivos y con una alta biodiversidad del mundo como son las lagunas costeras, los arrecifes coralinos y los manglares. Estos hábitat son aptos para la reproducción, refugio y crianzas de muchas especies marinas, entre ellas, las tortugas marinas. En este sentido, el estado de Campeche, es uno de los de mayor importancia para estos organismos debido a su ubicación geográfica dentro de la franja tropical, así como por la complejidad de sus ecosistemas estuario-lagunares y marinos (INE, 1997).

Las tortugas marinas forman parte de la compleja trama trófica que contribuye a la salud y diversidad del planeta en el que vivimos y son un grupo de animales sumamente adaptados al ambiente marino considerándose como organismos indicadores de la calidad y estado del mar y de los ecosistemas costeros al evaluar el tamaño y dinámica de sus poblaciones (UICN, 2001).

De las ocho especies de tortugas marinas que existen en el mundo, siete llegan a desovar en las playas mexicanas y de éstas, tres arriban a las playas de Campeche. Basados en el número de nidos registrados por temporada la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) es la más abundante en Campeche, siguiéndole en orden de importancia la tortuga blanca (*Chelonia mydas*) y en tercer lugar la lora (*Lepidochelys kempi*), de las que se registran

anidaciones esporádicas. Las costas del estado de Campeche son consideradas como uno de los lugares preferidos para las anidaciones de las tres especies antes mencionadas. Estas especies están catalogadas en peligro de extinción tanto por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2001), así como por la legislación mexicana en la NOM-059-Semarnat-2001.

El impacto antropogénico, los cambios morfológicos y la erosión de las playas impactan de forma significativa los complejos y delicados ecosistemas costeros y marinos, lo que contribuye significativamente a la disminución del hábitat para anidar y de las poblaciones de estos organismos, debido a que en su ciclo de vida, las hembras regresan a sus playas natales para anidar. Durante las diferentes etapas de su desarrollo las tortugas están expuestas a innumerables peligros como la contaminación de los mares y la destrucción de su hábitat tanto marino como terrestre. Los sitios de anidación son altamente vulnerables ya que pueden ser dañados por causas antropogénicas (*e.g.* turismo, pesca, urbanización, entre otros) y por causas naturales (*e.g.* erosión, aumento del nivel del mar, oleaje alto, huracanes, entre otros).

La selección de sitios de anidación depende de características como pendiente topográfica, amplitud y tipo de sedimento. La extensión de la playa parece no ser importante observándose altas densidades de anidación en playas de corta longitud (Zurita *et al.*, 1993).

Otros factores importantes para la selección del sitio de desove son la humedad, la calidad de la arena y la temperatura, para lo

cual las tortugas se valen principalmente de su olfato. Condiciones también necesarias para completar el proceso de reproducción son las condiciones de preservación del nido, de la eclosión y de la salida de crías.

La erosión determina el retroceso y la modificación de la línea de costa y es la principal causa de la destrucción de playas del litoral. En Campeche, el litoral ha alcanzado tasas de erosión promedio de 7 m/año (Ortiz-Pérez, 1992), ocasionando la pérdida de superficies históricas importantes para la anidación de las tortugas marinas.

La pérdida de playas como consecuencia de la erosión y las modificaciones en el nivel del mar por el calentamiento global y el cambio climático puede producir eventos catastróficos, naturales o inducidos por el hombre ocasionando cambios severos en los diferentes tipos de ecosistemas. En este sentido, es preocupante la pérdida del hábitat de anidación y el impacto generado sobre las poblaciones de las tortugas marinas, que se encuentran en peligro de extinción.

Las playas en proceso de erosión se caracterizan porque sufren cambios en su amplitud y pendiente. Al aumentar el desnivel y disminuir la amplitud de playa se presentan diversas configuraciones, como: escalones, áreas cóncavas, canales de marea e incluso taludes en la zona de mesoplaya. Por el contrario, las playas en proceso de acreción o acumulación, son aquellas en las que se observa un aumento en la amplitud de playa, montículos en forma de dunas, mientras la pendiente tiende a ser uniforme en toda la playa. Las playas estables, son aquellas que conservan la misma pendiente, forma y amplitud de playa. En esta última, puede existir una disminución o aumento en su longitud al realizarse el levantamiento to-

pográfico, pero esta no es determinada por la erosión acumulación ya que las playas conservan la misma pendiente y forma. En este caso se considera que el aumento o la disminución es debido a los efectos de las mareas baja y alta (Salazar, 1998; Márquez *et al.*, 2007).

En algunas playas sujetas a erosión se forman cantiles y terrazas verticales que constituyen serias barreras físicas y las tortugas a menudo están obligadas a recorrer grandes trechos paralelos a la costa y/o finalmente a regresar al mar y anidar en otros tramos más alejados (Márquez, 1996). A las barreras naturales se suman otras creadas por el hombre como son los espigones, tetrápodos, muelles, escolleras, desarrollos turísticos y urbanos (Salazar, 1998). Es reconocido que el incremento de las amenazas por causas antropogénicas es el que ha puesto en peligro de extinción a muchas especies en nuestro planeta, no escapando a esto todas las especies de tortugas marinas (UICN/CSE, 1995).

En este sentido, el conocimiento de la dinámica litoral y de los patrones de anidación de las tortugas marinas son elementos importantes a estudiar, ya que pueden aportar información valiosa para realizar programas de protección, manejo y conservación de los ecosistemas costeros y de estas especies.

El cambio climático constituye una gran amenaza para la humanidad y es uno de los mayores problemas ecológicos, sociales y económicos del planeta. El sustento e incluso la supervivencia de comunidades enteras estarán en peligro en muchas partes del mundo. La multiplicación de las sequías, inundaciones, huracanes, el deshielo y la elevación del nivel del mar, marcan escenarios muy graves donde se hace evidente la vulnerabilidad de los sistemas ecológicos y sociales. Ante estos

escenarios se hace urgente la necesidad de diseñar medidas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

El cambio climático acelera los procesos de erosión al presentarse un aumento en el nivel medio del mar y una mayor frecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos, modificando drásticamente la línea de costa. Si a esto se le suman los impactos generados por la erosión debida a causas antropogénicas como son la modificación de la línea de costa con infraestructura y la modificación del equilibrio continente–océano por la modificación de los volúmenes de descarga en el aporte de sedimentos fluviales, situación que incrementa el efecto erosivo de las corrientes marinas y litoral, se tiene que nos enfrentamos a un es-

cenario de fuerte erosión costera y pérdida de grandes extensiones de playa.

La erosión costera es una de las principales causas asociadas a la disminución de las tortugas marinas, al ocasionar graves impactos a su hábitat de anidación. En la zona, se tiene una tasa de erosión de entre 1.8 a 6.8 m/año ocasionando la pérdida de superficies históricas importantes para la anidación de las tortugas marinas. En este sentido, el conocimiento de la dinámica litoral y del impacto sobre las tortugas marinas son temas de gran interés que hay que abordar para tener más elementos en el diseño de las estrategias de protección, manejo y conservación de los ecosistemas costeros y de las especies de tortugas marinas.

## OBJETIVOS

El propósito de la presente investigación fue evaluar el impacto de los procesos de erosión costera en la anidación de las tortugas

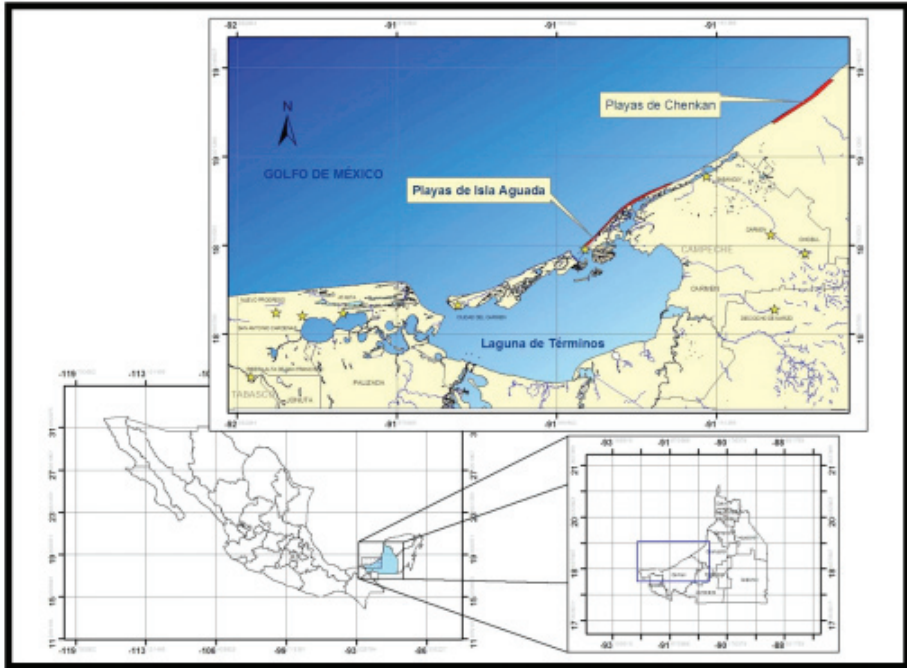
marinas (*Eretmochelys imbricata* y *Chelonia mydas*) que arriban en la costa norte del estado de Campeche.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la zona norte del estado de Campeche y el sur del Golfo de México (figura 1), y comprende las playas de Isla Aguada y Chenkan. Dichas playas se encuentran al sureste de la Sonda de Campeche y al noreste de la laguna de Términos.

La playa de Isla Aguada está ubicada geográficamente entre las coordenadas 18°47'17.7" Latitud Norte (LN) y 91°29'54.8" Longitud Oeste (LO), y la playa de Chenkan entre los 19°06'32.8" LN y 91°00'39.6" LO. En estas playas se registran la mayoría de las anida-

ciones de las tortugas marinas *Eretmochelys imbricata* (tortuga Carey) y *Chelonia mydas* (tortuga blanca). La extensión total de playas reportadas con anidaciones es de 214 km, de las que se protegen aproximadamente 170 km, de los cuales 50 km de ellos quedan comprendidos en el área de Isla Aguada y de Chenkan (Guzmán, 2005). Los sitios de anidación están formados por una serie de playas de pequeñas longitudes y formas variables, limitadas por arroyos y zonas inundables de manglar.



**Figura 1.** Ubicación de las playas Isla Aguada y Chenkan.

Entre la vegetación predominante están las especies de mangle *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Conocarpus erecta* (mangle botoncillo) y *Avicennia germinans* (mangle negro). Los manglares juegan un papel importante al proteger el litoral del impacto del oleaje y tienen

una importancia notable en la conservación de la línea de costa. Además, propician las condiciones favorables para los sitios de anidación de las tortugas marinas manteniendo la aeración de los sedimentos y evitando la compactación de éstos, cuyos nidos están comúnmente asociados a la vegetación.

## METODOLOGÍA

Para realizar este estudio se llevaron a cabo estancias en los campamentos tortugueros, trabajo de laboratorio para el análisis sedimentológico y trabajo de gabinete para el análisis y procesamiento de los datos obtenidos.

### ESTANCIA EN CAMPAMENTOS TORTUGUEROS

En la temporada de anidación se realizó una estancia en los campamentos tortugueros de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) en Isla Aguada y Chenkan

durante los meses de julio a septiembre del 2006. Se realizaron recorridos diarios a lo largo de la playa en cada campamento. Durante el recorrido se detectaron los nidos de tortuga, mediante la observación de las mismas, así como de las marcas del arrastre (huellas) sobre la arena; a partir de las huellas fue posible conocer la ubicación del nido y determinar la especie de tortuga que había anidado.

**LOCALIZACIÓN DEL NIDO Y REGISTRO DE HUEVOS**

Los nidos encontrados se georreferenciaron con un GPS (Global Position System), en coordenadas UTM, proyección WGS 84 marca ASTEC, modelo Promark 2. En cada nido se registró la ubicación en coordenadas y con respecto al perfil de la playa. Se tomó una muestra de arena de cada anidación y la información se registró en una ficha de campo.

Una vez ubicado el nido, se procedió a extraer los huevos ovopositados y a colocarlos temporalmente en una bolsa de plástico para trasladarlos en el menor tiempo posible hasta el corral de incubación donde fueron sembrados en los nidos cavados especialmente para simular la forma típica de cada especie. La cámara de incubación de los nidos presentan típicamente una profundidad promedio de 65 cm para la especie *Chelonia mydas* (tortuga blanca) y de 45 cm para la especie *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey). Cada nido se identificó con un número consecutivo de registro. En la bitácora de campo se registraron los datos correspondientes a cada nido, como son, el número de huevos, hora de colecta y tipo de manejo o uso del nido.

Al término de la eclosión y cuando las crías emergieron, los nidos fueron revisados y lim-

piados inmediatamente, obteniendo información del número de crías muertas, huevos en diferentes estadios que no eclosionaron y huevos sin ningún desarrollo embrionario aparente. Esta información se registró en la ficha de campo. La liberación de las tortuguitas recién nacidas se realizó en las noches aprovechando el recorrido para la localización de nidos.

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLAYAS**

Para conocer si las playas se encuentran en procesos de erosión o acreción se realizaron perfiles de playa (Wolf, 1997) en cada una de las épocas climáticas (lluvias, nortes y secas) del año 2006, con el fin de determinar el estado en que se encuentra cada playa en la temporada de anidación, se registraron las posibles interacciones entre las condiciones morfológicas con respecto a las tasas de sobrevivencia y de esta manera conocer el efecto de la dinámica costera en la anidación de las especies estudiadas.

Se analizó el efecto de la presencia de elementos antropogénicos como espigones y rompeolas. Se evaluó la preferencia de anidar en alguna de las zonas del perfil de playa (infraplaya, mesoplaya y supraplaya) y el tipo de arena para anidar por especie y playa en estudio.

Para los perfiles de playa se identificaron tres zonas de playa, la infraplaya que es la zona de la playa comprendida entre el límite de la marea baja hasta la profundidad donde empieza el efecto del oleaje; la mesoplaya que es la zona comprendida entre el límite de la marea alta y el límite de la marea baja, generalmente con pendiente en dirección hacia el mar, y la

supraplaya que es la zona comprendida entre el límite de la marea alta y el límite donde se tiene ya algún proceso continental (malecón, duna, vegetación, etc) y que en condiciones normales está seca (figura 2).

### **CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LAS PLAYAS**

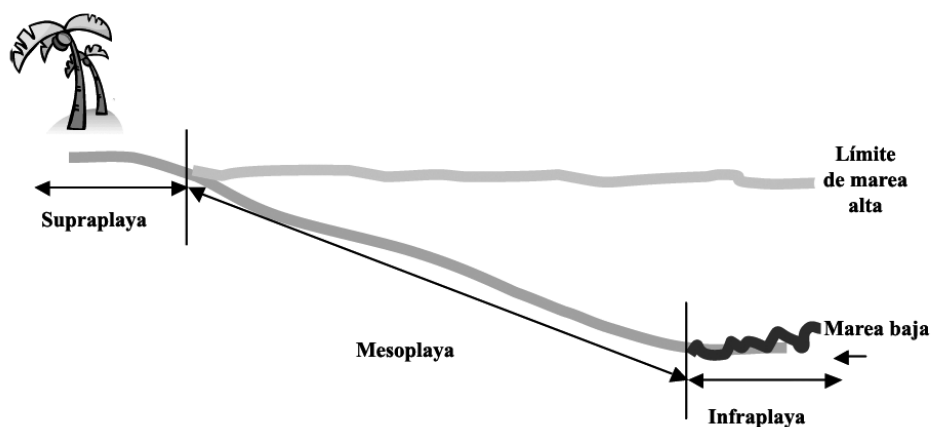
Se realizó una caracterización sedimentológica de las playas de estudio para conocer el tipo de sedimento asociado a los nidos. De esta forma se colectó una muestra de sedimento en cada nido y se analizó el análisis granulométrico, la composición mineralógica (Folk, 1966; Rothwell, 1989) y se determinó el porcentaje de humedad relativa (McGehee, 1979).

El análisis de tamaños o textura de sedimentos se realizó de acuerdo con la escala de tamaños de Wentworth (1922) utilizando los criterios propuestos por Folk (1966). El análisis de los sedimentos se realizó por el mé-

todo de tamizado a cada  $\frac{1}{4}$  de phi para calcular los parámetros granulométricos (tamaño gráfico promedio, desviación estándar gráfica inclusiva, grado de asimetría gráfica inclusiva y curtosis).

El análisis mineralógico de los sedimentos se realizó por el método de “frotis” y observación al microscopio estereoscópico. El porcentaje de los minerales se realizó de manera visual (Rothwell, 1989). Para los sedimentos arenosos por ser de origen calcáreos o carbonatados, se utilizó el triángulo de Lewis (1984) para su clasificación.

La humedad se determinó siguiendo el método de McGehee (1979); se tomaron muestras de 50 gramos de cada sitio donde se reubicaron los nidos, se registró el peso total de la muestra en una balanza digital y se secaron en un horno a  $60^{\circ}\text{C}$  para determinar el peso seco. Posteriormente, se volvieron a pesar para determinar la cantidad de humedad perdida. La humedad se expresó como porcentaje de humedad.



**Figura 2.** Esquema del perfil de playa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA PLAYA ISLA AGUADA

De acuerdo con los resultados de los levantamientos de los perfiles de playa (figura 3) ésta es considerada como una playa relativamente estable, lo cual coadyuva en la conservación del hábitat de anidación de estas especies de tortugas marinas. En esta playa se observó que existe también un proceso de erosión-depósito, existiendo una recuperación de la playa en los sitios de anidación después de haberse erosionado, manteniendo las pendientes y formas de la playa estables (figuras 4 y 5). Esta playa por sus características morfológicas es la de mayor preferencia para ambas especies de tortugas marinas *Eretmochelys imbricata* y *Chelonia mydas*.

Los estudios de mediano plazo realizados con imágenes satelitales de un periodo de 31 años (Torres *et al.*, 2009), mostraron un avance de la línea de costa hacia el continente de 5.7 m, valor que resultó ser el valor más pequeño de erosión para el estado de Campeche, pudiéndose concluir en este sentido que

la Isla Aguada se encuentra en un incipiente estado de erosión, y que de acuerdo con los regímenes climáticos se observan fluctuaciones normales de erosión y depósito tales como las que se observaron con las mediciones de perfiles de playa del periodo 2005-2007, que mostraron episodios de estabilidad costera.

### Factores antropogénicos

El incremento de actividades antropogénicas en las zonas costeras es una de las principales causas que impacta a las poblaciones de tortugas marinas. Es importante resaltar que en algunos sitios de las playas de Isla Aguada están presentes estructuras rocosas llamadas espigones (rompeolas) perpendiculares a la línea de la costa (figura 6). Estas áreas con espigones son importantes sitios de anidación y existen registros de los campamentos tortugueros de la Conanp que indican una tendencia a disminuir el número de anidaciones de los años 2004-2005 respecto al resto de las playas (Guzmán, 2005). Seguramente el impacto de estas estructuras sobre el comportamiento de anidación de las tortugas marinas es serio

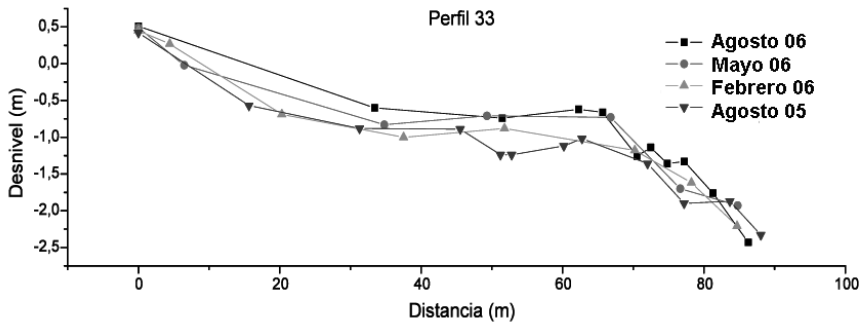


Figura 3. Perfil de playa Isla Aguada en época de lluvias 2005, lluvias, nortes y secas del año 2006.





Figura 4. Playas del campamento Isla Aguada, Campeche.

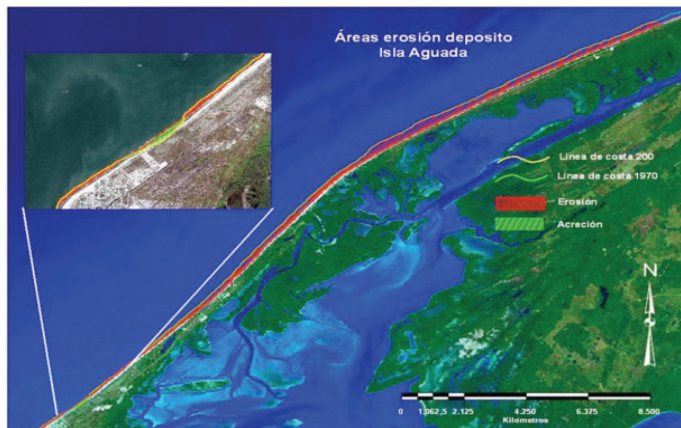


Figura 5. Análisis del cambio de la línea de costa con imágenes de satélite.

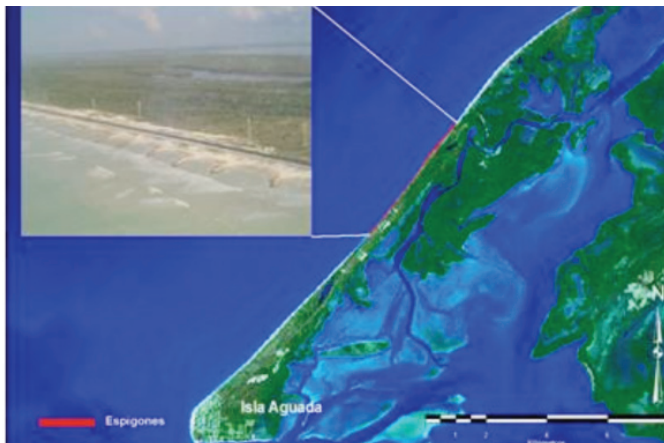


Figura 6. Localización de los espigones en las playas de Isla Aguada, Campeche.

y provoca una reducción en los intentos por anidar.

### Anidaciones por zona de playa en Isla Aguada

Al analizar el sitio de anidación en esta playa, se encontró que el mayor número de anidaciones para ambas especies ocurrió en la zona de supraplaya: *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey) con 68% y *Chelonia mydas* (tortuga blanca) con 71%, mientras que para la zona de mesoplaya los porcentajes fueron para tortuga de carey del 32% y para las tortugas blancas 25%. En la zona de infraplaya no se registraron anidaciones para la tortuga carey, solamente para la tortuga blanca fue 4% (figura 7). Estos resultados se explican ya que la zona de supraplaya es aquella a nivel de la vegetación con menos vulnerabilidad y donde las tortugas tienen más posibilidades de incrementar la sobrevivencia de la nidada. El estado de la playa es estable con la pendiente poco pronunciada, esto permite a las tortugas desplazarse a la zona de supraplaya sin ninguna dificultad para que de esa manera seleccionen

el sitio adecuado para anidar y se minimice el riesgo de ser afectadas por los ascensos de la marea de tormenta, ya que la línea de vegetación suele ser el límite del ascenso del mar en los casos extremos de afectaciones procedentes de fenómenos meteorológicos.

### Eclosión y sobrevivencia de tortugas marinas en Isla Aguada

En la playa de Isla Aguada durante el trabajo de campo que abarcó la temporada de anidación 2006 se protegieron un total de 30 nidos (tabla 1), siendo 29 de la especie *Chelonia mydas* con un total de 3 033 huevos y 1 de la especie *Eretmochelys imbricata* con 159 huevos. Todos los nidos fueron reubicados en el corral de incubación.

### Distribución de anidaciones por tipo de arena y porcentaje de humedad

En estas playa se observó una mayor frecuencia de anidaciones de *Chelonia mydas* (tortuga blanca), los nidos estuvieron distribuidos hacia el noreste de la playa, asociados a sedimen-

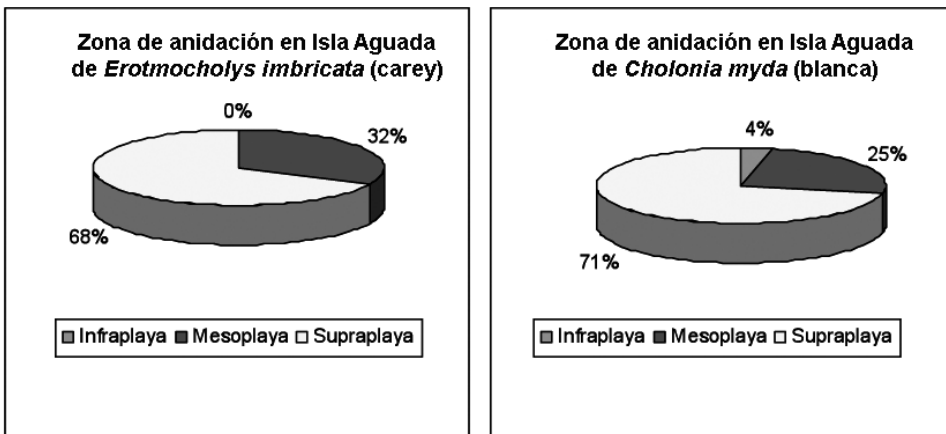


Figura 7. Zona de anidación (infraplaya, mesoplaya y supraplaya) en Isla Aguada de *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey) y *Chelonia mydas* (tortuga blanca).

**Tabla 1.** Promedios de eclosión y sobrevivencia del año 2006 por especie, Isla Aguada.

Especie	Número de nidos	Número de huevos	Humedad (%)	Eclosión (%)	Sobrevivencia (%)
<i>Chelonia mydas</i>	29	3033	8.38	61.07	70.17
<i>Eretmochelys imbricata</i>	1	159	7.89	81.6	64.5

tos clasificados como arena media. Se observó un menor registro de anidaciones en sitios de textura de arena muy gruesa y fina, probablemente por una preferencia de las tortugas en la selección del sitio buscando condiciones aptas dentro de la cámara de incubación en cuanto a temperatura, humedad y textura del sedimento (figura 8).

### **Distribución espacio-temporal 2004-2006 de las anidaciones de tortugas marinas en Isla Aguada (playa estable)**

La playa de Isla Aguada tiene aproximadamente 28 km de longitud y a pesar de que se considera una playa estable y adecuada para la anidación, no toda su extensión es apta para realizar la ovoposición, debido a las diferencias que se encuentran a lo largo de la playa, como son la pendiente, la presencia de vegetación costera, el contenido de humedad y la textura del sedimento y la presencia de infraestructura.

Al analizar la distribución espacio temporal de las anidaciones se observa que se registraron menores anidaciones durante los años 2004 y 2005, años que coinciden con la instalación de los espigones, infraestructuras para la protección de la playa que representan un obstáculo para la arribazón de las tortugas marinas a las playas de anidación (figura 6). En el caso del año 2006, se registró un aumento en el número de anidaciones, probablemente como una

respuesta de la dinámica de las poblaciones a los esfuerzos conservacionistas implementados a partir de 1979, sin embargo se observa un desplazamiento de los sitios de anidación hacia los sitios adyacentes (figura 9).

La mayor concentración de nidos de ambas especies se registró entre los sitios 435 y 441 de la playa, probablemente por ser la zona con menor perturbación de la playa. En el caso del sitio 430 se observó que el número de anidaciones es casi nulo respecto a los demás sitios, esto se debe posiblemente a la presencia de infraestructuras turística como un balneario y un restaurante, los cuales invaden y perturban los sitios de anidación.

### **Escenario de pérdida de hábitat de anidación con el aumento del nivel medio del mar, playa Isla Aguada**

En la figura 10 se muestra el perfil de playa de Isla Aguada con las cotas de aumento del nivel medio del mar en 40, 60 y 100 cm. Considerando un aumento de 40 cm. en el nivel medio del mar se puede observar como la zona de mesoplaya pasará a ser infraplaya, perdiéndose así la zona donde anidan alrededor del 40 % de las tortugas, esto es, perdiéndose los sitios aptos para la anidación.

Parece ser que la supraplaya no se verá afectada en esta playa, siendo ésta una situación benéfica para las tortugas, ya que la mayoría anidó en la supraplaya.



Figura 8. Tipo de textura del sedimento en la playa de Isla Aguada, Campeche.

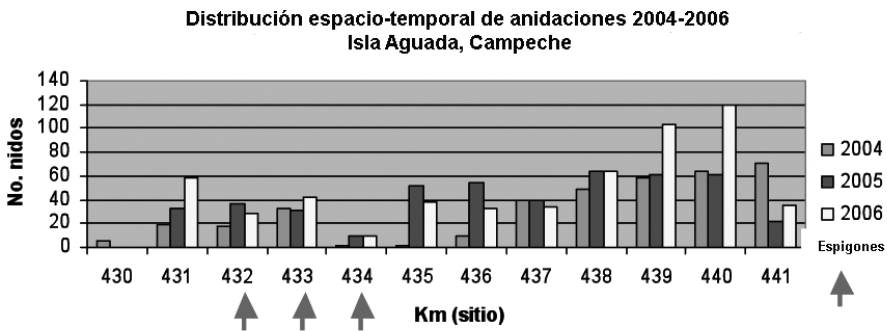


Figura 9. Distribución espacio temporal de anidaciones de 2004-2006, Isla Aguada, Campeche.

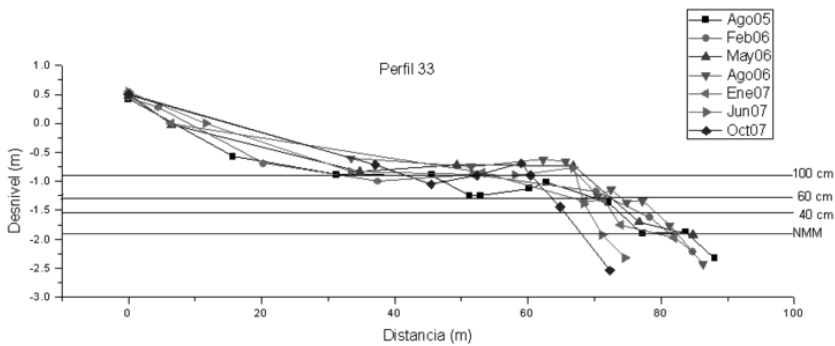


Figura 10. Representación gráfica de la pérdida de hábitat de anidación en la playa Isla Aguada con el aumento del nivel medio del mar.

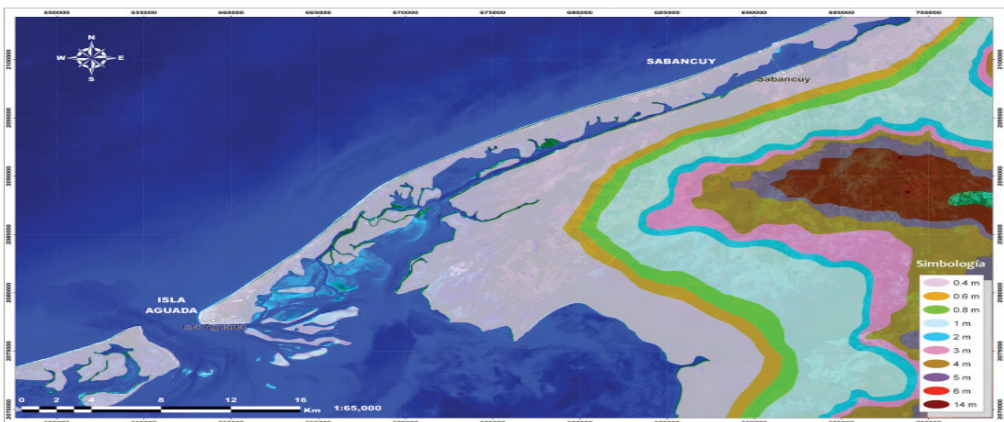
Por otro lado, al analizar los resultados reportados por (Torres *et al.*, 2009) (figura 11) obtenidos a partir de un análisis de los cambios en la línea de costa con imágenes de satélite de distintos años y la modelación del aumento del nivel del mar en escenarios de cambio climático del Panel intergubernamental para el Cambio Climático (Wigley, *et al.*, 2009; ANIDE, 2005), se puede observar que el escenario de pérdida de la superficie costera con la modelación de un aumento en el nivel del mar de 40 cm. es muy amplia y abarca toda la zona del área de los dos campamentos tortugueros, escenario muy crítico considerando la gran superficie costera en riesgo.

## CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA PLAYA CHENKAN

La playa de Chenkan es altamente dinámica, se encuentra en proceso de erosión. El perfil de playa muestra una pendiente pronunciada, poca amplitud de playa y escalones de 1 m de desnivel entre la zona de supraplaya y mesoplaya (figuras 12 y 13).

En esta playa se observa un litoral que en los últimos 30 años, ha mostrado un proceso de erosión-depósito, donde actualmente está predominando el proceso de erosión (figura 14). El impacto es alto ya que estas playas son dinámicamente activas con una tendencia a disminuir la amplitud ocasionando la pérdida del hábitat de anidación y de los nidos ovopositados. El proceso erosivo puede afectar también a los nidos ovopositados modificando la cantidad de humedad y causando un incremento en la mortalidad de las crías de tortugas marinas durante la incubación.

En esta playa se registran altas densidades de anidaciones de las especies *Chelonia mydas* (tortuga blanca) y *Eretmochelys imbricata* (tortuga Carey), siendo una de las zonas más frecuentadas a nivel nacional por estas especies para anidar (Guzmán, 2005). Los cambios de morfología de la playa por el proceso de la erosión pueden afectar el éxito de las anidaciones al dificultar el acceso de las tortugas a la playa para anidar, así como el éxito de la incubación de los huevos al erosionarse los nidos “*in situ*” y los corrales de incubación (figura 15).



**Figura 11.** Modelación del aumento en el nivel medio del mar para el área de Isla Aguada, Campeche.

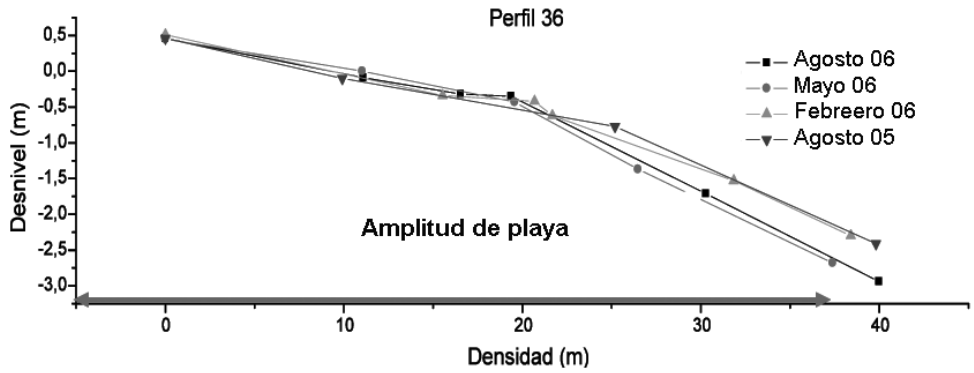


Figura 12. Perfil de playa de Chenkan en época de lluvias 2005, lluvias, nortes y secas del año 2006.



Figura 13. Playas del campamento Chenkan, Campeche.

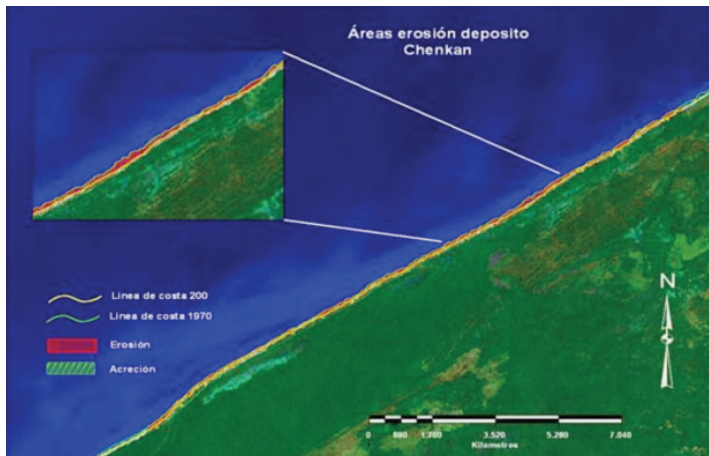


Figura 14. Áreas de erosión-depósito en las playas de Chenkan, Campeche.



**Figura 15.** *Chelonia mydas* (tortuga blanca) intentando subir la duna para desovar en la playa de Chenkan, Campeche

### Factores antropogénicos

En las playas de Chenkan también se registró la presencia de infraestructuras marítimas llamados tetrápodos (figura 16), los cuáles están colocados en forma paralela a la costa a unos 30 metros mar adentro con el objeto de mitigar el proceso de la erosión de las playas. Estos tetrápodos fueron colocados a partir del año 2004. La presencia de éstos bloquea el acceso al hábitat de la tortuga hacia las playas de anidación, además evitan que el sistema dinámico propio de las playas funcione adecuadamente, y como consecuencia queden al descubierto áreas de sustrato rocoso durante la marea baja obstaculizando el acceso de las tortugas a sus sitios de anidación.

### Anidaciones por zona de playa en Chenkan

En las playas de Chenkan, las especies *Eretmochelys imbricata* y *Chelonia mydas* anidaron preferentemente en la zona de mesoplaya con 72 y 61% respectivamente (figura 17), da-

tos que se explican al considerar la dificultad para subir el escalón de la playa, a diferencia de la playa de Isla Aguada donde se registró el mayor número de nidos en la zona de supraplaya. Los nidos registrados en la infraplaya fueron del 2 % y correspondieron a la especie *Eretmochelys imbricata*. Estos nidos tienen una probabilidad mínima de sobrevivencia debido a que generalmente se pierden por la erosión o por el exceso de humedad.

A diferencia de las anidaciones registradas en Isla Aguada donde el mayor porcentaje correspondió a la supraplaya, en Chenkan las anidaciones fueron más frecuentes en la mesoplaya debido a la menor amplitud y las pendientes pronunciadas típicas de una playa en erosión que se convierten en un obstáculo para seguir avanzando hacia la supraplaya.

### Eclosión y sobrevivencia de tortugas marinas en Chenkan

En la playa de Chenkan durante el trabajo de campo se protegieron un total de 30 nidos

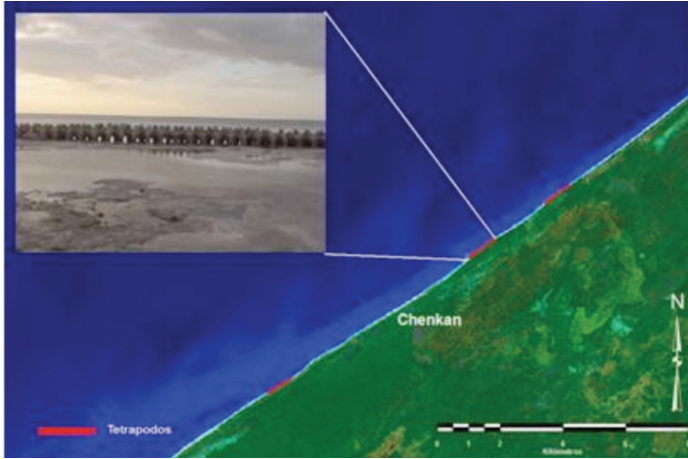


Figura 16. Localización de tetrápodos en las playas de Chenkan, Campeche.

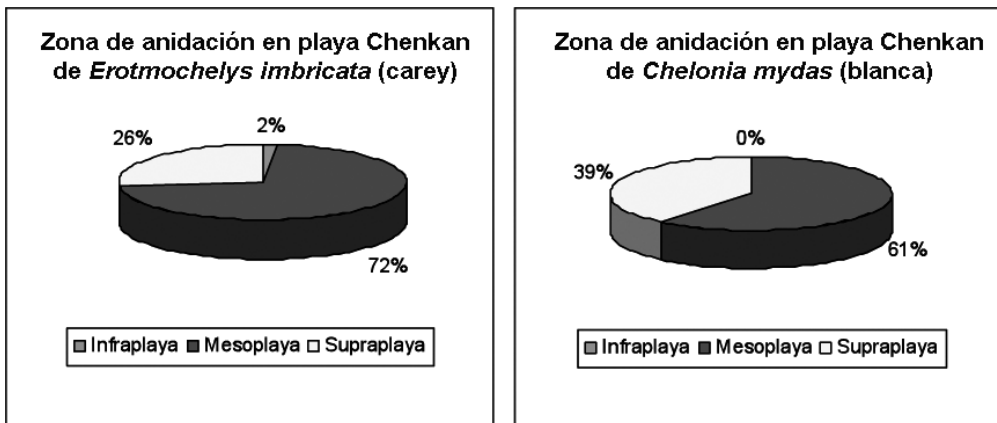


Figura 17. Zona de anidación (infraplaya, mesoplaya y supraplaya) en playa Chenkan de *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey) y *Chelonia mydas* (tortuga blanca).

(tabla 2), correspondiendo 10 a la especie *Chelonia mydas* con un total de 1 223 huevos y 20 a la especie *Eretmochelys imbricata* con un total de 2 839 huevos. Todos los nidos fueron reubicados en el corral de incubación.

### Distribución de anidaciones por tipo de arena y porcentaje de humedad

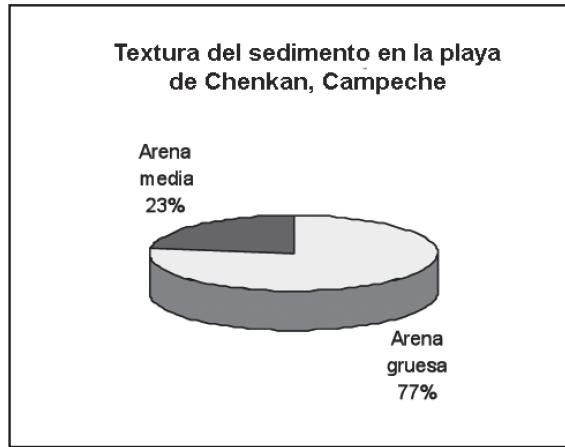
En las playas de Chenkan se observó un mayor número de anidaciones de *Eretmochelys*

*imbricata* seguidas por *Chelonia mydas*. La mayoría de éstas (77%) ocurrió en sitios asociados a arena con textura de grano de arena media (figura 18) y con una humedad relativa entre 7 y 11 %, distribuidos a lo largo de toda la playa.



**Tabla 2.** Promedios de eclosión y sobrevivencia del año 2006 por especie, Chenkan..

Especie	Número de nidos	Número de huevos	Humedad (%)	Eclosión (%)	Sobrevivencia (%)
<i>Chelonia mydas</i>	10	1223	9.42	75.99	58.9
<i>Eretmochelys imbricata</i>	20	2839	9.5	69.93	56.47

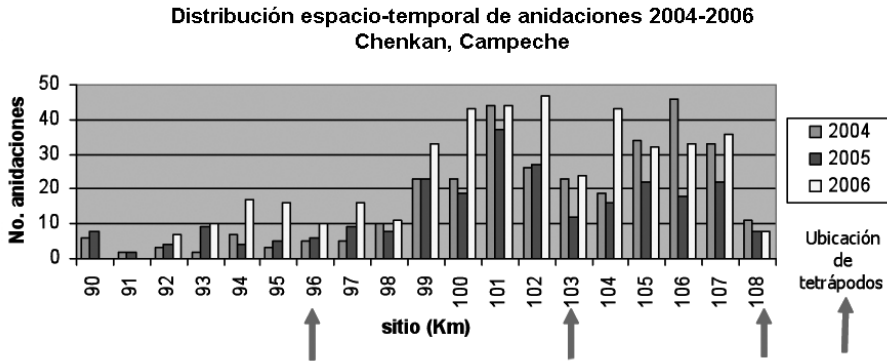
**Figura 18.** Textura del sedimento en la playa de Chenkan, Campeche.

### Distribución espacio temporal 2004-2006 de las anidaciones en Chenkan (playa con erosión)

En la figura 19 se muestra la distribución espacio-temporal de anidaciones de tortugas marinas registrada en la base de datos de la Conanp para el campamento tortuguero de Chenkan, se observa una baja frecuencia de anidación en los sitios 96, 103 y 108 en los dos últimos años, coincidiendo con los sitios donde están colocados tetrápodos paralelos a la costa.

Con respecto al año 2006 en toda la zona de playa se registró una tendencia de aumento de hembras anidadoras, datos que coinciden con los registros a nivel nacional. Particularmente en los sitios del Km. 99 al 107 se

observó un mayor número de anidaciones, mientras que en los sitios del Km. 90 al 98 el registro de anidaciones fue mínimo, probablemente ocasionado por la presencia de tetrápodos en algunos de estos sitios y a que esta zona se encuentra parcialmente alterada por la erosión y por la presencia de gaviones (estructuras de contención construidas con piedra envueltas en malla galvanizada) construidos por parte de la SCT, para la protección de la carpeta asfáltica. Los gaviones provocan una lenta socavación en su porción baja, finalmente se colapsan y el proceso de erosión continúa, destruyendo lentamente porciones de playa de anidación para estas especies. La presencia de talleres de trabajo de los pescadores en la playa, también obstaculizan sitios de anidación. Los sitios entre los km 99 al 107 se



**Figura 19.** Distribución espacio temporal de anidaciones 2004-2006, Chenkan, Campeche.

consideran playas índices, donde se encuentra la mayor concentración de anidaciones.

La fluctuación registrada en la gráfica de un año a otro es un reflejo de la dinámica de las poblaciones de éstas especies, y en particular el aumento registrado en el año 2006 puede ser una respuesta al esfuerzo de conservación iniciado desde 1979 ya que las crías tardan entre 14 y 20 años en regresar a sus playas natales a anidar.

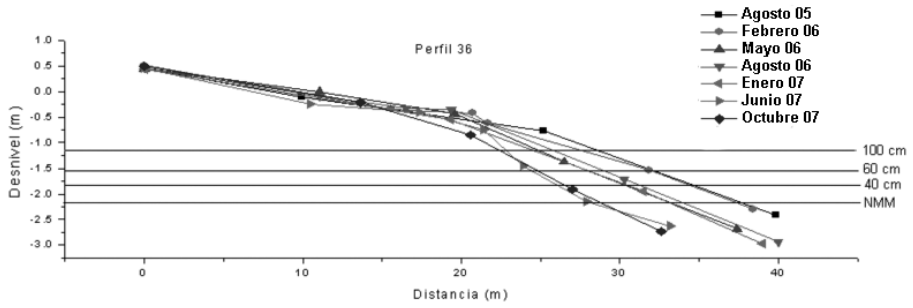
**Escenario de pérdida de hábitat de anidación en la playa con el aumento del nivel medio del mar, Chenkan (playa en franca erosión)**

En un escenario de aumento en el nivel del mar se perderían aproximadamente 14 m de amplitud de playa, desplazándose la zona de infraplaya a donde actualmente comienza la mesoplaya (figura 20), destruyéndose ésta última y perdiéndose a su vez la zona donde anidan el alrededor del 70% de las tortugas, esto es, perdiéndose los sitios aptos para la anidación. En este sentido, la playa de Chenkan es un sitio muy crítico, altamente vulnerable por la erosión y la pérdida de hábitat de anidación.

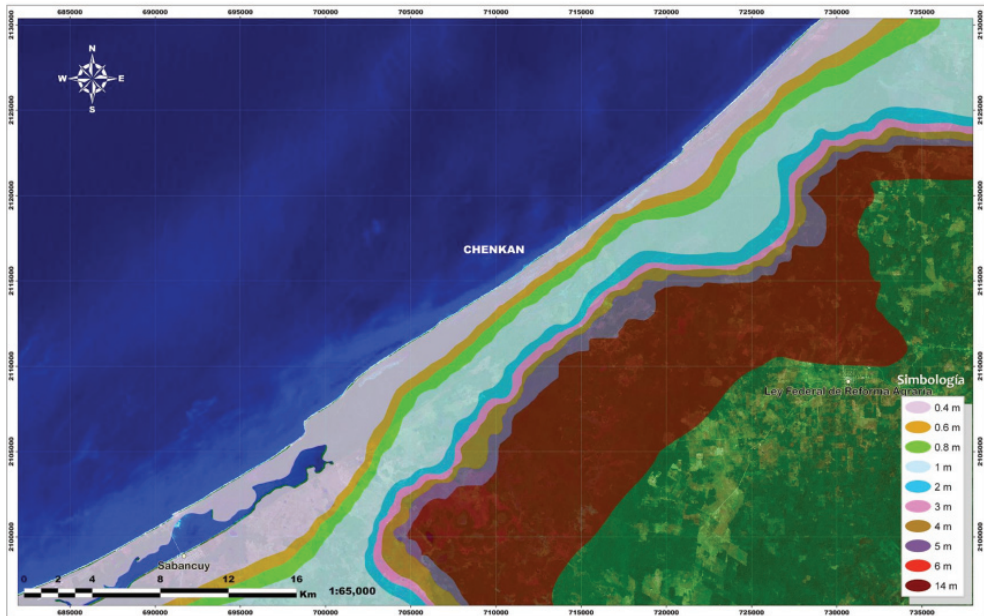
En la figura 21 se muestra el resultado de la modelación de los escenarios de aumento en el nivel medio del mar para varias cotas en el área del campamento tortuguero de Chenkan. En la figura 21 se puede observar la superficie de costa a perder en los distintos escenarios, siendo que con solo un aumento de 40 cm., se estima perder prácticamente toda la playa, situación muy grave para el estado de Campeche y en particular para la tortugas que perderían su hábitat de anidación viéndose obligadas a desplazarse a nuevas zonas para poder cumplir con su ciclo biológico.

La dinámica costera que actualmente se está manifestando en las playas del mundo está causando modificaciones de la línea de costa acrecentadas por factores tanto naturales como antropogénicos y está representando una pérdida del hábitat de anidación de las tortugas marinas, afectando así el proceso reproductivo de éstas. Por lo que se debe considerar muy seriamente como una causa más de las posibles amenazas de las especies de tortuga marina, sensibles a estos cambios.

Entre los factores producto de la dinámica costera que se presentan en las playas del mundo y que de alguna manera afectan el desove



**Figura 20.** Representación gráfica de la pérdida de hábitat de anidación en la playa de Chenkan con el aumento del nivel medio del mar.



**Figura 21.** Modelación del aumento en el nivel medio del mar para el área de Chenkan, Campeche.

y éxito reproductivo de las tortugas podemos mencionar los siguientes:

- 1.- Erosión de playa, con pérdida de longitud de playa y aumento de pendiente de playa, lo que provoca que la tortuga encuentre un obstáculo y efectúe un

mayor esfuerzo para depositar sus huevos fuera de la zona intermareal. Al no poder superar estas pendientes, se ven obligadas a desovar en zonas afectadas directamente por mareas y oleaje, perdiendo la totalidad de los nidos, y

quizás opten por buscar otras playas donde llevar a cabo el desove.

- 2.- Cambio del tamaño de sedimentos, de manera natural se modifican las condiciones hidrodinámicas por los cambios climáticos, o por procesos antropogénicos, al acarrear arena de otros lados hacia las playas. Esto provoca cambios en la temperatura y humedad de la arena. Existen también cambios en compactación que incrementan el esfuerzo para hacer el nido o que el sedimento no tenga la consistencia adecuada para hacer el nido.
- 3.- Incremento del oleaje y marea, causados por el incremento en el nivel del mar y cambio climático global que producen huracanes y nortes más intensos, afectando partes altas de la playa que normalmente no eran afectadas, siendo más vulnerables las playas de baja pendiente.
- 4.- Construcción de infraestructura en las playas. Los cambios urbanos en la playa al crear nuevas áreas turísticas, crecimiento de ciudades costeras con luces durante toda la noche, compactación de la arena por turistas, destrucción de dunas o de la supraplaya al construir hoteles, malecones, etc., modifican las áreas de desove y desorientan a las tortugas.
- 5.- Cambio muy rápidos en el tiempo. Es importante mencionar que muchos de los factores que han modificado la zona litoral se han dado en el tiempo geológico, y la fecha de la última glaciación fue hace 18 000 años donde el mar se encontraba 120 m abajo del nivel del mar. Sin embargo actualmen-

te los cambios se están dando en años, algunos en meses o en un solo evento catastrófico como puede ser un huracán, un norte, etc.

En fin, son varios los factores que debemos considerar en la pérdida de una playa y un ecosistema, desde locales, regionales, naturales y antropogénicos que se deben de estudiar sin contratiempo para poder en lo posible tomar las acciones pertinentes para la conservación de las playas y por ende de las tortugas, de lo contrario solo veremos los resultados finales que son la modificación de este ecosistema y la posible pérdida de las tortugas marinas, aunque es posible que estos organismos sobrevivan si se logran adaptar, evitando así su extinción como lo han hecho en millones de años de su existencia.

Los resultados obtenidos muestran que la presencia de infraestructura antropogénica (espigones y tetrápodos) afecta la anidación de las tortugas marinas al encontrarse menor número de anidaciones en los sitios de playa con la presencia de esta infraestructura. Es posible que como lo menciona Márquez (1996), que estas obras marítimas obligan a estas especies a recorrer grandes trechos paralelos a la costa y/o finalmente regresar al mar y anidar en sitios menos aptos en otros tramos más alejados de playa por el bloqueo del acceso para arribar a la playa, causando que estas aniden en otros sitios menos aptos para realizarlo y posiblemente con una menor probabilidad de éxito en la sobrevivencia de las crías.

La observación del desplazamiento de los sitios de anidación cuando las tortugas encuentran obstáculos nos habla de su capacidad de adaptación a situaciones nuevas. Este fenómeno probablemente es un indicador de la vulnerabilidad de las tortugas marinas ante

efectos de la erosión y del cambio climático, pues estos son animales que han sobrevivido por más de 250 millones a lo largo del tiempo y de múltiples variaciones climáticas. Sin embargo, actualmente los cambios se están dando en años, algunos en meses o en un solo evento catastrófico como puede ser un huracán o un norte. Es importante considerar que las tortugas marinas han existido y sobrevivido durante los cambios en los tiempos geológicos, siendo que quizás no puedan adaptarse a estos cambios repentinos, causando su extinción, ya que son especies que se encuentran en peligro de extinción.

El mayor número de nidos en el caso de ambas especies se ubicaron en zonas asociadas con textura de sedimentos de tamaño medio, debido a que esta característica sedimentológica mantiene las condiciones de humedad y temperatura dentro de la cámara de

incubación para un mayor éxito de eclosión de crías de tortugas marinas. Dichas variables demuestran tener una importante influencia en la sobrevivencia y eclosión de tortugas marinas como lo han indicado algunos autores (Torrey, 1978; McGehee, 1979; Arzola y Armenta, 1994). La menor frecuencia de anidación en sitios asociados con arenas gruesas y finas se puede explicar por que en estas texturas de sedimentos las condiciones de humedad y temperatura no llegan a mantenerse constantes (Morreale, 1982; Spotila *et al.*, 1981), así, las fluctuaciones de estas variables pueden alterar el desarrollo embrionario principalmente en las épocas de lluvias y secas. En este sentido es importante considerar la textura original de las arenas en las playas de anidación que serán sujetas a programas de recuperación de playas para no afectar los sitios de anidación y el éxito de estas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ambas especies de tortugas marinas prefieren arena con textura de grano medio para anidar, seguramente estas texturas de sedimento se vinculan al mayor éxito de viabilidad de los huevos, al mayor porcentaje de eclosión de huevos y nacimientos de crías. En ambas playas se observó un menor número de anidaciones asociadas con las arenas gruesas y finas.

Se encontró una distribución diferenciada de los nidos por zona de playa, En Chenkan fue mayor el número de nidos en la zona mesolitoral, mientras que en Isla Aguada fue mayor en la zona supralitoral. Posiblemente se trate de una preferencia del sitio de playa por especie, esto es, que a *Quelonia mydas* que fue la principal especie que arribó en Isla Aguada,

tenga preferencia por los sitios de supraplaya asociados a la vegetación de la duna marina y en el caso de *Eretmochelys imbricata* ésta prefiere sitios de la mesoplaya antes del escalón de marea, difícil de librar.

En ambas playas la anidación fue menor en las áreas de erosión y con presencia de infraestructura (espigones y tetrápodos) así como en las zonas de playa asociadas con sedimentos de arena finas. En este sentido, se encontró un desplazamiento de los sitios de anidación en las zonas sujetas a mayor erosión y con presencia de infraestructura.

La disminución del número de anidaciones de *Eretmochelys imbricata* en la playa de Isla Aguada, probablemente refleja un declive en

la población de esta especie que se encuentra en peligro de extinción, por lo que se hace urgente reforzar los esfuerzos y medidas para la protección y conservación de esta especie.

La pérdida del hábitat de anidación afecta la sobrevivencia y abundancia de las tortugas marinas y en un escenario de cambio climático se acelera el proceso de erosión por el aumento de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, por lo que es importante implementar medidas de mitigación ante la erosión costera para proteger el hábitat de anidación de las tortugas marinas.

Considerando lo anteriormente expuesto se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- Cuando se realicen proyectos para recuperación de playas en zonas de anidación de tortugas marinas deberá utilizarse siempre arena que cumpla con las características sedimentológicas de la arena original, esto es, con la misma textura de sedimento de los sitios de anidación originales.
- Se recomienda ampliar este tipo de estudios a los sitios prioritarios de conservación de las tortugas marinas y continuar investigando sobre el papel que juegan los procesos erosivos costeros en el éxito de la anidación de éstas, así como monitorear permanentemente la dinámica de las playas de anidación para evaluar si se encuentran en erosión y poder definir medidas de mitigación.
- Es importante evitar poner obstáculos de origen antropogénico (rompeolas, espigones, tetrápodos, geotubos, etc.) que impidan la arribazón de las tortugas marinas, sin un estudio previo de la dinámica costera y el impacto que pueden causar. Del mismo modo, es importante realizar un análisis del impacto antropogénico por el manejo de las especies de tortugas marinas y considerar los escenarios de erosión y cambio climático para diseñar medidas de mitigación en los programas de conservación de la tortuga marina.
- Para conocer si la nueva condición de erosión afectará al nuevo sitio de la línea de costa y la capacidad para el nuevo desarrollo de playas en la zona erosionada, se recomienda realizar perfiles geomorfológicos de dos o más Km. de longitud, donde se ubiquen los rasgos geomorfológicos y litológicos del mismo. Así como realizar durante los estudios de caracterización de sitios de anidación, trincheras de exploración de dos a tres metros de profundidad (o hasta la cota cero del nivel medio del mar) para conocer la condición sedimentaria tierra adentro y constatar si existe capacidad de generación de nuevas playas en los sitios erosionados.

## LITERATURA CITADA

- ANIDE, 2005. Metodología para la determinación de erosión costera. Informe UO-IT-01, 120 pp. Cuernavaca, Morelos (Citado con autorización del propietario de la tecnología).
- Arzola F., y J Armenta, 1994. Análisis comparativo de los factores ambientales en nidos naturales y nidos trasladados y su efecto en crías de tortuga golfina, *Lepidochelys olivacea* en la playa El Verde, Mazatlán, Sinaloa, durante la temporada 1992-1993. Tesis de Biología, Instituto Tecnológico de Los Mochis, México, 72 p.
- CECARENA, 1993. Taller para el manejo de manglares de humedales costeros en el noroeste de México, Memorias, 7,11 de diciembre, p. 8.
- Diario Oficial de la Federación, 2002. Norma oficial mexicana. Protección ambiental – especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Nom-059-Semarnat-2001. miércoles 6 de marzo de 2002, 2da. sección: 1-153.
- Folk., R.L.. 1966. A review of grain size parameters. *Sedimentology*, 6: 73-93
- Guzmán Hernández, V., 1996. Reseña de la temporada de anidación en Campeche, México, durante 1996. Doc. Téc. del Centro Reg. de Invest. Pesquera de Cd. del Carmen. N° 3. Programa Nacional de Tortugas Marinas, INP. 9 p. Inédito.
- Guzmán Hernández, V.. 2005. Informe técnico final del programa de conservación de tortugas marinas de Campeche, México en 2005. p. 10-12.
- INE, 1997. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna d Términos, México. México, D.F. 201 p.
- Lewis, D. W., 1984. Practical Sedimentology. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 229 p.
- Márquez, R., 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. La ciencia para todos No. 144. Fondo de cultura económica. México D. F. 200 p.
- Márquez, G. A. Z., V. Pérez, E. Márquez y Z. Flores, 2007. Cambios en el tamaño de los sedimentos de las playas del litoral del Municipio de Solidaridad por efectos climáticos estacionales. *Revista de la Universidad del Caribe*, : 59-68.
- McGehee, M., 1979. Effects of moisture on eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). Thesis. B. S., Presbyterian College, USA 252 p.
- Morreale, S.J., G.J. Ruiz, J.R. Spotila y E.A Standora, 1982. Temperature dependent sex determination: Current practices threaten conservation of sea turtles. *Science*, 216:1245-1247.
- Ortiz-Pérez, M., 1992. Retroceso reciente de la línea de costa del frente deltático del Río San Pedro; Campeche; Tabasco. *Boletín del Instituto de Geografía*, 25, 7-24.
- Rothwell, R.G., 1989. Minerals and Mineraloids in Marine Sediments, Elsevier Applied Science, London, 278 p.
- Salazar-Vallejo, S.I.1998. Calentamiento global y efectos costeros. *Ava. Cient.*, 25:10-20.
- Spotila, J.R., E.A. Standora, S.J. Morreale y G. J. Ruiz de Clark, 1981. Effects of incubation temperature on the sex of hatchling Caribbean green turtles. Final Report to Rutgers University for sub-grant activity on USFWS Project 14-16-002-80-222. 29 p.
- Spotila, J. R., R. R. Reina, A. C. Steyermark, P. T. Plotkin y F. V. Paladino. 2000. Pacific leatherback turtles face extinction. *Nature*, 405: 529-530.
- Torres R.V, G.A. Márquez, R.-A Bolongaro-Crevenna, H.J. Chavarría y D.G. Expósito, 2009. Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debida a efectos del cambio climático.

- Torrey, M., 1978. Morfogénesis de los vertebrados. Editorial Limusa, México. 776 pp
- IUCN, 2001. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Ruling of the IUCN Red List Standards and Petitions Subcommittee on Petitions Against the 1996 Listings of Four Marine Turtle Species.
- IUCN/CSE, 1995. Estrategia Mundial para la Conservación de las Tortugas Marinas. 24 p.
- Wentworth, C. K., 1922. A scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Jour. Geol.* 30(5): 377-392.
- Wigley T.M.I., M: Salmon, M. Hulme, S.C.B. Raper, 2009. Model for the Assessment of Greenhouse-gas induced Climate Change (MAGICC, 5.3). NCAR, Boulder, Colorado.
- Wolf P., 1997. Topografía. alfaomega. 9ª Edición. 634 p.
- Salazar-Vallejo, S.I., 1998. Calentamiento global y efectos costeros. *AvaCient*, 25: 10-20
- Zurita G., J.C., R. Herrera, y B. Prezas, 1993. Tortugas marinas del Caribe. p. 735-751. En: S. I. Salazar-Vallejo y N E. González (eds). Biodiversidad Marina y costera de México. Conabio y cipro, México. 865 p.