



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE BIOLOGÍA**

**ECOLOGÍA**

**Relación de las Variables Climáticas con la Nidificación, Éxito de Eclosión y  
Proporción de Sexos en Neonatos de *Chelonia mydas* en el Caribe de  
México.**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**BIÓL. JOSÉ MARTÍN DE LOS SANTOS CRESPO**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. FAUSTO MÉNDEZ DE LA CRUZ  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DRA. GUILLERMINA ALCARAZ ZUBELDIA  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**DR. ANDRÉS GARCÍA AGUAYO  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM**

**MÉXICO, CD. MX. SEPTIEMBRE 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE BIOLOGÍA**

**ECOLOGÍA**

**Relación de las Variables Climáticas con la Nidificación, Éxito de Eclosión y  
Proporción de Sexos en Neonatos de *Chelonia mydas* en el Caribe De  
México.**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**BIÓL. JOSÉ MARTÍN DE LOS SANTOS CRESPO**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. FAUSTO MÉNDEZ DE LA CRUZ**  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DRA. GUILLERMINA ALCARAZ ZUBELDIA**  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

**DR. ANDRÉS GARCÍA AGUAYO**  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

**MÉXICO, CD. MX. SEPTIEMBRE 2017**

Lic. Ivonne Ramírez Wence  
Directora General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 3 de abril de 2017, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del alumno **DE LOS SANTOS CRESPO JOSÉ MARTÍN** con número de cuenta **305184687** con la tesis titulada **"RELACIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS CON LA NIDIFICACIÓN, ÉXITO DE ECLOSIÓN Y PROPORCIÓN DE SEXOS EN NEONATOS DE *CHELONIA MYDAS* EN EL CARIBE DE MÉXICO"**, realizada bajo la dirección del **DR. FAUSTO ROBERTO MÉNDEZ DE LA CRUZ**:

Presidente: DR. MANUEL FERIA ORTÍZ  
Vocal: DR. RODRIGO MACIP RÍOS  
Secretario: DRA. GUILLERMINA ALCARÁZ ZUBELDÍA  
Suplente: DR. ANIBAL HELIOS DÍAZ DE LA VEGA PÉREZ  
Suplente: DR. ANDRÉS GARCÍA AGUAYO

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Universitaria, Cd. Mx., a 24 de julio de 2017.



*M. del Coro Arizmendi*

DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA  
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por permitirme realizar mis estudios, darme la oportunidad de seguir superándome y brindarme todas las facilidades para lograr culminar la maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría. Al PAEP del posgrado en ciencias biológicas de la UNAM y al programa de becas mixtas para becarios CONACIT.

A mi director de tesis el Dr. Fausto Méndez de la Cruz y a los miembros de mi Comité Tutor: la Dra. Guillermina Alcaráz Zubeldía y al Dr. Andrés García Aguayo, por dar valiosas sugerencias y orientarme a lo largo de todo el proceso.

## **AGRADECIMIENTOS A TITULO PERSONAL**

A los miembros de mi jurado: Dr. Manuel Feria, Dr. Rodrigo Macip, Dra. Guillermina Alcaraz, Dr. Aníbal H. de la Vega y al Dr. Andrés García por sus tiempo y valiosos comentarios para mejorar el trabajo escrito y llevarlo a su culminación.

A mi madre Nelsa Crespo Gomez, a mi pare Martín de los Santos Ramos y a mis hermanos, Ayla Karina de los Santos Crespo y Julio Cesar de los Santos Crespo por apoyarme siempre en todas las decisiones que he tomado, por darme su amor y comprensión a lo largo de toda mi vida y formación académica y por estar ahí siempre que los he necesitado.

A la Bióloga Reina Gabriela Aguilar Velazco, por todo su amor, comprensión y apoyo brindado durante el largo trabajo de campo, por todas esas noches incansables en la playa con las tortugas marinas y por nunca rendirse a pesar de todas las dificultades.

A los campamentos tortugeros Punta Sur y San Martín y a todos sus integrantes por el apoyo brindado durante mi larga estancia en la Isla Cozumel y por hacer mi vida más fácil y divertida, y un especial agradecimiento al Biólogo Lemuel Vega por su amistad y apoyo durante todo el proceso llevado a cabo en la isla.

## DEDICATORIA

A mi familia, con la que siempre contaré en todos los momentos de mi vida.



# ÍNDICE

1.	<b>RESUMEN</b>	12
2.	<b>ABSTRAC</b>	13
3.	<b>INTRODUCCIÓN</b>	14
4.	<b><i>Chelonia mydas</i> (TORTUGA VERDE), BIOLOGIA DE LA ESPECIE</b>	16
4.1.	Morfología	16
4.2.	Distribución	17
4.3.	Ciclo de vida	17
4.4.	Problemática	20
5.	<b>DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO</b>	22
6.	<b>OBJETIVOS</b>	24
6.1.	Objetivo general	24
6.2.	Objetivos particulares	24
7.	<b>HIPOTESIS</b>	25
8.	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	25
9.	<b>MATERIALES Y METODOS</b>	26
9.1.	Experimentos de playa	26
9.2.	Experimentos de laboratorio	28
10.	<b>ANALISIS ESTADISTICOS</b>	30
10.1.	Experimentos en playa	30
10.2.	Experimentos en laboratorio	32
10.3.	Comparación de resultados entre los experimentos de playa y laboratorio	33
11.	<b>RESULTADOS</b>	33
11.1	Experimentos de Playa	33
11.1.2.	GLM multivariado	38
11.1.3.	Comparaciones múltiples (HSD de Tukey)	43
11.1.4.	Relación de variables en playa	43
11.1.5.	Proporción de sexos	45

11.2.	Experimentos de laboratorio	46
11.2.1.	Proporción de sexos	49
12.	<b>DISCUSIÓN</b>	50
12.1.	Experimentos de playa	50
12.2.	Experimentos de laboratorio	56
12.3.	Proporción de sexos	58
13.	<b>RECOMENDACIONES</b>	59
14.	<b>CONCLUSIONES</b>	60
15.	<b>LITERATURA CITADA</b>	62

#### Lista de Figuras y Cuadros

Figura 1	Rango de distribución de <i>Chelonia mydas</i> (Marine Turtle Red List Authority, 2004).	17
Figura 2	Hembra de <i>Cheloniomydas anidando</i> .	19
Figura 3	Embriones de <i>Chelonia mydas</i> en etapa 2 (lado izquierdo) y 3 (lado derecho).	20
Figura 4	Ubicación de la Isla Cozumel (INEGI, 2007).	23
Figura 5	Neonatos de <i>Chelonia mydas</i> saliendo del nido (lado izquierdo) y revisión de los restos del nido (lado derecho).	27
Figura 6	Relación de las variables número de huevos rosas en la nidada (Rosas) y porcentaje de eclosión (% de eclosión) <b>a)</b> , relación de las variables largo curvo del caparazón (LCC) y número de huevos rosas (Rosas) <b>b)</b> , relación de las variables largo curvo del caparazón (LCC) y número de huevos totales (No. de huevos) <b>c)</b> , relación de las variables porcentaje de huevos rosas en la nidada (% rosas) y porcentaje de eclosión (% de eclosión) <b>d)</b> , de <i>Chelonia mydas</i> .	44
Figura 7	Relación de las variables temperatura promedio de incubación (Temperatura) y porcentaje de eclosión sin huevos rosas (% E sin Rosas) en <i>Chelonia mydas</i> .	49
Cuadro 1	Variables dependientes tomadas de los nidos monitoreados en playa, *variables con varianza cero.	31

Cuadro 2	Datos estadísticos de las variables dependientes obtenidas en playa: Tiempo de incubación del nido, número de huevos, número de huevos excluyendo huevos rosas, temperatura promedio de incubación, largo curvo del caparazón (LCC) de la hembra anidadora, porcentaje de huevos sin desarrollo aparente, porcentaje de huevos en primera, segunda y tercera etapa de desarrollo al final del tiempo de incubación, número y porcentaje de huevos rosas, porcentaje de eclosión, porcentaje de eclosión excluyendo huevos rosas, diámetro de los huevos, humedad de la arena en el exterior del nido, humedad de la arena en el interior del nido y humedad de la arena a 1, 2 y 3 metros sobre el rastro dejado por la hembra.	35
Cuadro 3	Análisis de Componentes principales.	37
Cuadro 4	Relación que tienen las variables con cada componente.	38
Cuadro 5	Zona de anidación, número de huevos rosas, porcentaje de huevos rosas, porcentaje de eclosión, porcentaje de eclosión sin huevos rosas, humedad en el interior del nido, humedad en el exterior del nido, humedad a un metro del nido sobre el rastro dejado por la hembra, humedad a dos metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra y humedad a tres metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra en <i>Chelonia mydas</i> .	40
Cuadro 6	Tamaño de grano en el cual fue depositado el nido, número de huevos rosas, porcentaje de huevos rosas, porcentaje de eclosión, porcentaje de eclosión sin huevos rosas, humedad en el interior del nido, humedad en el exterior del nido, humedad a un metro del nido sobre el rastro dejado por la hembra, humedad a dos metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra y humedad a tres metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra en <i>Chelonia mydas</i> . La falta de datos se debe a depredación o saqueo.	42
Cuadro 7	Zona de anidación, tamaño de grano en el cual fue depositado el nido, temperatura promedio de anidación, temperatura promedio durante el periodo termosensible y proporción de machos en <i>Chelonia mydas</i> .	45
Cuadro 8	Tamaño de grano en el cual fue depositado el nido, temperatura promedio de anidación, temperatura promedio durante el periodo termosensible y proporción de machos en <i>Chelonia mydas</i> .	46
Cuadro 9	Resultado del GLM multivariado utilizando las variables periodo termosensible y proporción de machos. Con un nivel de confianza del 95%.	46

Cuadro 10	Datos estadísticos de las variables dependientes obtenidas en laboratorio: tiempo de incubación del nido, porcentaje de huevos sin desarrollo aparente, porcentaje de huevos en primera, segunda y tercera etapa de desarrollo al final del tiempo de incubación, porcentaje de eclosión sin tomar en cuenta huevos rosas y temperatura promedio de incubación.	47
Cuadro 11	Resultados del análisis de comparación múltiple. Todas las variables de laboratorio. Con un nivel de confianza del 95%.	48
Cuadro 13	Resultado del GLM multivariado utilizando las variables periodo termosensible y proporción de machos. Con un nivel de confianza del 95%.	50

# **Relación de las Variables Climáticas con la Nidificación, Éxito de Eclosión y Proporción de Sexos en Neonatos de *Chelonia mydas* en el Caribe de México.**

## **1. RESUMEN**

Existen ciertas características en las playas que tienen un gran impacto en la anidación de las tortugas marinas, estas son: el albedo, la distancia media al nivel del mar, la distancia del nido a la vegetación, la pendiente, la humedad, la temperatura, la salinidad, el pH, el tamaño del grano de arena, etc. El tamaño del grano de arena, la temperatura y la humedad son factores clave en el desarrollo de los embriones de las tortugas marinas, ya que, estas características son capaces de influir en el aumento o disminución del éxito de eclosión, la proporción de sexos, el tamaño de los neonatos y el tiempo de incubación de los huevos. Las tortugas marinas han subsistido aun cuando han existido cambios bruscos en el clima a lo largo de su historia en la Tierra, por lo cual, es importante identificar los mecanismos de amortiguación (elección del tamaño del grano, zonas, temperaturas y porcentajes de humedad) que han utilizado durante su anidación, para lograr adaptarse a la gran variedad de cambios climáticos que han afrontado a lo largo de su evolución. El estudio se realizó en tres sitios, dos playas que se encuentran dentro del campamento "San Martín", Playa Mezcalitos y Playa Punta Morena y una playa que se encuentra en el campamento "Punta sur", Playa Celarain. Se encontró que el rango de humedad elegido por las hembras para depositar sus huevos fue de 21.50 a 39.25%. Los nidos colocados en arena con grano grueso y medio presentaron un mayor porcentaje de eclosión que aquellos colocados en arena de grano fino. Mientras más grande es la hembra anidadora, mayor es la cantidad de huevos que deposita por nido. El porcentaje de eclosión en laboratorio fue mayor que lo reportado en publicaciones anteriores. Se encontró una tendencia que muestra un mayor porcentaje de eclosión en grano grueso que en grano mediano y fino, bajo condiciones de laboratorio. La proporción sexual en los neonatos no fue estadísticamente diferente de la proporción sexual 1:1. Las hembras de *C. mydas* presentaron una amplia gama de condiciones ambientales bajo las cuales anidan lo que refleja su plasticidad conductual permitiéndoles adaptarse a los diversos cambios ambientales presentes y futuros.

## 2. ABSTRACT

There are certain characteristics on the beaches that have a great impact on the nesting of sea turtles. Some of these are: albedo, mean distance to sea level, distance from nest to vegetation, slope, humidity, temperature, salinity, pH, sand grain size, etc. Sand grain size, temperature and humidity are key factors in the development of sea turtle embryos, and since these characteristics can influence the increase or decrease of hatching success, sex ratio, the size of the hatchlings and the incubation time of the eggs. Sea turtles have survived even though there have been abrupt changes in the climate throughout their history on Earth, so it is important to identify the damping mechanisms (choice of grain size, beach zones, temperatures and humidity percentages) used by sea turtles during nesting events, to adapt to the great variety of climatic changes that they have faced throughout their evolution. The present study was carried out in three sites, two beaches that are inside the Camp "San Martín", Playa Mezcalitos and Playa Punta Morena and a beach that is in the Camp "Punta Sur", Playa Celarain. The females from studied population chosen a range of humidity to lay their eggs between 21.50 to 39.25%. Nests were placed in coarse and medium sand grain size, with the result of a higher percentage of hatching compared with those nests placed in fine - grained sand. Larger females lay more eggs per nest. The percentage of hatched eggs in the laboratory was higher than that reported in previous publications. A trend of higher percentage of hatching in coarse grain than in medium and fine grain was found under laboratory conditions. The sex ratio in the neonates was not statistically different from the 1: 1 ratio. The females of *C. mydas* showed a wide range of environmental conditions under which they nest what reflects their behavioral plasticity allowing them to adapt to the diverse present and future environmental changes.

### 3. INTRODUCCIÓN

Existen ciertas características en las playas que tienen un gran impacto en la anidación de las tortugas marinas, como son: el albedo, la distancia media al nivel del mar, la distancia del nido a la vegetación, la pendiente, la humedad, la temperatura, la salinidad, el pH, el tamaño del grano de arena, etc. (Morreale et al., 1982; Johannes y Rimmer 1984; Mrosovsky et al., 1984; MacGehee, 1990; Hays et al., 1995; Garmenstani et al., 2000; Wood y Bjorndal, 2000; Balfour, 2004). El tamaño del grano de arena, la temperatura y la humedad, son factores clave en el desarrollo de los embriones de las tortugas marinas, ya que estas características son capaces de influir en el aumento o disminución del éxito de eclosión, la proporción sexual, el tamaño de los neonatos y el tiempo de incubación de los huevos (Needham, 1966; McGehee 1979; MacGehee, 1990; Bautista 1992; Garduño y Cervantes, 1996; Hineostroza y Páez, 2000; Balfour, 2004; Schaetzl y Anderson 2005; Arzola-González, 2007; Galicia et al., 1989; López 2002; Abella-Pérez, 2010; Zhang, 2010; LeBlanc et al., 2012; Chávez-Flores, 2013; Flores-Aguirre, 2016).

Muchos reptiles no poseen cromosomas sexuales, por lo que, la determinación sexual en ellos está ligada a la temperatura (Yntema y Mrosovsky, 1982; McCoy et al., 1983; Mrosovsky y Pieau, 1991; Garduño y Cervantes, 1996; Davenport, 1997). En los reptiles, existe una temperatura en la cual se obtiene una proporción sexual de igual número de hembras que de machos (1:1), denominada temperatura pivote (Mrosovsky y Pieau, 1991; Zhang et al., 2010). Las tortugas marinas presentan determinación sexual por medio de la temperatura durante una

etapa conocida como periodo termosensible, el cual, se da durante el segundo tercio de incubación (Mrosovsky y Pieau, 1991; Abella-Pérez, 2010; LeBlanc, 2012). La temperatura pivote para la tortuga verde (*Chelonia mydas*) es de 28.26°C, para *Eretmochelys imbricata* de 29.32°C, para *Caretta caretta* de 28.74°C y para *Lepidochelys olivacea* es de 29.13°C (Ackerman, 1997).

A nivel mundial se ha reportado una tendencia hacia la feminización de los neonatos de las tortugas marinas, debido a la acción de la temperatura se están dando más nacimientos de hembras que de machos (McCoy *et al.*, 1983; Garduño y Cervantes, 1996; Abella-Pérez, 2010; Johnston *et al.*, 2010; Moncada, 2011). La feminización de los neonatos se atribuye a los procesos de aumento en la temperatura que se está dando actualmente (IPCC, 2014), lo cual, tiene como consecuencia que los nidos se incuben a temperaturas superiores a la temperatura pivote, causando que la proporción de sexos se desvíe de la proporción esperada 1:1.

El tamaño de las crías en muchas especies tiene una relación directa con el tamaño de la nidada, lo cual se debe a la inversión materna, ya sea, en el tamaño o el número de su descendencia (Uller *et al.*, 2009). La inversión materna que hacen las tortugas marinas se ve reflejada en la gran cantidad de huevos que depositan y en la variedad de condiciones bajo las cuales colocan sus nidos (McGehee, 1990; Hineostroza y Páez, 2000; Balfour, 2004; Abella-Pérez, 2010; Zhang, 2010; Flores-Aguirre, 2016).

## 4. *Chelonia mydas* (TORTUGA VERDE), BIOLOGIA DE LA ESPECIE

### 4.1. Morfología

*Chelonia mydas* es comúnmente nombrada tortuga verde, aunque en algunas zonas también la llegan a nombrar como tortuga blanca. Se piensa que el nombre de tortuga verde hace alusión a su coloración externa, pero lo que realmente es verde en ellas es su grasa corporal (Hirth, 1997; Pritchard y Mortimer, 1999).

El caparazón de *C. mydas* presenta cinco escudos vertebrales, cuatro pares de escudos costales, doce pares de escudos marginales y cuatro pares de escudos inframarginales. Los escudos de su caparazón se encuentran yuxtapuestos (Hirth, 1997; Monzón-Argüello *et al.*, 2011). La cabeza de esta especie presenta un par de escamas frontales y cuatro pares de escamas postorbitales, tanto la mandíbula como la maxila se encuentran aserradas (Hirth, 1997, Monzón-Argüello *et al.*, 2011). El caparazón de las crías presenta un color que va del negro al gris oscuro, mientras que el plastrón presenta tonalidades blanquecinas; al ir creciendo el caparazón se torna de un color que va del verde-oliva al café oscuro y el plastrón se torna de un color amarillento. El tamaño del caparazón de la tortuga verde cuando recién salen del cascaron ronda los 50 milímetros de largo y al llegar a su talla máxima alcanza en promedio los 120 centímetros de largo recto (Hirth, 1997, Monzón-Argüello *et al.*, 2011).

## 4.2. Distribución

Las tortugas verdes se encuentran distribuidas alrededor de todo el mundo y se pueden encontrar comúnmente en todos los mares tropicales, entre los 40° Norte y los 40° de latitud Sur (Figura 1). Se les ha encontrado anidando en al menos 139 países y territorios (Hirth, 1997).



**Figura 1.** Rango de distribución de *Chelonia mydas* (Marine Turtle Red List Authority, 2004).

## 4.3. Ciclo de vida

Las tortugas verdes tienen un ciclo de vida idéntico al del resto de las tortugas marinas, el cual comienza con el momento en el cual el macho y la hembra copulan

en las aguas cercanas a la playa (Hirth, 1997). Después de la reproducción, la hembra sale a la playa en busca de un sitio para depositar su nido. Se ha propuesto que las tortugas marinas son capaces de detectar la humedad, y, de este modo, ubican el sitio apropiado, ya que, al avanzar ellas van enterrando su pico en la arena (Hirth, 1997).

Las tortugas verdes pueden colocar entre tres y cuatro nidos durante la temporada de anidación. La hembra realiza un nido en forma de cántaro con ayuda de sus patas traseras (Hirth, 1997; CONABIO, 2011). Cuando la hembra comienza a depositar sus huevos (en promedio colocan 123 huevos) entra en un estado en el cual no parecen recibir estímulos exteriores; al terminar de depositar su nido comienzan a cubrirlo con las patas traseras aplanando ligeramente la arena con ellas, después, comienza a lanzar arena con las patas delanteras y realiza un montículo conocido como cama (Hirth, 1997; CONABIO, 2011; Figura 2). La hembra, después de depositar sus nidos regresa al mar y realiza una larga migración hacia las zonas de alimentación. Las hembras anidan en intervalos de 2 a 4 años, colocando en promedio 3 nidos por vez en un periodo que va de 10 a 15 días (Hirth, 1997, CONABIO, 2011).



**Figura 2.** Hembra de *Chelonia mydas* anidando.

De acuerdo con Leslie et al. (1996), las etapas de desarrollo de los huevos en las tortugas marinas se pueden dividir en tres. La etapa 1 se caracteriza por la presencia de un embrión no pigmentado menor a 10 mm de largo y con vasos sanguíneos visibles, la etapa 2 se caracteriza por la presencia de un embrión que va de 10 a 20 mm de largo y que posee ojos pigmentados y la etapa 3 la cual se caracteriza por la presencia de un embrión mayor a 20 mm de largo totalmente pigmentado (Figura 3). Ocasionalmente las tortugas marinas colocan huevos infértiles los cuales solo contienen albumina, a estos huevos se les denomina huevos rosas por la coloración que adquieren al final de la etapa de incubación (Blanck y Sawyer, 1981).



**Figura 3.** Embriones de *Chelonia mydas* en etapa 2 (lado izquierdo) y 3 (lado derecho).

Cuando los neonatos salen del cascaron, estos esperan hasta que oscurece para salir de sus nidos (momento en el cual la cantidad de depredadores ha disminuido y las crías son menos visibles), posteriormente, comienzan un rápido recorrido hasta el mar (Hirth, 1997). Los neonatos al entrar al mar nadan de una forma rápida e ininterrumpida, a esto se le conoce como “frenesí natatorio”, tal comportamiento continua hasta llegar a una zona segura de alimentación, habitualmente con presencia de *Sargassum* (Hirth, 1997). A este periodo en la vida de las tortugas se le conoce como “los años perdidos” ya que se sabe muy poco acerca de lo que sucede con las crías durante esos años (Hirth, 1997; Meylan *et al.*, 1990). Posterior a estos años, las crías son reclutadas junto con los adultos en los sitios de alimentación, lugar desde el cual realizan una larga migración hasta las zonas en las que tiempo atrás nacieron (filopatría) para colocar sus nidos y comenzar el ciclo nuevamente (Hirth, 1997; Meylan *et al.*, 1990).

#### **4.4. Problemática**

En el Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés; 2007, 2014) se menciona que desde los años 1950s se ha observado un aumento

en la temperatura del aire en todo el mundo, a una tasa que fluctúa entre 0.10 °C y 0.16 °C por década. La temperatura en aumento ha causado que los cuerpos de nieve y hielo disminuyan, provocando un aumento en el nivel del mar (IPCC, 2007, 2014). El incremento en la temperatura global ha ocasionado que muchas especies se hayan desplazado a mayores latitudes o altitudes para mitigar el efecto del cambio climático (Chen *et al.*, 2011). Si el aumento de las temperaturas continúa se espera que se presente un cambio irreversible en los sistemas naturales y en muchas especies alrededor del mundo (IPCC, 2014).

En el siglo XXI se espera que la temperatura del aire aumente llegando a una tasa de 0.2 °C por década. El aumento en la temperatura del aire ocasionaría que los océanos se tornen más cálidos y el nivel del mar aumente, ocasionando que los eventos de precipitación extrema como los ciclones se vuelvan más intensos y frecuentes (IPCC, 2007; 2014).

El cambio climático produce afectaciones en la fisiología, la reproducción y la distribución en muchas especies (Gvozdik y Castilla, 2001; Pough *et al.*, 2001; Zachos *et al.*, 2001; Walter *et al.*, 2002; Dorcas *et al.*, 2004; Cleland *et al.*, 2006; López-Alcaide *et al.*, 2011). En el caso de las tortugas marinas, se ha observado que su anidación se ha visto modificada por el aumento de los ciclones, los cuales, coinciden con su temporada de anidación, provocando un bajo número de anidación en playas y mortalidad en los nidos (National Marine Fisheries Service and U.S. Fish and Wildlife Service 1998; Moncada, 2011).

Fish *et al.* (2009) afirman que si las tortugas marinas extendieran su temporada de anidación entonces serían capaces de mitigar los efectos negativos del aumento en la temperatura. Fish y Drews, (2009) y Fish *et al.* (2009), mencionan que, si las tortugas marinas no cambian sus sitios de anidación, entonces se producirá un efecto negativo que causará un descenso en sus poblaciones, y esperan que las tortugas marinas desarrollen comportamientos de desplazamiento espacial, y, de este modo, sean capaces de utilizar otras áreas de anidación.

Las tortugas marinas exhiben ciertos comportamientos que podrían amortiguar el efecto del aumento en la temperatura del planeta; un ejemplo de esto son el forrajeo y migración a gran escala, lo cual podría conferirles una gran capacidad de resiliencia y adaptación ante los efectos del cambio climático (Hawkes *et al.*, 2009). Las tortugas marinas depositan sus nidos bajo una amplia gama de condiciones ambientales (Morreale *et al.*, 1982; Johannes and Rimmer 1984; Mrosovsky *et al.*, 1984; MacGehee, 1990; Hays *et al.*, 1995; Garmenstani *et al.* 2000; Wood y Bjorndal 2000; Balfour, 2004), con base en los resultados que han obtenido los autores anteriores es de suponer que la plasticidad conductual mostrada por las tortugas marinas es lo que les ha permitido adaptarse a la gran cantidad de cambios que se han dado en el pasado.

## **5. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO**

El estudio se realizó en la isla de Cozumel ubicada en el Estado de Quintana Roo. Geográficamente, la isla se ubica entre los paralelos 20°35'20.4" y 20°19'16.6" de latitud norte y los meridianos 86°54'54" y 86°47'56.4" de longitud oeste (Figura



Morena y una playa que se encuentra en el campamento "Punta sur", Playa Celarain.

Playa Mezcalitos cuenta con un tamaño de grano grueso, Playa Punta Morena cuenta con tamaño de grano medio y Playa Celarain con tamaño de grano fino (Chávez-Flores, 2013).

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1. Objetivo general**

- ✓ Evaluar si existe una relación entre las variables ambientales (humedad y temperatura) y los factores físicos propios del ambiente litoral (tamaño de grano) sobre la nidificación (elección de playa y zona de anidación) y el éxito de eclosión de las crías de *Chelonia mydas* a lo largo de una temporada de anidación.

### **6.2. Objetivos particulares**

- ✓ Determinar si existe una relación entre los cambios de la temperatura del nido y el tipo de grano de la arena con el éxito de eclosión y el tiempo de incubación.
- ✓ Determinar si existe una relación entre la cantidad de huevos depositados por nido con el tamaño de grano, la zona de playa en la cual se depositó el nido o el tamaño de la hembra.
- ✓ Determinar si el porcentaje de humedad de la arena tiene alguna relación con el éxito de eclosión y el tiempo de incubación.

- ✓ Determinar cuál es el intervalo de humedad utilizado por las hembras para depositar sus huevos.
- ✓ Determinar cuál es la proporción de sexos tanto de los nidos de playa como de las muestras de nidos.

## **7. HIPOTESIS**

La temperatura de incubación se verá influenciada por el tamaño de grano y el porcentaje de humedad en el cual se incube el nido.

El porcentaje de eclosión será influenciado por el tamaño del grano, el porcentaje de humedad, la temperatura y la zona de playa en la cual se coloque el nido.

Se espera que la cantidad de huevos depositados por la hembra se vea influenciado por el tamaño de la hembra.

Las hembras de *Chelonia mydas* depositaran sus nidos de acuerdo a un rango de humedad y no de forma azarosa.

## **8. JUSTIFICACIÓN**

Las tortugas marinas han subsistido aun cuando han existido cambios bruscos en el clima a lo largo de su historia en la Tierra, por lo cual, es importante identificar los mecanismos de amortiguación (elección del tamaño del grano, zonas, temperaturas, porcentajes de humedad, entre otros) que han utilizado durante su anidación para lograr adaptarse a la gran variedad de cambios climáticos que han soportado a lo largo de su evolución. Es importante continuar investigando cómo se modifica la proporción de sexos en las tortugas marinas, mediante la manipulación de los diferentes factores que alteran la temperatura en el nido y cuáles son los factores (porcentaje de humedad, zona de playa y tamaño de grano) que maximizan

el éxito de eclosión en las diferentes playas y especies, de tal modo que se logre encontrar cuales son las condiciones más adecuadas para su anidación.

## **9. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizó una salida del 13 al 17 de abril del 2015, con la finalidad de identificar en que playas se medirían las distintas variables seleccionadas. El presente estudio se realizó en tres sitios, dos playas ubicadas dentro del campamento "San Martín", Playa Mezcalitos, la cual cuenta con un tamaño de grano grueso y Playa Punta morena, en la que se encuentra un tamaño de grano medio y una playa ubicada dentro del campamento "Punta sur", Playa Celarain, la cual cuenta con un tamaño de grano fino.

### **9.1. Experimentos en playa**

Se marcaron un total de 30 nidos (nueve en Punta Morena, 10 en Mezcalitos y 11 en Punta Sur) durante los meses de junio, julio y agosto. En el centro de cada nido se colocó un registrador de temperatura (*data logger*) modelo UA-001-08 HOBO® (Onset Computer Corporation, Bourne, Massachusetts), los cuales fueron programados para registrar la temperatura cada hora siguiendo la metodología propuesta por LeBlanc et al. (2012). Los registradores permitieron documentar la temperatura del nido a través de todo el periodo de incubación. Utilizando el "Acid and Moisture Tester" modelo HB-2 Kelway Soil® (Global Gilson Company Inc., Lewis Center, Columbus) se registró el porcentaje de humedad de la arena en la superficie del nido, en el interior y en tres puntos previos al sitio de deposición del nido (1, 2 y 3 m de distancia sobre el rastro dejado por la hembra), lo que permitió

conocer el porcentaje de humedad que eligen las hembras al momento de realizar sus nidos.

La zona en la cual fue colocado el nido (Infraplaya, mesoplaya o supraplaya; Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 1994), se registró mediante el uso de un GPS y se marcó con una estaca de madera, asimismo, se registró la Longitud Curva del Caparazón (LCC) de la hembra, el diámetro promedio de los huevos (con una muestra de 20 huevos por nido), el tamaño de la nidada y el tamaño del grano en el cual se colocaron los huevos. Al término del periodo de incubación se registró el éxito de eclosión en cada nido, se contabilizó el número de huevos rosas, el número de huevos sin desarrollo, el número de huevos en primera, segunda y tercera etapa de desarrollo y el tiempo de incubación en días (Figura 5).



**Figura 5.** Neonatos de *Chelonia mydas* saliendo del nido (lado izquierdo) y revisión de los restos del nido (lado derecho).

Con los datos obtenidos de los nidos, la playa y las hembras anidadoras se realizaron diversas regresiones lineales mediante el software estadístico "IBM SPSS Statistic" versión 17.0 (International Business Machines Corp. Armonk, New York) con un nivel de confianza del 95%, con el tamaño del grano registrado y la zona de playa en la cual fueron colocados los nidos (Infraplaya, mesoplaya o supraplaya). Se estimó la proporción de sexos de cada nido mediante el programa TSD (Temperature-dependent sex determination) versión 4.0.3 (Girodont, 1999) y se comparó entre zonas y tamaño de grano.

## **9.2. Experimentos en laboratorio**

Se tomaron huevos de 27 nidos que fueron depositados en el campamento Punta Sur (20 huevos por nido). Los huevos tomados fueron colocados en distintos tratamientos (nueve tratamientos con tres réplicas cada uno) en los cuales se registró la temperatura de acuerdo al tamaño de grano (fino, medio y grueso) y al porcentaje de humedad (25, 50 y 75%). Dentro de cada tratamiento se colocaron huevos provenientes de un mismo nido. El porcentaje de humedad se alcanzó añadiendo agua hasta alcanzar la proporción deseada; para lograrlo fue necesaria la ayuda del "Acid and Moisture Tester" modelo HB-2 Kelway Soil® (Global Gilson Company Inc., Lewis Center, Columbus).

Se utilizaron 27 recipientes plásticos con capacidad para 20 litros con hoyos de drenaje en la base, siguiendo la metodología propuesta por McGehee (1990) En cada recipiente se colocaron 20 huevos y arena correspondiente a alguno de los tres tamaños de grano. Se llenaron nueve recipientes con arena de grano fino,

nueve con arena de grano medio y nueve con arenas de grano grueso; una vez alcanzado el porcentaje de humedad deseado en cada tratamiento se registró el peso de los recipientes. En cada uno de los grupos de nueve, tres fueron mantenidos a 25%, tres a 50% y tres a 75% de humedad.

Los contenedores con los tratamientos fueron pesados cada dos días para verificar que siguieran con el mismo peso, de ser necesario se les agregó agua con el fin de mantenerlos con el mismo porcentaje de humedad con el que se inició el experimento. En todos los casos se colocó un registrador de temperatura (*data logger*) modelo UA-001-08 HOBO® (Onset Computer Corporation, Bourne, Massachusetts) dentro de los recipientes para registrar la variación de la temperatura a lo largo del periodo de incubación. Los tratamientos se mantuvieron en un sitio techado, a temperatura ambiente y aislados de depredadores naturales.

Una vez terminado el periodo de incubación, se documentó el éxito de eclosión contando el número de crías que emergieron, el número de huevos rosas encontrados, la etapa en la cual quedaron los embriones de los huevos que no emergieron y el tiempo de incubación. Adicionalmente, se estimó la proporción de sexos en cada tratamiento y se comparó entre los distintos porcentajes de humedad y el tamaño de grano.

Las crías de tortuga verde que nacieron fueron liberadas en las playas de las cuales fueron tomados los huevos originalmente y los huevos que no eclosionaron fueron enterrados en la arena.

## **10. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

### **10.1. Experimentos en playa**

Los análisis estadísticos realizados en este trabajo fueron efectuados mediante el software estadístico "IBM SPSS Statistic" versión 17.0 (International Business Machines Corp. Armonk, New York) con un  $\alpha$  de 0.05.

Se utilizó estadística descriptiva para analizar las variables enlistadas en el Cuadro 1. Para reducir el número de variables y encontrar el menor número de variables no correlacionadas (se excluyeron las variables que presentaron una varianza de cero, ya que el programa no permitía que fueran utilizadas) se utilizó un análisis de componentes principales (ACP) en las variables dependientes.

Los datos de los nidos en playa fueron examinados mediante dos análisis de modelos lineales generalizados multivariantes (GLM). El primero se llevó a cabo utilizando todas las variables independientes con cinco componentes principales (los cuales explican el 90.247 % de la varianza) obtenidos del ACP y las variables dependientes que no fueron incluidas en el análisis de componentes principales. El segundo se llevó a cabo utilizando todas las variables independientes por separado y todas las variables dependientes (Cuadro 1) y fue llevado a cabo por el hecho de que se obtuvo una diferencia cercana a 0.05 en uno de los componentes analizados durante el primer análisis y se quería saber si alguna de las variables que forman parte del componente presenta alguna diferencia significativa. Posteriormente, se realizó una prueba de comparaciones múltiples mediante una prueba Post Hoc

(Tukey HSD) en ambos casos. Se realizaron regresiones lineales entre las variables enlistadas en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Variables dependientes tomadas de los nidos monitoreados en playa, \*variables con varianza cero.

<b>Abreviación</b>	<b>Variables dependientes</b>
Tiempo (días)	Tiempo de eclosión en días
No. De huevos	Número de huevos
No. H Sin Rosas	Número de huevos excluyendo huevos rosas
T promedio	Temperatura promedio de incubación
LCC	Largo curvo del caparazón (LCC) de las hembras anidadoras
% sin desarrollo sr	*Porcentaje de huevos sin desarrollo excluyendo huevos rosas
% primera sr	*Porcentaje de huevos en primera etapa excluyendo huevos rosas
% segunda sr	*Porcentaje de huevos en segunda etapa excluyendo huevos rosas
% tercera sr	*Porcentaje de huevos en tercera etapa excluyendo huevos rosas
Rosas	Número de huevos rosas
% rosas	Porcentaje de huevos rosas
% de eclosión	Porcentaje de eclosión
% e sin R	Porcentaje de eclosión sin huevos rosas

Diámetro promedio h	Diámetro promedio de los huevos
Hum. Int.	Humedad interior del nido
Hum. Ext.	Humedad exterior del nido
Hum. 1m	Humedad a un metro del nido sobre el rastro dejado por la hembra
Hum. 2m	Humedad a dos metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra
Hum. 3m	Humedad a tres metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra

---

## 10.2. Experimentos en laboratorio

Se utilizó la estadística descriptiva para analizar las siguientes variables tomadas en el laboratorio: tiempo de eclosión en días, temperatura promedio de incubación, porcentaje de huevos en primera etapa, porcentaje de huevos en segunda etapa, porcentaje de huevos en tercera etapa, porcentaje de eclosión sin rosas, y temperatura promedio de incubación.

No se llevó a cabo un ACP al contar únicamente con siete variables de respuesta. Los datos recogidos de las variables tomadas en el laboratorio fueron examinados mediante un GLM multivariado. Se realizaron regresiones lineales entre las variables previamente mencionadas.

### **10.3. Comparación de resultados entre los experimentos en playa y laboratorio**

Se compararon los resultados obtenidos de la temperatura promedio, el periodo termosensible y la proporción de sexos entre los nidos de playa y los experimentos en laboratorio mediante una prueba de *t* student para muestras independientes mediante el software estadístico "IBM SPSS Statistic" versión 17.0 (International Business Machines Corp. Armonk, New York) con un nivel de confianza del 95%.

## **11.RESULTADOS**

### **11.1. Experimentos en Playa**

Se recabó información de los aspectos térmicos e hídricos de los nidos depositados en las distintas playas por las hembras de *Chelona mydas*, así como información acerca del tiempo de incubación de los nidos en playa, el número de huevos por nido tanto totales como excluyendo huevos rosas, el largo curvo del caparazón (LCC) de la hembra anidadora, el diámetro de los huevos, el número y porcentaje de huevos rosas, el porcentaje de huevos que se detuvieron en alguna etapa de desarrollo y el porcentaje de eclosión tanto total como excluyendo huevos rosas (Cuadro 2).

Las mediciones de humedad en el sitio en el cual las hembras colocaron sus nidos en playa mostraron que el intervalo de humedad utilizado por las hembras para depositar sus huevos varió del 21.50 a 39.25 %, valores que se encuentran

representados por el cuartil inferior y el cuartil superior en la variable humedad exterior (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Datos estadísticos de las variables dependientes obtenidas en playa: Tiempo de incubación del nido, numero de huevos, numero de huevos excluyendo huevos rosas, temperatura promedio de incubación, largo curvo del caparazón (LCC) de la hembra anidadora, porcentaje de huevos sin desarrollo aparente, porcentaje de huevos en primera, segunda y tercera etapa de desarrollo al final del tiempo de incubación, número y porcentaje de huevos rosas, porcentaje de eclosión, porcentaje de eclosión excluyendo huevos rosas, diámetro de los huevos, humedad de la arena en el exterior del nido, humedad de la arena en el interior del nido y humedad de la arena a 1, 2 y 3 metros sobre el rastro dejado por la hembra.

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Mediana)	75
Tiempo (días)	23	52.00	2.393	48	61	51.00	52.00	52.00
No. De huevos	29	128.07	16.020	97	174	117.00	132.00	137.50
No. H Sin Rosas	20	112.30	16.196	75	140	99.25	112.00	126.00
Temperatura promedio	19	31.48	.802	30	33	31.26	31.54	32.08
Largo Curvo del Caparazón	30	106.88	4.214	100	116	104.00	106.00	109.13
% sin desarrollo sr	20	4.95	22.152	0	99	.00	.00	.00
% primera sr	19	1.21	4.640	0	20	.00	.00	.00
% segunda sr	20	1.41	4.666	0	20	.00	.00	.00
% tercera sr	20	10.93	17.384	0	73	.00	4.72	11.64
Rosas	20	12.50	15.067	0	62	2.25	7.00	18.75
% rosas	21	9.24	11.079	0	45	1.60	5.15	13.90
% de eclosión	22	73.9789	26.68764	.82	100.00	66.0859	79.1375	93.0725
% e sin R	19	85.41	21.020	17	100	80.00	92.78	97.83
Diámetro promedio h	29	4.491	.1833	4.1	4.9	4.373	4.518	4.626
Humedad Interior	29	46.03	24.900	15	100	30.00	36.00	58.00
Humedad Exterior	30	36.83	23.659	9	100	21.50	30.50	39.25
Humedad a 1m	30	43.60	27.944	2	100	25.00	32.50	52.50
Humedad a 2m	30	38.33	27.675	5	100	18.00	30.00	48.50
Humedad a 3m	30	37.93	26.119	7	100	24.25	28.50	44.50

Con base en el ACP se identificaron cinco componentes, dentro de los cuales se engloba el 90.247 % de la varianza. El Componente 1 (Humedad del nido) se encuentra relacionado con las variables: tiempo de eclosión en días, humedad en el interior del nido, humedad en el exterior del nido, humedad a 1m del nido, humedad a 2m del nido y humedad a 3m del nido; el Componente 2 (Huevos rosas) se encuentra relacionado con las variables: número de huevos sin huevos rosas, número de huevos rosas, porcentaje de huevos rosas; diámetro promedio de los huevos y porcentaje de eclosión; el Componente 3 (Porcentaje de eclosión) se encuentra relacionado con las variables: tiempo en días, porcentaje de eclosión sin huevos rosas y porcentaje de eclosión; el Componente 4 se encuentra relacionado con las variables: tiempo de eclosión en días, temperatura promedio de incubación, largo curvo del caparazón y diámetro promedio de los huevos; y el Componente 5 (Número de huevos) se encuentra relacionado con las variables: número de huevos y número de huevos sin tomar en cuenta huevos rosas (Cuadro 3 y 4).

**Cuadro 3.** Análisis de Componentes principales.

<b>Varianza total explicada</b>									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
	1	4.710	31.402	31.402	4.710	31.402	31.402	4.433	29.554
2	3.813	25.418	56.820	3.813	25.418	56.820	2.714	18.093	47.647
3	2.202	14.680	71.500	2.202	14.680	71.500	2.682	17.878	65.525
4	1.561	10.405	81.905	1.561	10.405	81.905	1.922	12.816	78.341
5	1.251	8.342	90.247	1.251	8.342	90.247	1.786	11.906	90.247
6	.802	5.346	95.593						
7	.256	1.706	97.299						
8	.163	1.089	98.388						
9	.127	.848	99.236						
10	.060	.402	99.638						
11	.048	.322	99.960						
12	.005	.031	99.991						
13	.001	.007	99.998						
14	.000	.001	100.000						
15	2.273E-5	.000	100.000						

**Cuadro 4.** Relación que tienen las variables con cada componente.

Variable	Matriz de componentes rotados				
	Componente				
	1	2	3	4	5
Tiempo (días)	-0.367		-0.805	0.360	
No. De huevos					0.874
No. H Sin Rosas		-0.392			0.889
T promedio				-0.943	
LCC				0.777	
Rosas		0.972			
% rosas		0.971			
% de eclosión sin R			0.960		
Diámetro promedio		-0.569		0.334	
Hum. Int.	0.946				
Hum. Ext.	0.876				
Hum. 1m	0.937				
Hum. 2m	0.915				
Hum. 3m	0.856				
% de eclosión		-0.383	0.893		

### 11.1.2. GLM multivariado

El Componente 1 no difirió significativamente entre los nidos depositados en mesoplaya y supraplaya ( $F_{(1)}=4.636$ ,  $p=0.060$ ), aunque si se encontró mayor humedad en los nidos depositados en mesoplaya que en los nidos depositados en supraplaya (Cuadro 5). El Componente 3 difirió en los nidos en función del tamaño de grano ( $F_{(2)}=5.055$ ,  $p=0.034$ ;  $F_{(2)}=8.197$ ,  $p=0.009$ ) siendo mayor el porcentaje de eclosión en grano de tipo mediano y grueso que en grano de tipo fino (Cuadro 6). El Componente 2 difirió en los nidos dependiendo del tamaño de grano y la zona de

anidación ( $F_{(2)}=6.722$ ,  $p=0.016$ ), siendo mayor la cantidad de huevos rosas en grano de tamaño mediano y grueso que en grano de tamaño fino, así mismo fue mayor la cantidad de huevos rosas en supraplaya que en mesoplaya (Cuadro 5 y 6).

**Cuadro 5.** Zona de anidación, número de huevos rosas, porcentaje de huevos rosas, porcentaje de eclosión, porcentaje de eclosión sin huevos rosas, humedad en el interior del nido, humedad en el exterior del nido, humedad a un metro del nido sobre el rastro dejado por la hembra, humedad a dos metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra y humedad a tres metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra en *Chelonia mydas*.

Zona	Rosas	% rosas	% eclosión	% e sin R	%tsr	Hum. Int.	Hum. Ext.	Hum. 1m	Hum. 2m	Hum. 3m
	9.55	8.05	67.98	68.17	16.02	54.71	43.33	51.11	42.67	45.33
Mesoplaya	(±10.33)	(±8.07)	(±32.28)	(±35.55)	(±21.62)	(±27.97)	(±24.69)	(±31.84)	(±33.39)	(±30.57)
	16.11	12.37	82.64	94.22	4.91	33.75	27.08	32.33	31.83	26.83
Supraplaya	(±19.47)	(±14.14)	(±14.76)	(±5.07)	(±4.21)	(±12.62)	(±18.99)	(±16.16)	(±14.83)	(±11.43)

Los nidos colocados en arena de grano fino (Tipo 1) presentaron un mayor porcentaje de huevos en tercera etapa excluyendo rosas ( $p=0.027$ ), que aquellos depositados en arena con grano mediano (Tipo 2; Cuadro 6). Los nidos depositados en arena con grano mediano y arena con grano grueso (Tipo 3) presentaron un mayor porcentaje de eclosión (componente 3), que aquellos depositados en arena de grano fino ( $p=0.015$ ;  $p=0.012$ ) (Cuadro 6).

El porcentaje de eclosión sin huevos rosas fue mayor en supraplaya que en meso playa ( $F_{(1)} = 6.072$ ,  $p = 0.036$ ) y el porcentaje de humedad a 2 y 3 metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra fue mayor en mesoplaya que en supraplaya ( $F_{(1)}=5.915$ ,  $p=0.038$ ;  $F_{(1)}=5.749$ ,  $p=0.040$ ; Cuadro 5). El porcentaje de huevos en tercera etapa excluyendo rosas, el porcentaje de eclosión y el porcentaje de eclosión sin huevos rosas difirieron entre los nidos depositados en los distintos tamaños de grano ( $F_{(2)}=5.055$ ,  $p=0.034$ ;  $F_{(2)}=11.214$ ,  $p=0.004$ ;  $F_{(2)}=14.2594$ ,  $p=0.002$ ; Cuadro 6). El número de huevos rosas, el porcentaje de huevos rosas, el porcentaje de eclosión y porcentaje de eclosión sin huevos rosas difirió entre los nidos depositados en las distintas zonas de playa y los distintos tamaños de arena ( $F_{(2)}=8.839$ ,  $p=0.008$ ;  $F_{(2)}=9.019$ ,  $p=0.007$ ;  $F_{(2)}=7.471$ ,  $p=0.012$ ;  $F_{(2)}=4.565$ ,  $p=0.043$ ; Cuadro 5 y 6).

**Cuadro 6.** Tamaño de grano en el cual fue depositado el nido, número de huevos rosas, porcentaje de huevos rosas, porcentaje de eclosión, porcentaje de eclosión sin huevos rosas, humedad en el interior del nido, humedad en el exterior del nido, humedad a un metro del nido sobre el rastro dejado por la hembra, humedad a dos metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra y humedad a tres metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra en *Chelonia mydas*. La falta de datos se debe a depredación o saqueo.

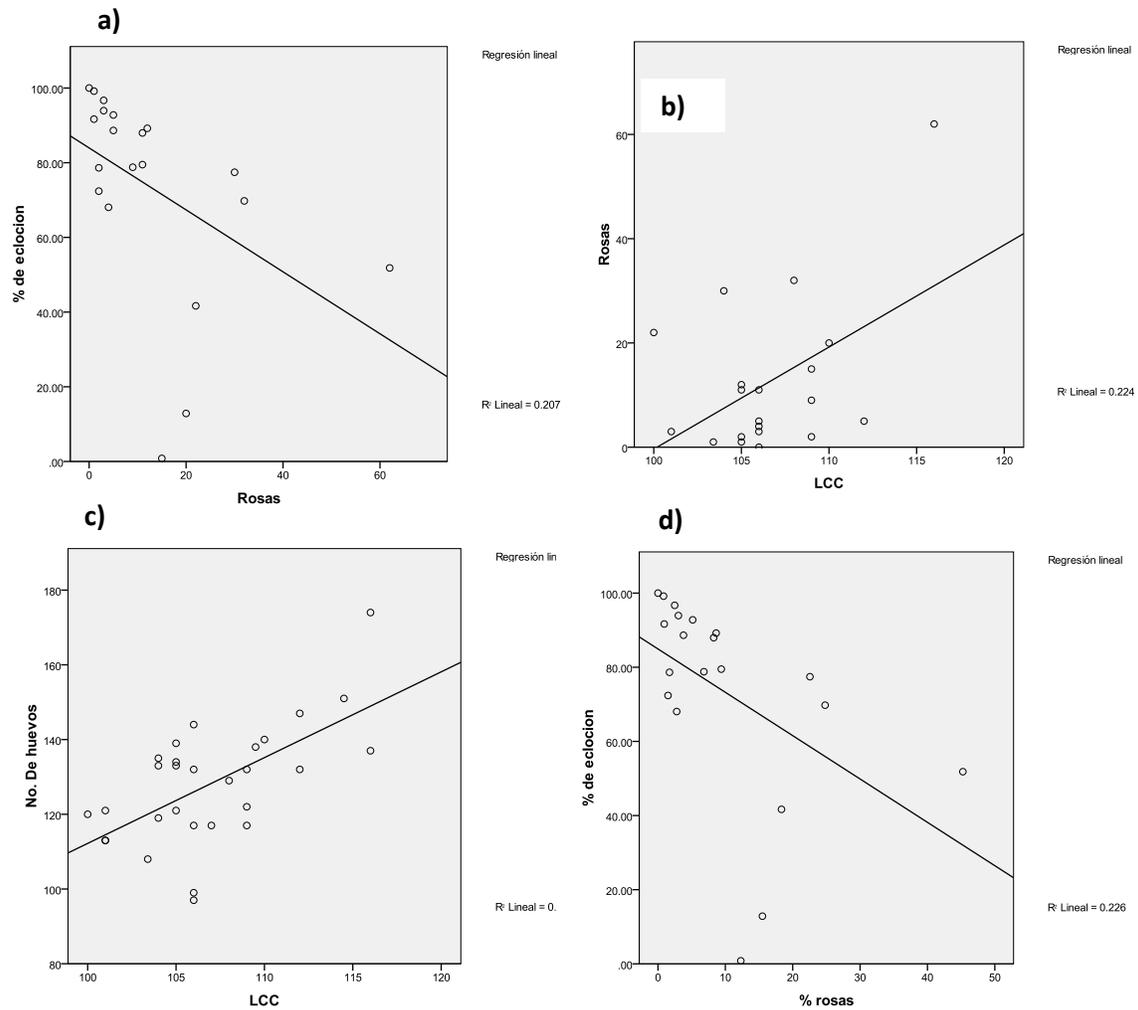
<b>Grano</b>	<b>Rosas</b>	<b>% rosas</b>	<b>% eclosión</b>	<b>% e sin R</b>	<b>%tsr</b>	<b>Hum. Int.</b>	<b>Hum. Ext.</b>	<b>Hum. 1m</b>	<b>Hum. 2m</b>	<b>Hum. 3m</b>
	9.40	7.33	65.78	63.90	25.05	56.40	46.18	50.73	40.27	47.55
Fino	(±10.62)	(±8.33)	(±30.62)	(±32.45)	(±26.64)	(±31.46)	(±28.01)	(±34.16)	(±36.94)	(±32.90)
	16.75	12.75	83.04	95.03	3.99	31.44	22.56	30.11	29.44	24.78
Mediano	(±20.71)	(±15.07)	(±15.63)	(±4.72)	(±3.40)	(±11.17)	(±10.47)	(±10.86)	(±10.93)	(±8.23)
	9.86	7.75	71.83	77.50	7.82	48.80	39.40	47.90	44.20	39.20
Grueso	(±10.14)	(±7.72)	(±32.76)	(±35.21)	(±9.80)	(±22.08)	(±22.72)	(±29.16)	(±26.91)	(±25.94)

### 11.1.3. Comparaciones múltiples (HSD de Tukey)

Se encontró un mayor porcentaje de huevos en tercera etapa excluyendo huevos rosas en los nidos depositados en la arena con grano fino, que en los nidos depositados en arena con grano mediano ( $p < 0.05$ ; Cuadro 6). Los nidos depositados en arena de grano mediano y grano grueso presentaron un mayor porcentaje de eclosión que aquellos depositados en arena de grano fino ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.05$ ; Cuadro 6). Los nidos depositados en arena de grano mediano y grano grueso presentaron un mayor porcentaje de eclosión (sin tomar en cuenta huevos rosas) que aquellos depositados en arena de grano fino ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.05$ ; Cuadro 6).

### 11.1.4. Relación de variables en playa

El número de huevos por nido se relacionó positivamente con el largo curvo del caparazón ( $R^2 = 0.37$ ,  $p = 0.0001$ ). El número de huevos rosas se relacionó positivamente con el largo curvo del caparazón ( $R^2 = 0.224$ ,  $p = 0.035$ ). El número de huevos rosas se encontró relacionado negativamente con el porcentaje de eclosión ( $R^2 = 0.207$ ,  $p = 0.044$ ). El porcentaje de huevos rosas se encontró negativamente relacionado con el porcentaje de eclosión ( $R^2 = 0.226$ ,  $p = 0.034$ ; Figura 6).



**Figura 6.** Relación de las variables número de huevos rosas en la nidada (Rosas) y porcentaje de eclosión (% de eclosión) **a)**, relación de las variables largo curvo del caparazón (LCC) y número de huevos rosas (Rosas) **b)**, relación de las variables largo curvo del caparazón (LCC) y número de huevos totales (No. de huevos) **c)**, relación de las variables porcentaje de huevos rosas en la nidada (% rosas) y porcentaje de eclosión (% de eclosión) **d)**, de *Chelonia mydas*.

La humedad registrada en el interior del nido y la primera temperatura registrada no se encuentran relacionadas. La humedad registrada en el interior del nido y el porcentaje de eclosión tampoco presentaron alguna relación significativa.

### 11.1.5 Proporción de sexos

La temperatura en el periodo termosensible en general varió entre 30.05 °C y 33.31 °C, con un promedio de 31.27 °C ( $\pm 0.73$ ); mientras que el porcentaje de machos varió entre 43.84% y 47.52%, con un promedio de 46.12% ( $\pm 0.008$ ), lo cual no difiere significativamente de la proporción sexual esperada de 1:1 ( $\chi^2_{(1)}=0.640$ ,  $p=0.424$ ; Cuadro 7 y 8).

**Cuadro 7.** Zona de anidación, tamaño de grano en el cual fue depositado el nido, temperatura promedio de anidación, temperatura promedio durante el periodo termosensible y proporción de machos en *Chelonia mydas*.

Zona	T promedio	Periodo termosensible	Proporción machos
	31.47	31.05	46.37
Mesoplaya	( $\pm 0.66$ )	( $\pm 0.57$ )	( $\pm 0.65$ )
	31.75	31.62	45.72
Supraplaya	( $\pm 0.77$ )	( $\pm 0.87$ )	( $\pm 0.97$ )

La temperatura en el periodo termosensible y la proporción de machos entre las distintas zonas de playa y los distintos tamaños de grano no presentaron diferencias significativas (Cuadros 7, 8 y 9). En el cuadro 9 se muestra la evidencia estadística que demuestra que no se encontraron diferencias en la temperatura promedio, el periodo termosensible y la proporción de machos.

**Cuadro 8.** Tamaño de grano en el cual fue depositado el nido, temperatura promedio de anidación, temperatura promedio durante el periodo termosensible y proporción de machos en *Chelonia mydas*.

Grano	T promedio	Periodo termosensible	Proporción machos
	31.79	31.32	46.07
Fino	(±0.89)	(±0.95)	(±1.06)
	31.49	31.31	46.07
Mediano	(±0.17)	(±0.56)	(±0.63)
	31.39	31.17	46.23
Grueso	(±0.84)	(±0.73)	(±0.84)

**Cuadro 9.** Resultado del GLM multivariado utilizando las variables periodo termosensible y proporción de machos. Con un nivel de confianza del 95%.

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	df	Media cuadrática	F	Sig.
Zona	Periodo termosensible	1.090	1	1.090	1.929	0.190
	Proporción machos	0.000	1	0.000	1.932	0.190
Grano	Periodo termosensible	0.206	2	0.103	0.182	0.836
	Proporción machos	2.642E-5	2	1.321E-5	0.182	0.836
Zona * Grano	Periodo termosensible	0.885	2	0.442	0.783	0.479
	Proporción machos	0.000	2	5.542E-5	0.764	0.487

## 11.2. Experimentos en laboratorio

Se recabó información acerca de la temperatura y el éxito de eclosión en los experimentos realizados en laboratorio con los huevos de *Chelona mydas*, así como información acerca del tiempo de incubación y el porcentaje de huevos que se detuvieron en alguna etapa de desarrollo. Los resultados se encuentran en el Cuadro 10.

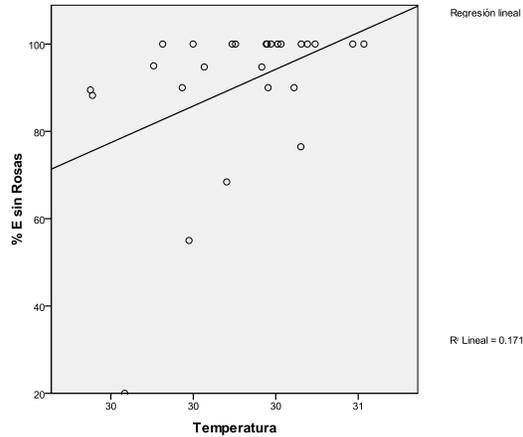
**Cuadro 10.** Datos estadísticos de las variables dependientes obtenidas en laboratorio: tiempo de incubación del nido, porcentaje de huevos sin desarrollo aparente, porcentaje de huevos en primera, segunda y tercera etapa de desarrollo al final del tiempo de incubación, porcentaje de eclosión sin tomar en cuenta huevos rosas y temperatura promedio de incubación.

<b>Estadísticos descriptivos</b>								
	N	Media	Desviación			Percentiles		
			típica	Mínimo	Máximo	25	50 (Mediana)	75
Tiempo (días)	27	53.33	.877	52	55	53.00	54.00	54.00
% sin desarrollo	27	1.98	10.264	0	53	.00	.00	.00
% primera	27	1.26	3.335	0	12	.00	.00	.00
%segunda	27	.19	.962	0	5	.00	.00	.00
% tercera	27	5.51	10.181	0	40	.00	.00	10.00
% E sin Rosas	27	90.82	17.898	20	100	90.00	100.00	100.00
Temperatura	26	30.31	.179	30	31	30.19	30.37	30.45

El tiempo de eclosión en días, el porcentaje de huevos sin desarrollo, el porcentaje de huevos que permanecieron en primera, segunda y tercera etapa, el porcentaje de eclosión sin contar huevos rosas y la temperatura entre los distintos tamaños de grano y los distintos porcentajes de humedad no presentaron diferencia significativa, aunque sí se pudo observar una tendencia en el porcentaje de eclosión, en la cual se observó un mayor porcentaje de eclosión en grano grueso ( $94.32 \pm 8.22$ ) que en grano mediano ( $88.30 \pm 25.97$ ) y fino ( $89.92 \pm 16.64$ ). En el Cuadro 11 se muestra la evidencia estadística que demuestra que no se encontraron diferencias en las variables previamente mencionadas. Por otro lado, la temperatura promedio de incubación se encuentra positivamente relacionada con el porcentaje de eclosión sin huevos rosas ( $R^2=0.21$ ,  $p=0.036$ ; Figura 7).

**Cuadro 11.** Resultados del análisis de comparación múltiple. Todas las variables de laboratorio. Con un nivel de confianza del 95%.

<b>Pruebas de los efectos inter-sujetos</b>						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Grano	Tiempo (días)	2.739	2	1.369	1.838	0.189
	% sin desarrollo	205.432	2	102.716	0.921	0.417
	% primera	50.087	2	25.044	2.363	0.124
	% segunda	1.667	2	0.833	0.850	0.445
	% tercera	241.175	2	120.587	1.049	.372
	% Eclosión sin huevos Rosas	179.945	2	89.973	0.252	0.780
	Temperatura	.017	2	0.009	0.269	0.767
Humedad	Tiempo (días)	.222	2	0.111	0.149	0.863
	% sin desarrollo	205.432	2	102.716	0.921	0.417
	% primera	7.100	2	3.550	0.335	0.720
	% segunda	1.806	2	0.903	0.921	0.417
	% tercera	252.638	2	126.319	1.099	0.356
	% E sin Rosas	1230.614	2	615.307	1.720	0.209
	Temperatura	.080	2	0.040	1.243	0.314
Grano *	Tiempo (días)	3.677	4	0.919	1.234	0.334
Humedad	% sin desarrollo	416.611	4	104.153	0.934	0.468
	% primera	48.549	4	12.137	1.145	0.369
	%segunda	3.535	4	0.884	0.902	0.485
	% tercera	165.040	4	41.260	0.359	0.834
	% E sin Rosas	732.562	4	183.141	0.512	0.728
	Temperatura	.144	4	0.036	1.128	0.376



**Figura 7.** Relación de las variables temperatura promedio de incubación (Temperatura) y porcentaje de eclosión sin huevos rosas (% E sin Rosas) en *Chelonia mydas*.

### 11.2.1. Proporción de sexos

La temperatura en el periodo termosensible varió entre 29.83°C y 30.96 °C, con un promedio de 30.31°C ( $\pm 0.21$ ). El porcentaje de neonatos machos vario entre 46.45% y 47.77%, con un promedio de 47.21% ( $\pm 0.002$ ), lo cual no difiere significativamente de la proporción sexual 1:1 ( $\chi^2_{(1)} = 0.360$ ,  $p = 0.549$ ; Cuadro 12).

La temperatura promedio en el periodo termosensible y el porcentaje de machos no difirió entre los distintos porcentajes de humedad y los distintos tipos de grano. En el Cuadro 13 se muestra la evidencia estadística que demuestra que no se encontraron diferencias en la temperatura promedio, en el periodo termosensible y el porcentaje de machos.

**Cuadro 13.** Resultado del GLM multivariado utilizando las variables periodo termosensible y proporción de machos. Con un nivel de confianza del 95%.

<b>Pruebas de los efectos inter-sujetos</b>						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media		
				cuadrática	F	Sig.
Grano	Periodo termosensible	0.163	2	0.081	2.030	0.162
	Proporción machos	2.206E-5	2	1.103E-5	2.022	0.163
Humedad	Periodo termosensible	0.187	2	0.094	2.340	0.127
	Proporción machos	2.543E-5	2	1.272E-5	2.331	0.127
Grano * Humedad	Periodo termosensible	0.159	4	0.040	0.995	0.437
	Proporción machos	2.169E-5	4	5.423E-6	0.994	0.437
	Proporción machos	0.0001	25			

## 12. DISCUSIÓN

### 12.1. Experimentos de playa

Márquez (1994) mencionó que la humedad en la arena es un factor determinante para la elección del sitio de anidación de las hembras de tortuga marina, donde describió para el género *Lepidochelys* una conducta en la cual las hembras entierran el pico en la arena, determinando así el sitio idóneo para depositar sus huevos.

El intervalo de humedad en el que se registró una mayor frecuencia de hembras anidando fue entre 21.50% y 39.25% de humedad relativa. Para Wood y Bjorndal (2000) la humedad podría ser un factor que las tortugas marinas toman en cuenta al seleccionar un sitio de anidación. Ellos encontraron en *Caretta caretta* que la humedad en el sitio de anidación era significativamente menor que aquella

encontrada a una distancia de entre 9 y 13.5 m del nido; también mencionan que la humedad podría no ser una variable que influya en el sitio de anidación, ya que esta varía rápida y constantemente en respuesta a la lluvia. Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede decir que la humedad es un factor importante para las tortugas marinas al momento de decidir en qué sitio anidar.

La humedad a dos y tres metros del nido sobre el rastro dejado por la hembra fueron mayores en la mesoplaya que en la supraplaya, lo cual, se debe a la cercanía que tiene la mesoplaya con la línea de marea (Mrosovsky, 1983). *Chelonia mydas* anida tanto en mesoplaya como en supraplaya, pero, se encontró que las hembras que anidan en supraplaya eran de mayor tamaño y colocaban un mayor número de huevos totales y un mayor número de huevos rosas, se sabe que las hembras de mayor tamaño colocan una mayor cantidad de huevos (Graeme *et al.*, 1993; Hirth, 1997). No se sabe con certeza el porqué de los huevos rosas (Caut *et al.*, 2006) pero en el presente documento se piensa que al ser hembras de mayor tamaño y ser capaces de cargar más huevos es posible que no todos los huevos hayan logrado ser fecundados durante el apareamiento, quedando así un mayor número de huevos rosas por nido.

El porcentaje de eclosión disminuyó al aumentar el número o porcentaje de huevos rosas en el nido; la disminución en el porcentaje de eclosión se debe a que, al haber una mayor cantidad de huevos rosas en el nido, se tiene una menor cantidad de huevos fértiles (resultados obtenidos en este estudio).

Los factores como la humedad y la temperatura afectan directamente en el tiempo de incubación de los huevos de las tortugas marinas (Durán–Nájera, 1991). El tiempo de incubación varió entre 48 y 61 días, con un promedio de 52 ( $\pm 2.39$ ) días, lo cual, concuerda con lo registrado para *Chelonia mydas* por Tomás (2004), pero, es inferior a lo registrado por Balazs (1980), quien reportó un tiempo de incubación de entre 54 y 88 días y un promedio de 64.5 días, la variación en el tiempo de incubación se debe a la gran variedad de condiciones bajo las cuales las tortugas marinas colocan sus huevos, la playa, la época del año y la temporada de anidación (Morreale *et al.*, 1982; Johannes y Rimmer 1984; Mrosovsky *et al.*, 1984; MacGehee, 1990; Hays *et al.*, 1995; Garmenstani *et al.*, 2000; Wood y Bjorndal 2000; Balfour, 2004), sin embargo, en este trabajo no se encontró ninguna relación entre las variables medidas en playa y el tiempo de incubación. Si las temperaturas a nivel mundial continúan aumentando es posible que el tiempo de incubación se vea reducido y se tenga un mayor nacimiento de hembras que de machos (McCoy *et al.*, 1983; Garduño y Cervantes, 1996; Abella-Pérez, 2010; Johnston *et al.*, 2010; Moncada, 2011).

Existe una correlación entre la talla de las tortugas y la edad (Guzmán *et al.*, 2008). En el presente estudio se encontró que el promedio del Largo Curvo del Caparazón (LCC) registrado en las hembras anidadoras fue de 106.88 cm ( $\pm 4.21$ ), dato que es similar a lo registrado por Rodríguez y Zambrano (1991) en el Cuyo Yucatán y por Chen y Cheng (1995) en la Isla Wan-An en Taiwan, con 108 cm y 103 cm respectivamente, no obstante, es menor a lo registrado por Marcovaldi y Laurent (1996) en Praia do Forte, Brasil, con un promedio de 123.3 cm de largo

curvo de carapacho; la variación en el LCC se debe a que la tasa de crecimiento varía ampliamente entre especies, poblaciones e incluso dentro de la misma población en respuesta a factores intrínsecos (sexo, genotipo y estado de salud) y ambientales (temperatura del agua, disponibilidad y calidad de la comida y oportunidades de forrajeo) (Bejorndal y Bolten, 1988; Eckert *et al.*, 2000).

El tamaño promedio de la nidada en *Chelonia mydas* es variable. Se sabe que existe una relación entre el tamaño de la nidada y el tamaño del caparazón de las hembras, en la cual, al aumentar el tamaño del caparazón, también aumenta el número de huevos por nido (Graeme *et al.*, 1993; Hirth, 1997). En este estudio se encontró un mayor número de huevos totales y huevos rosas por nido conforme se aumentaba el LCC de la hembra, lo cual se debe a que las hembras de mayor tamaño pueden invertir una mayor cantidad de energía en producir huevos (Graeme *et al.*, 1993; Hirth, 1997); se sabe que el número de huevos disminuye al avanzar en la temporada de anidación (Graeme *et al.*, 1993)

El número de huevos por nido varió entre 97 y 174, lo cual muestra un rango menor con respecto a lo registrado por Carr y Hirth (1962) en Tortuguero Costa Rica, quienes reportaron un rango que va de los 18 a los 193 huevos por nido, pero, un rango mayor con respecto a lo registrado por Gomuttapong *et al.*, (2013) en las Islas Similan en Tailandia, quienes reportaron un rango que va de los 80 a los 126 huevos por nido. El promedio de huevos registrado por nido fue de 128.07 ( $\pm 16.06$ ), cantidad que resulta ser mayor que la reportada por Gomuttapong *et al.*, (2013) en las Islas Similan en Tailandia y lo reportado por Carr y Hirth (1962) en Tortuguero Costa Rica, con 105 y 110 huevos en promedio respectivamente, pero, menor que

lo reportado por Pritchard (1969) en Surinam, con 142 huevos en promedio. La variación encontrada entre esas poblaciones se debe a la gran variedad de condiciones bajo las cuales se desarrollan las hembras de *Chelonia mydas* a lo largo de su rango de distribución (Hirth, 1997).

El diámetro de los huevos varía entre especies: *Eretmochelis imbricata* presenta un diámetro promedio de 36.4 mm, mientras que *Dermochelis coriácea* presenta un diámetro promedio de 52.3 mm (Márquez, 1996). El diámetro promedio de los huevos de *Chelonia mydas* registrado para este estudio fue de 44.9 mm ( $\pm 0.18$ ), el cual es mayor al registrado por Balazs (1980) y Bjorndal y Carr (1989), quienes reportaron un diámetro promedio de 44 mm. *Chelonia mydas* presenta un diámetro promedio del huevo entre 40 y 46 mm (Pritchard y Mortimer, 1999). Al igual que en la cantidad de huevos depositados por nido, la variación en el diámetro encontrado en tres distintas poblaciones de *Chelonia mydas* podría deberse a la gran cantidad de condiciones bajo las cuales se desarrollan y alimentan las hembras dependiendo del sitio en el cual se encuentran (Hirth, 1997).

La incubación de los huevos se ve influenciada por la temperatura y la humedad, ya que, se ha demostrado que estos factores cumplen un importante papel en el desarrollo adecuado de los embriones (Fish et al. 2009). La temperatura promedio de incubación tuvo un rango de entre los 31.26 y 32.08 °C, la cual, varía con respecto a lo registrado por Broderick et al., (2000), quienes obtuvieron un rango de temperatura promedio que va de los 29 a los 32.5 °C; la variación en la temperatura se debe a la influenciada de factores ecológicos (distancia del nido a la vegetación, distancia del nido a la línea de marea, lluvia, albedo, tamaño del grano

y profundidad del nido) y al calor metabólico que generan los embriones dentro del nido (Hays *et al.* 2001; Matsuzawa *et al.* 2002; Glen y Mrosovsky 2004).

El porcentaje de eclosión registrado en este estudio fue de 85.41 % ( $\pm 21.02$ ) sin huevos rosas y de 73.98 % ( $\pm 26.69$ ) con huevos rosas (forma común de calcular el porcentaje de eclosión). El porcentaje de eclosión fue menor al reportado por Bustard (1972) en la Isla Herron en Australia, quien registró un promedio de eclosión de 88% entre 1966-67 y 85% entre 1867-68 y por Rodríguez y Zambrano (1991) en El Cuyo, México, quienes reportaron un promedio de eclosión del 86.5%; la variación en el porcentaje de eclosión se debe a múltiples factores, entre los que se encuentran: depredadores, fenómenos meteorológicos, exceso o falta de humedad y temperatura (Carthy *et al.*, 2003; Miller *et al.*, 2003; Da Graça *et al.*, 2010). En este estudio el mayor problema para los nidos que se observó fueron los depredadores (mapaches, cuatíes y hormigas) y la humedad que quedaba atrapada dentro de los nidos que eran depositados en la mesoplaya.

El porcentaje de eclosión fue mayor en los nidos colocados en arena con grano mediano y grueso que en aquellos colocados en arena de grano fino, lo cual concuerda con lo encontrado por Chávez-Flores (2013) para *Chelonia mydas*. Los nidos colocados en arena de grano fino presentaron un mayor porcentaje de huevos en tercera etapa, excluyendo huevos rosas, que aquellos depositados en arena con grano mediano; las ventajas proporcionadas por la arena de grano grueso se deben a que a mayor tamaño de grano el agua fluye con mayor facilidad evitando que quede atrapada en la cámara del nido, lo que evita a su vez que los embriones

mueran ahogados o baje demasiado la temperatura y su desarrollo se vea interrumpido (Schaetzl y Anderson 2005; Fish et al., 2009).

## **12. 2. Experimentos de laboratorio**

Los factores como la humedad y la temperatura afectan directamente en el tiempo de incubación de los huevos de las tortugas marinas (Durán–Nájera, 1991). El tiempo de incubación promedio en condiciones de laboratorio fue de 53.33 ( $\pm 0.88$ ) días lo que concuerda con lo registrado para la especie por Tomás 2004, pero, es inferior a lo registrado por Balazs (1980), quien reporto un tiempo de incubación de entre 54 y 88 días y promedio de 64.5 días; la variación en el tiempo de incubación depende de las condiciones bajo las cuales las tortugas marinas colocan sus huevos, la playa, la época del año, la humedad y la temporada de anidación (Morreale *et al.*, 1982; Johannes y Rimmer 1984; Mrosovsky *et al.*, 1984; MacGehee, 1990; Hays *et al.*, 1995; Garmenstani *et al.*, 2000; Wood and Bjorndal 2000; Balfour, 2004), aunque, en el presente trabajo no se encontró ninguna relación entre las variables medidas (humedad y temperatura) y el tiempo de incubación.

La temperatura dentro de la cámara del nido se ve influenciada tanto por factores ecológicos (distancia del nido a la vegetación, distancia del nido a la línea de marea, lluvia, albedo, tamaño del grano y profundidad del nido), como por el calor metabólico de los embriones (se da durante el segundo tercio de incubación; Hays *et al.* 2001; Matsuzawa et al. 2002; Glen y Mrosovsky 2004). En este caso, las variables que afectaron la temperatura de anidación fueron: Humedad, tamaño de

grano, sombra y calor metabólico. La temperatura promedio de incubación fue de 30.31 °C ( $\pm 1.8$ ) siendo muy similar a lo registrado por Broderick et al. (2000) quienes obtuvieron un rango de temperatura promedio que va de los 29 a los 32.5 ° C. La temperatura promedio registrada en el laboratorio fue menor que la registrada en las condiciones de playa; la disminución en la temperatura encontrada en el laboratorio es debida a que los experimento se encontraban bajo techo y por lo tanto existe una menor influencia de la irradiación solar en la temperatura de incubación (Hays et al., 1995).

En el presente estudio se encontró que al aumentar la temperatura promedio de incubación aumentaba el porcentaje de eclosión, lo anterior nos indica que la temperatura es uno de los factores determinantes en el éxito de una nidada. Cuando la anidación es llevada a cabo a temperaturas mayores se podría ocasionar la feminización de las crías (Miller y Limpus 1981; Mrosovsky et al., 1992). Como consecuencia se obtiene un mayor porcentaje de eclosión (datos obtenidos en este estudio), pero, un mayor porcentaje de hembras (Mrosovsky et al., 1992).

El porcentaje de eclosión en las tortugas marinas se puede ver influenciado por múltiples factores, entre los que se encuentran: depredadores, fenómenos meteorológicos, exceso o falta de humedad y temperatura (Carthy *et al.*, 2003; Miller *et al.*, 2003; Da Graça *et al.*, 2010). El porcentaje de eclosión promedio fue de 90.82 % ( $\pm 17.9$ ), siendo mayor a lo encontrado por Rodríguez y Zambrano (1991), quienes reportaron un 86.5 % de eclosión. El porcentaje de eclosión que encontramos en las condiciones de laboratorio fue mayor al encontrado *in situ*, esto se atribuye a la poca variación a la cual fueron expuestos los huevos en las condiciones de

laboratorio y a la ausencia de depredadores naturales, los cuales pudieron ser observados alimentándose de los nidos en diversas ocasiones.

En el presente estudio no se encontraron diferencias en el porcentaje de eclosión obtenido en los distintos tratamientos a los cuales fueron sujetos los huevos, durante los cuales se varió el porcentaje de humedad y el tamaño de grano. A pesar de la baja cantidad de muestra, fue posible encontrar una tendencia que apunta a un mayor porcentaje de eclosión en grano grueso que en grano mediano y fino. Aunque, por otro lado, Mortimer (1990) sugiere que los nidos colocados en arena gruesa presentaron un mayor estrés fisiológico que los colocados en arena fina.

### **12. 3. Proporción de sexos**

La determinación del sexo dependiente de la temperatura de incubación ha despertado un especial interés en los últimos años, ya que, este fenómeno puede llegar a producir una proporción sesgada de sexos (Miller y Limpus 1981; Mrosovsky *et al.*, 1992; Johnston *et al.*, 2010), la cual ha sido encontrada en varias ocasiones, tanto en *C. mydas* como en otras especies de tortugas marinas, en las cuales se ha visto un importante número de hembras nacidas en comparación con el número de machos (Mrosovsky y Provanha 1989, 1992; Johnston *et al.*, 2010; Leblanc *et al.*, 2012).

En este estudio se encontró un 53.33% en promedio de hembras por nido, lo cual no difiere de la proporción 1:1, mientras que Hinestroza y Páez (2000) encontraron en *Lepidochelys olivacea* un porcentaje de tan solo 16% de hembras.

Si las temperaturas a nivel mundial continúan en aumento es posible que se encuentren más casos en los cuales se encuentre una proporción sesgada hacia hembras en los nidos de *Chelonia mydas* (Miller y Limpus 1981; Mrosovsky *et al.*, 1992; Johnston *et al.*, 2010), por lo cual, es necesario realizar más investigación que nos permita determinar cómo se está comportando este fenómeno a nivel mundial o que tanto varia la proporción sexual dependiendo de la especie, el año y el sitio de estudio.

### **13.RECOMENDACIONES**

- ✓ Continuar investigando cual es la influencia que tienen los factores ambientales humedad, temperatura y tamaño de grano en nidos experimentales, para poder predecir cómo estos factores modifican el éxito de eclosión en distintas especies y localidades.
- ✓ Que en los campamentos tortugeros se coloque dentro de los corrales arena de tamaño medio a grueso y tratar de mantener la humedad de la arena en un 25% ya que este porcentaje de humedad es el que se ha demostrado que promueve el adecuado desarrollo de los embriones y maximiza el éxito de eclosión.
- ✓ Documentar la proporción de sexos por localidad y determinar si en realidad se está observando un proceso de feminización o masculinización de las poblaciones.
- ✓ Aumentar el esfuerzo de conservación en las poblaciones de tortugas adultas, ya que se ha documentado tanto en este trabajo como en trabajos anteriores

que mientras más grande es la hembra anidadora, coloca una mayor cantidad de huevos por nido.

- ✓ Generar y recuperar la información histórica tanto de anidaciones previas, como de los factores ambientales que influyen en el éxito de eclosión (Temperatura promedio y precipitación promedio durante la temporada de anidación), proporción sexual y temporadas de migración de las tortugas marinas, para así tener un mejor panorama de cómo se han ido modificando las poblaciones de las diferentes especies.
- ✓ Hacer proyecciones que permitan determinar los efectos del cambio climático global en las poblaciones de las tortugas marinas, tomando en cuenta los factores ambientales que influyen en la anidación.
- ✓ Que los campamentos tortugeros tengan una base de datos abierta y de acceso en línea, que permita a los investigadores de todo el mundo el libre acceso a la información.

#### **14. CONCLUSIONES**

- ✓ La humedad tiene una influencia en el sitio elegido por la hembra para colocar su nido. Los datos demuestran que, si se tiene un gradiente de humedad en la playa de anidación, las hembras se dirigen hacia un intervalo de humedad cercano al 25%.
- ✓ El tamaño de grano en el cual es depositado el nido tiene una influencia en el desarrollo provocando que los huevos no eclosionen y disminuya el éxito reproductivo.

- ✓ El tamaño del grano en el cual es colocado el nido tiene influencia en el porcentaje de eclosión registrado en los nidos.
- ✓ El tamaño del grano y la zona de anidación tienen influencia en la cantidad de huevos rosas colocados por la hembra dentro del nido.
- ✓ El tamaño de la hembra influye en la cantidad de huevos que coloca por nido, mientras más grande es la hembra anidadora, mayor es la cantidad de huevos que deposita por nido.
- ✓ El número o el porcentaje de huevos rosas por nido tienen influencia en el éxito de eclosión.
- ✓ La proporción sexual encontrada tanto en playa como en laboratorio no fue significativamente diferente de la proporción sexual 1:1.
- ✓ Las hembras de *C. mydas* presentaron una amplia gama de condiciones ambientales bajo las cuales anidan lo que les ha permitido adaptarse a los diversos cambios ambientales por los que han pasado y están por pasar.

## 15. LITERATURA CITADA

- Abella-Pérez, E. 2010. Factores Ambientales y de Manejo que Afectan al Desarrollo Embrionario de la Tortuga Marina *Caretta caretta*. Implicaciones en Programas de Incubación Controlada. Tesis, Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. España. 212 p.
- Ackerman, R.A. 1997. The nest environment and the embryonic development of sea turtles. *In* The Biology of Sea Turtles, P.L. Lutz y J. A. Musick (eds). Chemical Rubber Company (CRC) Press. p. 83-106.
- Arzola-González, J. 2007. Humedad y temperatura en nidos naturales y artificiales de tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz 1829), *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 42(3): 377-383.
- Balazs, G. H. 1980. Synopsis of biological data on the green turtle in the Hawaiian Islands. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS, NOAA-TM-NMFS-SWFC-7, 141 pp.
- Balazs, G. H. 1982. Growth rates of immature green turtles in the Hawaiian archipelago. *In* Biology and Conservation of Sea Turtles, K.A. Bjorndal (eds). Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. p. 117–125.
- Bautista, H. F. 1992. Relación de la humedad del ambiente incubatorio en el avivamiento de *Lepidochelys olivacea* (tortuga golfina) en las playas de La Escobilla, Oaxaca. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 63p.
- Balfour, E. B. 2004. Abiotic differences between green turtle (*Chelonia mydas*) nest in natural beaches and engineered dunes: effects on hatching success. Tesis, University of Central Florida, Orlando, Florida 42p.
- Bjorndalk, A. y A. B. Bolten. 1988. Growth rates of immature green turtles, *Chelonia mydas*, on feeding grounds in the southern Bahamas. *Copeia* 1988(3): 555-564.
- Bjorndal, K. A. and A. Carr. 1989. Variation in clutch size and egg size in the green turtle nesting population at Tortuguero, Costa Rica. *Herpetologica* 45(2): 181-189.
- Blanck, C. E. and Sawyer, R. H. 1981. Hatchery practices in relation to early embryology of the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta* (Linne). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 49(2-3):163-177
- Broderick, A. C, Godley BJ, Reece S, Downie JR. 2000. Incubation periods and sex ratios of green turtles: highly female biased hatchling production in eastern Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 202: 273–281.

- Bustard, H. R. 1972. Sea turtles: Their natural history and conservation. William Collins & Sons, London. 220 pp.
- Carr, A, y H. Hirth. 1962. The ecology and migrations of sea turtles, 5o Comparative features of isolated Green turtle colonies. American Museum Novitates, 2091: 42p.
- Carranza-Edwards, A. y M. Caso Chávez. 1994. Zonificación del perfil de playa. Boletín informativo del Área de Ciencias de la Tierra. México, D. F. 2 (II): 26-32.
- Carthy, R. R., A. M. Foley y Y. Matsuzawa. 2003. Incubation environment of loggerhead turtle nests: effects on hatching success and hatchling characteristics, *In: Loggerhead sea turtles*, A. B. Bolten y B. E. Witherington (eds.). Smithsonian Books, Washington, p. 144-153.
- Chávez-Flores, T. G. 2013. Influencia de las variables climáticas sobre la nidificación, éxito de eclosión y proporción de sexos de neonatos de *Chelonia mydas* en isla Cozumel, Quintana Roo México. Tesis, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 129 p.
- Chen, C., J. K. Hill, R. Ohlemüller, D. B. Roy y C. D. Thomas. 2011. Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science* 333(6045):1024-6.
- Chen, T. H., Cheng, I. J. (1995). Breeding biology of the green turtle, *Chelonia mydas*, (Reptilia: Cheloniidae) on Wan-An Island, Peng-Hu Archipelago, Taiwan. I. Nesting ecology. *Marine Biology*, 124: 9-15.
- CONANP. 2011. Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Tortuga verde/negra, *Chelonia mydas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 52 p.
- Cleland, E.E., N.R. Chiariello, S.R. Loarie, H.A. Mooney, y C.B. Field. 2006. Diverse responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 103 (37): 13740-13744.
- Da Graça J, Marco A, Garcia Cerdá R, Ikarán M, Alberca E, Abella E, Freitas RP y López Jurado LF, 2010. Massive loggerhead nest predation by ghost crabs in Boavista Island (Cape Verde): implications of the absence of large predators, *In: 30st Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*, Goa (India).
- Davenport, J. 1997. Temperature and the life-history strategies of sea turtles. *Journal of Thermal Biology*, 22: 479-488.

- Dorcas, M. E., Hopkins W.A. & Roe, J. H. 2004. Effects of body mass and temperature on standard metabolic rate in the eastern Diamondback rattlesnake (*Crotalus adamanteus*). *Copeia*, 1: 145–151.
- Durán-Nájera J. J. 1991. Anidación de la tortuga blanca, *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) (Testudines: Cheloniidae), en Isla Contoy, México. *Revista de Biología Tropical*, 39 (1): 149-152.
- Eckert, K. L., K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois y M. Donnelly (Editores). 2000 (Traducción al español). Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4.
- Fish, M.R. y C. Drews. 2009. Adaptación al cambio climático: opciones para las tortugas marinas. Informe de WWF, San José, 20 p.
- Fish, M.R., A. Lombana y C. Drews. 2009. Cambio climático y tortugas marinas en el Gran Caribe: proyecciones climáticas regionales. Informe de WWF, San José, 20 p.
- Flores-Aguirre, C. D. 2016. Caracterización de nidos e influencia de las variables climáticas en los neonatos de las tortugas marinas *Eretmochelys imbricata*. Tesis, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 72 p.
- Galicia, P, E. Hernández, C. López y R. Nieves. 1989. Influencia de la humedad de incubación sobre el porcentaje de avivamiento en tortuga golfina y laúd en el Playón de Mexiquillo, Michoacán, durante la temporada de anidación 1987-1988. Memorias del V Encuentro Interuniversitario sobre las Tortugas Marinas en México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. CONACYT. p. 162-174
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para la república mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 90 p.
- Garduño, M y E Cervantes. 1996. Influencia de la temperatura y la humedad en la sobrevivencia en nidos in situ y en corral de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en Las Coloradas, Yucatán, México. INP. SEMARNAP. *Ciencia Pesquera*, 12: 90-97.
- Garmenstani, A. S. H. F Percival, K. M. Portier y K. G. Rice. 2000. Nest-site selection by the loggerhead sea turtle in Florida's Ten Thousand Islands. *Journal of Herpetology*, 34: 504–510.

- Girondot, M. 1999. Statistical description of temperature-dependent sex determination using maximum likelihood Evolutionary Ecology Research, 1: 479–486pp.
- Glen, F. y Mrosovsky, N. 2004. Antigua revisited: the impact of climate change on sand and nest temperatures at a hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) nesting beach. Global Change Biology, 10: 2036-2045.
- Godfrey, M. H. y N. Mrosovsky. 2006. Pivotal temperature for green sea turtles, *Chelonia mydas*, nesting in Suriname. Herpetological Journal, 16: 55-61.
- Gomuttapong, S., W. Klom-In, J. Kitana, P. Pariyanonth, K. Thirakhupt, N. Kitana. 2013. Green Turtle, *Chelonia mydas*, Nesting and Temperature Profile of the Nesting Beach at Huyong Island, the Similan Islands in Andaman Sea. Natural Resources, 4: 357-361.
- Graeme, C., C. R. Adams y J. R. Speakman. 1993. Reproductive investment by green turtles nesting on Ascension Island. Canadian Journal of Zoology, 71(6): 1098-1103.
- Guzmán, V., F. E Cuevas, F. A. Abreu-G., B. González-G., A. P. García, y R. P. Huerta. 2008. Resultados de la reunión del grupo de trabajo de la tortuga Carey en el Atlántico mexicano. Memorias. CONANP/EPC/ APFFLT /PNCTM/. ix+244pp.
- Gvozdik, L y A. M. Castilla. 2001. A comparative study of preferred body temperatures and critical thermal tolerance limits among populations of *Zootoca vivipara* (Squamata: Lacertidae) along an altitudinal gradient. Journal of Herpetology, 35 (3): 486–492.
- López-Alcaide, S. y R. Macip-Ríos. 2011. Effects of Climate Change in Amphibians and Reptiles, *In* Biodiversity Loss in a Changing Planet, O. Grillo y G. Venora (eds.). Environmental Sciences. P. 164-184.
- Hawkes, L. A., A. C. Broderick, M. H. Godfrey y B. J. Godley. 2009. Climate change and marine turtles. Endangered species research, 7: 137–154.
- Hays, G. C., Ashworth, J. S., Barnsley, M. J., Broderick, A. C., Emery, D. R., Godley, B. J., Henwood, A. y Jones, E. L. 2001. The importance of sand albedo for the thermal conditions on sea turtle nesting beaches. Oikos, 93(1): 87-94.
- Hays, G. C., Mackay, A. Adams, C. R. Mortimer, J. A. Speakman, J. R. 1995. Nest site selection by sea turtles. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 75: 667-674.
- Hinestroza, L. M. y V. P. Páez. 2000. Anidación y manejo de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en la playa La cuevita, Bahía Solano, Chocó, Colombia. Cuadernos Herpetologicos 14(2):131-144.

- Hirth, H. F. 1997. Synopsis of the Biological Data on the Green Turtle, *Chelonia mydas* (Linnaeus 1758). Biological Report 97(1):1-129.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2007. Mapa de Cozumel. Escal: 1:250 000. Datum: ITRF92 época 1988.0.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof y Coautores 2007: Resumen Técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: Climate Change. 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L. L. White (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp: 1-32.
- Johannes, R. E. y D. W. Rimmer. 1984. Some distinguishing characteristics of nesting beaches of the green turtles, *Chelonia mydas* on North West Cape Peninsula, Western Australia. Marine Biology, 83:149-154.
- LeBlanc, A. M., K. K. Drake, K. L. Williams, M. G. Frick, T. Wibbels and D. C. Rostal. 2012. Nest Temperatures and Hatchling Sex Ratios from Loggerhead Turtle Nests Incubated Under Natural Field Conditions in Georgia, United States. Chelonian Conservation and Biology 11(1): 108–116.
- Leslie, A.J., Penick, D.N., Spotila, J.R., Paladino, F.V., 1996. Leatherback turtle, *Dermochelys coriacea*, nesting and nest success at Tortuguero, Costa Rica, in 1990–1991. Chelonian Conservation and Biology 2, 159–168.
- Limpus, C. J. 1980. The Green turtle in Eastern Australia. In Management of turtles resources, Research Monograph 1, James Cook University Queensland. p. 5-22.
- López, M. 2002. Densidad y características de anidación de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), en Cabo Pulmo, B.C.S. Tesis, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México, 64 p.
- Marcovaldi, M. A., Laurent, A. 1996. A 6 season study of marine turtle nesting at Praia do Forte Bahia Brazil with implications for conservation and management. Chelonian Conservation and Biology, 2: 55–59

- Marine Turtle Red List Authority 2004. *Chelonia mydas*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- Márquez, R. M. 1994: Synopsis of the biological data on the Kemp's Ridley turtle *Lepidochelys kempii* (Garman 1880). NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-34.
- Márquez, R. M. 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo, México. Fondo de Cultura Económica. 194p.
- Matsuzawa, Y., Sato, K., Sakamoto, W. y Bjorndal, K.S. 2002. Seasonal fluctuations in sand temperature: effects on the incubation period and mortality of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) pre-emergent hatchlings in Minabe, Japan. *Marine Biology*, 140: 639-646.
- Meylan, A. B., Bowen, B. W., Avise, J. C. 1990. A genetic test of the natal homing versus social facilitation models for green turtle migration. *Science*, 248: 724-727.
- Miller, J. D. y C. J. Limpus. 1981. Incubation period and sexual differentiation in the green turtle *Chelonia mydas*. In *Proceedings of the Melbourne Herpetological Symposium*, C. B. Banks, A. A. Martin (eds.). Melbourne: The Royal Melbourne Zoological Gardens. p. 66-73.
- Miller, J. D., C. J. Limpus y M. H. Godfrey. 2003. Nest site selection, oviposition, eggs, development, hatching and emergence of loggerhead turtles. In: *Biology and Conservation of Loggerhead Sea Turtles*, A. Bolten y B. Witherington (eds.). University of Washington Press. p. 125-143
- McCoy, C. J., R. C. Vogt y E. J. Censky. 1983. Temperature controlled sex determination in the sea turtle *Lepidochelys olivacea*. *Jurnal Herpetology*, 17 (4): 404-406.
- McGehee, M. A. 1979. Factors affecting the hatching success of loggerhead sea turtle eggs (*Caretta caretta*). Tesis, University Central Florida, Orlando. 252 p.
- McGehee, M. A. 1990. Effects of moisture on eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). Department of Biological Sciences, University of Central Florida. *Herpetologica*, 46(3): 251-258.
- Miller, J. D. y C. J. Limpus. 1981. Incubation period and sexual differentiation in the Green Turtle *Chelonia mydas* L. In *Proceedings of the Melbourne Herpetological Symposium*, C. B. Banks y A. A. Martin, (eds.). Melbourne, The Zoological Board of Victoria. p. 66-73.
- Moncada, F. G., J. Azanza, G. Nodarse, Y. Medina e Y Forneiro. 2011. Las tortugas marinas y el cambio climático en Cuba. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente No.20*

- Monzón-Argüello, C., N. S. Loureiro, C. Delgado, A. Marco, J. M. López, M. G. Gómez, F. A. Abreu-Grobois. 2011. Príncipe island hawksbills: genetic isolation of an Eastern Atlantic stock. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 407 (2):345–354.
- 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.
- Mortimer, J.A., 1990. The influence of beach sand characteristics on the nesting behaviour and clutch survival of green turtles (*Chelonia mydas*). *Copeia*, 3: 802-817.
- Mrosovsky, N., A. Bass, L. A. Corliss, J. I. Richardson y T. H. Richardson. 1992. Pivotal and beach temperature for hawksbill turtle nesting in Antigua. *Canadian Journal of Zoology*, 70: 1920-1925.
- Mrosovsky, N. 1983. Ecology and nest site selection of leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*. *Biology of Conservation*, 26: 47-56.
- Mrosovsky, N., y J. Provanca. 1989. Sex ratio of loggerhead sea turtles hatching on a Florida beach. *Canadian Journal of Zoology*, 67 (10):2533-2539.
- Mrosovsky, N. y M. Pieau. 1991. Transitional range of temperature, pivotal temperature and thermosensitive stage for sex determination in reptiles. *Amphibia-Reptilia*, 12 (2): 169-179.
- Mrosovsky, N., P. H. Dutton y C. P. Whitmore, 1984. Sex ratios of two species of sea turtle nesting in Suriname. *Canadian Journal of Zoology*, 62 (11): 2227-2239.
- National Marine Fisheries Service and U.S. Fish and Wildlife Service. 1998. Recovery Plan for U.S. Pacific Populations of the green turtle (*Chelonia mydas*). National Marine Fisheries Service, Silver Spring, MD. p. 84.
- Needham, J. 1966. *Biochemistry and Morphogenesis*. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Özdemir, B. and Türkozan, O. 2006. Carapacial scute variation in green turtle, *Chelonia mydas* hatchlings in Northern Cyprus, *Turkish Journal of Zoology*, 30: 141-146.
- Pough, H., R. M. Andrews, J. E. Cadle, M. L. Crump, A. H. Savitzky y K. D. Wells. 2001. *Herpetology*, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Pritchard, P. C. H. 1969. Sea turtles of the Guianas. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History*. 13: 85-140
- Pritchard, P. C. H., Mortimer, J. A. 1999. Taxonomy, External Morphology, and Species Identification. *In* Research and Management Techniques for the

Conservation of Sea Turtles, K. L. Eckert, K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois, M. Donnelly, (eds.). IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication No. 4, p. 23-44.

Rodríguez, E., Zambrano, R. 1991. Caracterización de la temporada de anidación de la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) y tortuga blanca (*Chelonia mydas*) en las playas de El Cuyo, Yucatán. Pronatura Peninsula Yucatán, Merida, Yucatan, Mexico.

Seymour, R. S., y R. A. Ackerman. 1980. Adaptations to underground nesting in birds and reptiles. *American Zoologist* 20: 437-447.

Schaetzl, R. J. y S. Anderson. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*, Cambridge University Press, Cambridge UK. 832 p.

Tomás, J. (2004). Estudio de la Biología de la Reproducción de las Tortugas Marinas del Sur de la Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial). Tesis. Universidad de Valencia. 234 p.

Uller, T., G. M. While, E. Wapstra, D. A. Warner, B. A. Goodman, I. Schwarzkopf, T. Langkilde, P. Doughty, R. S. Radder, D. H. Rohr, C. M. Bull, R. Shine y M. Olsson. 2009. Evaluation of offspring size–number invariants in 12 species of lizard. *Journal of Evolutionary Biology*, 22: 143–151

Walther, G., R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. J. C. Beebee, J. M. Fromentin, O. Guldberg y F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879): 398-395.

Wood, D. W. y K. A. Bjorndal. 2000. Relation of temperature, moisture, salinity, and slope to nest site selection in loggerhead sea turtles. *Copeia*, 2000:119-128.

Yalçın-Özdilek, S., H.G.Özdilek, F. S. Ozaner, 2007. Possible Influence of Beach Sand Characteristics on Green Turtle Nesting Activity on Samandağ Beach, Turkey. *Journal of Coastal Research*, 23 (6): 1379-1390

Yntema, C.L y N. Mrososvk. 1980. Sexual differentiation in hatchling loggerheads (*Caretta caretta*) incubated at different controlled temperatures. *Herpetological*, 36: 33-36.

Zachos, J., M. Pagani, L. Sloan, E. Thomas y K. Billups. 2001. Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma. Present. *Science*, 292(5517): 686-693.

Zhang, D., X. Tang, F. Yue, Z. Chen, R. Li y Q. Chen. 2010. Effect of gestation temperature on sexual and morphological phenotypes of offspring in a viviparous lizard, *Eremias multiocellata*. *Journal of Thermal Biology*. 35:129–133.

Zurita, J. C., R. Herrera y B. Prezas. 1993. Biología y conservación de las tortugas marinas en el litoral central de Quintana Roo, temporada 1990. *In* J. Frazier (eds.). Memorias del IV Taller Regional de Tortugas Marinas, Península de Yucatán. UADY. Mérida, Yucatán., México. p. 169-180.