



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
BIOLOGÍA MARINA

**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**

**T E S I S**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRA EN CIENCIAS**

**P R E S E N T A :**  
**BIOL. TANIA GABRIELA CHAVEZ FLORES**

**DIRECTOR DE TESIS:**  
DR. FAUSTO ROBERTO MÉNDEZ DE LA CRUZ.  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA - UNAM

**COMITÉ TUTORAL:**  
DR. ANTONIO ZOILO MÁRQUEZ GARCÍA.  
DEPARTAMENTO DE HIDROBIOLOGÍA - UAM

DR. RUBEN CASTRO FRANCO  
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS - UAEM

DR. ALBERTO ABREU GROBOIS  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA - UNAM

DR. ANDRES GARCÍA AGUAYO  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA - UNAM

DR. PIERRE CHARRUAU  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA - UNAM

MÉXICO, D. F. JUNIO 2013



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.

## Agradecimientos

Agradezco al programa de Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por la oportunidad y el apoyo recibido para realizar mis estudios de maestría en la Universidad Nacional Autónoma de México. Quiero extender mis agradecimientos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para llevar a cabo mis estudios de maestría. Así como a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo el proyecto PAPIIT IN 215011-3.

Quiero agradecer a mi Director de tesis: Dr. Fausto Roberto Méndez de la Cruz y a mi comité tutorial: Dr. Antonio Zoilo Márquez García, Dr. Rubén Castro Franco, Dr. Alberto Abreu Grobois, Dr. Andrés García Aguayo y Dr. Pierre Charruau, por el apoyo y tiempo dedicado estos dos años a mi superación personal y académica. Sus enseñanzas han sido y serán siempre invaluable para mí.

Agradezco también el apoyo brindado por el Biólogo Héctor González Cortes Subdirector de la Fundación de Parques y Museos de la Isla Cozumel. Gracias por la paciencia, experiencia y confianza depositada para la realización de este trabajo. Del mismo modo agradezco al Profesor Jesús Benavides Andrade Director de la Reserva Ecológica de Punta Sur por el apoyo incondicional y facilidades proporcionadas para la realización de la investigación.

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de los voluntarios del Campamento Tortuguero San Martín. En especial quiero agradecer al Biólogo Carlos Ricardo Peralta Muñoz. Caretto, gracias por tu amistad, por estar ahí a la hora y lugar indicado cada vez que necesitaba tu ayuda. Por estar conmigo en los eternos muestreos y en los largos monitoreos nocturnos, pero sobre todo porque ni en los momentos más difíciles me dejaste sola.

Gracias a mis amigas y compañeras de posgrado: Brenda, Nicté y Barbara, así como también a todos mis amigos Cozumeleños y a todas las personas que conocí y que me acompañaron a lo largo de esta hermosa aventura. Los llevo hoy y siempre en el corazón.

## **DEDICATORIA.**

### **A MIS PADRES.**

**Gracias por ser para mí el ejemplo más grande de amor incondicional,  
por confiar siempre en mí  
y por darme esta familia,  
que sin duda alguna es lo máspreciado que tengo en la vida.**

### **A MIS HERMANOS**

**Gracias por todo lo que aprendo de ustedes,  
por ser los mejores compañeros y amigos,  
por ser mis eternos niños,  
ustedes son mi mayor motivo para ser una persona mejor.**

### **A MIS ABUELOS**

**Gracias por ser mis eternos ángeles.**

**LOS AMO POR SIEMPRE.**

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPITULO 1.</b> Topografía, sedimentología y climatología de las playas de anidación .....	<b>14</b>
<b>CAPITULO 2.</b> Patrones de anidación y diversidad de la selección del sitio de anidación .....	<b>48</b>
<b>CAPITULO 3.</b> Efecto de las variables ambientales sobre las anidaciones .....	<b>61</b>
<b>CAPITULO 4.</b> Influencia del calor metabólico sobre la proporción sexual y el porcentaje de eclosión durante la temporada .....	<b>82</b>
<b>CAPITULO 5.</b> Recomendaciones en el manejo de nidadas para los campamentos tortugeros .....	<b>106</b>
<b>ANEXO 1.</b> Fotos .....	<b>109</b>
<b>ANEXO 2.</b> Perfiles topográficos de las playas de anidación .....	<b>113</b>
<b>ANEXO 3.</b> Tabla de MANOVA variable dependiente: temperatura de incubación Anidación: época de incubación (tamaño de grano, playa y zona) .....	<b>118</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>120</b>

## Resumen.

El proyecto se realizó en el litoral de la isla de Cozumel, Quintana Roo, México. Se seleccionaron tres playas de anidación (Punta Chiqueros, Punta Morena y Mezcalitos) de la tortuga verde, *Chelonia mydas*, debido a que los hábitats de reproducción en la isla exhibían una gama considerable de la variación granulométrica. El objetivo de la investigación fue evaluar la dinámica litoral, documentar la gama de temperaturas que experimentan los nidos a lo largo de la temporada de anidación y la influencia de factores físicos (temperatura, humedad, ubicación en el perfil de playa, distancia al nivel medio del mar, profundidad del nido y tipo de grano) sobre la nidificación, el éxito de eclosión y la proporción de sexos. La dinámica litoral en las playas de anidación fue estable la gran parte del tiempo, ya que las variaciones en la amplitud bajo condiciones climáticas normales fueron producto de mareas altas y bajas. Los procesos erosivos ocurrieron únicamente en presencia de la depresión tropical Rina. El análisis granulométrico exhibió a Punta Chiqueros como la playa con el menor tamaño de grano (arenas medias), seguido por Punta Morena (arenas gruesas) y finalmente Mezcalitos con el mayor tamaño de grano (arenas gruesas a muy gruesas). De todas las variables ambientales analizadas al momento de la ovoposición y durante la incubación fue el tamaño de grano la que tuvo mayor influencia sobre el éxito de eclosión. La profundidad del nido, porcentaje de humedad, así como la temperatura de incubación y del sustrato también manifestaron relación pero dependen fundamentalmente del tamaño de grano. Por ejemplo, en arenas medias (Punta Chiqueros) el espacio intersticial entre las partículas es reducido, por lo tanto es fácilmente saturado con agua en presencia de niveles anómalos de precipitación lo cual dificulta el intercambio gaseoso, conserva el exceso de agua y favorece la disminución de la temperatura de incubación. En contraste, en arenas gruesas (Punta Morena) a muy gruesas (Mezcalitos) en donde al aumentar el tamaño de grano aumenta el espacio intersticial entre las partículas evitando su saturación por agua. Lo cual favorece la pérdida de humedad, el intercambio gaseoso y evita el descenso de la temperatura de incubación, propiciando un porcentaje promedio de eclosión de 92.12%. En consecuencia se estimó que el bajo éxito de eclosión en Punta Chiqueros (promedio=23.75%) se debió al pequeño tamaño de grano que ocasionó un bajo intercambio gaseoso de los embriones más que el descenso de temperatura, ya que jamás alcanzo los límites térmicos letales para *Chelonia mydas*. Se estimó que Isla Cozumel tiene una fuerte tendencia hacia la producción de hembras con un porcentaje promedio de 80.91% a lo largo de toda la temporada de anidación. La producción calculada de machos estuvo asociada a playas con arenas medias (donde se favorece la disminución de la temperatura de incubación) y a la temporalidad de la incubación ya que solo en periodos de temperaturas menores a 29.26°C se estima la presencia de machos. Por lo anterior, la proporción de sexos de la temporada resultó del efecto combinado del éxito de eclosión, el tipo de grano y el porcentaje de nidos ovipositados en la temporada.

### **Abstract.**

The project was carried out in the coast of the island of Cozumel, Quintana Roo. We selected three nesting beaches (Punta Chiqueros, Punta Morena and Mezcalitos) of the green turtle, *Chelonia mydas*, because the habitats of reproduction in the island exhibited a considerable range of grain size variation. The objective of this study was to evaluate coastal dynamics, document the range of temperatures experienced by the nests during the nesting season and the influence of physical factors (temperature, humidity, location on the beach profile, distance to mean sea level, depth of the nest and grain type) on nesting, hatching success and the proportion of sexes. The coastal dynamics in nesting beaches was stable most of the time, because changes in the amplitude in normal weather conditions were the product of high and low tides. Erosion processes took place only in the presence of the tropical depression Rina.

Grain size analysis, exhibited Punta Chiqueros as the beach with the smaller size of grain (medium sands), followed by Punta Morena (coarse sands) and finally Mezcalitos with the biggest size of grain (coarse and very coarse sand). Of all the environmental variables tested, at the time of the ovoposition and during incubation, it was the grain size which had greater influence on hatching success. The depth of the nest, humidity, as well as the temperature of incubation, also expressed relationship, but they depend basically on the grain size. For example, in medium sands (Punta Chiqueros), the space between the particles is reduced, so it is easily saturated with water in the presence of anomalous precipitation levels, which complicates the gaseous exchange, conserves water and promotes the reduction of the incubation temperature. In contrast, in coarse sand (Punta Morena) and very coarse sand (Mezcalitos), where increasing grain size, it increase the space between particles, avoiding saturation by water. Which promotes the loss of moisture, gas exchange and prevents the descent of incubation temperature, leading to an average percentage of hatching of 91.12%.

As a result, it was estimated that the low success of hatching in Punta Chiqueros (average = 23.75%) was due to the small size of the grain that caused a low gaseous exchange of embryos more than the drop in temperature that never reached the lethal limits for the *Chelonia mydas*.

It was estimated that Island Cozumel has a strong tendency towards the production of females with an average of 80.91% throughout the nesting season. The calculated production of males was associated with medium sand beaches (where favors the reduction of incubation temperature) and the temporality of incubation, since only in periods of less than 29.26°C temperatures, were estimated presence of male. Therefore, the proportion of sexes of the season resulted from the combined effect of hatching success, the type of grain, and the percentage of nests in each period of the season.

**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**

**Biol. Tania Gabriela Chávez Flores**

**Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología - UNAM**

**Introducción general**

Desde su descubrimiento en los reptiles hace más de 25 años (Pieau 1972) el fenómeno de la determinación del sexo dependiente de la temperatura (DST) ha generado un considerable interés entre los ecólogos conductuales, fisiólogos y evolutivos. Si bien sigue habiendo un fuerte debate acerca de su significado funcional y cómo este fenómeno puede haber evolucionado (Bull 1999), la existencia de la DST en cocodrilos, tuataras y una gran variedad de especies de tortugas y lagartijas, es ahora indiscutible (Janzen y Paukstis 1991, Ciofi y Swingland 1997, Valenzuela y Lance 2004). En consecuencia, existe un enorme interés para determinar la respuesta de las especies que exhiben DST, para producir crías de ambos sexos, frente al calentamiento global. Este interés es particularmente especial para las tortugas marinas, ya que todas presentan DST y la mayoría de ellas están en peligro de extinción. En el sistema de DST, el sexo de las crías es determinado por la temperatura durante el segundo tercio del periodo de incubación (Mrosovsky y Yntema 1995). En todas las especies de tortugas marinas las temperaturas altas producen más hembras, mientras que las temperaturas bajas producen un mayor número de machos (Mrosovsky y Yntema 1995). A pesar de que las tortugas marinas anidan en un amplio intervalo latitudinal (aproximadamente entre 30° S y 40° N), y con profundidades de nido muy diferentes, hasta ahora la temperatura de incubación que marca la producción equitativa de organismos masculinos y femeninos (denominada temperatura pivote) siempre se ha encontrado cercana a 29°C en todas las especies (Ackerman 1997). En consecuencia, los factores que producen una gama de temperaturas de incubación alrededor de 29°C son vitales para garantizar la supervivencia de las poblaciones. Si bien una serie de factores específicos se han identificado como causa de las variaciones térmicas en los nidos, no existe una comprensión general de los factores clave que determinan la temperatura de los nidos a escala mundial. Por ejemplo, para la tortuga *Caretta caretta* (tortuga caguama) que anida en la costa este de los Estados Unidos, los cambios estacionales en la temperatura de la arena producen un aumento significativo de machos al inicio y al final de la temporada de anidación y un aumento en la proporción de hembras durante el período intermedio (Mrosovsky *et al.* 1984.). Para la tortuga *Chelonia mydas* (tortuga verde) que anida en Costa Rica, la temperatura de incubación es profundamente influenciada por la ubicación del nido, es decir si el nido está a la sombra de la vegetación producirá más machos, mientras que los expuestos al sol producirán

predominantemente hembras (Morreale *et al.* 1982.). Por otro lado, para la colonia de tortugas de *Chelonia mydas* en la isla de Ascensión hay grandes variaciones térmicas causadas por diferencias en el albedo de arena (Hays *et al.* 1995), tales variaciones se mantienen dentro y entre temporadas (Hays *et al.* 1999).

A pesar de que las propiedades térmicas de las diferentes playas pueden variar, las temperaturas de incubación podrían ser similares si las hembras ajustaran la posición del nido en función del albedo de arena. Dicho ajuste podría ocurrir en posición horizontal (a diferentes distancias del mar) o vertical (a diferentes profundidades) (Hays *et al.* 2001).

El ambiente litoral es el hábitat más importante en el ciclo reproductor de las tortugas marinas, ya que en él ocurre la incubación de los huevos y eclosión de las crías. Sin embargo, no es su única cualidad, también es conocido como un área sumamente dinámica debido a su cambiante morfología. Muchos factores geológicos, físicos, biológicos, químicos y antropogénicos son responsables de los cambios que sufre esta zona. Los cambios morfológicos a lo largo de la zona litoral se pueden apreciar por la acumulación de arena que forma playas extensas de pendientes suaves asociadas con dunas, tómbolos, lengüetas, barreras, o bien, por los procesos de erosión o remoción de la arena exponiendo sustratos rocosos, formando cavernas, farallones, puntas y playas angostas de pendientes fuertes la mayoría de las veces, con materiales gruesos de arena y gravas. La selección de sitios de anidación depende de características como pendiente topográfica y amplitud. Por ejemplo, las playas en proceso de erosión presentan una disminución en su amplitud, lo cual reduce el área disponible para la anidación (Zurita *et al.* 1993).

Las playas varían de un lugar a otro, pero se puede decir que todas tienen en común la existencia de un perfil topográfico, el cual puede presentar diferentes características, mismas que son primordiales para la selección de la zona de anidación en tortugas marinas. Según Márquez (1996), cada especie tiene parámetros específicos de acuerdo a su talla y peso. La tortuga *Dermochelys coriácea* (tortuga laúd), la especie de mayor tamaño, desova en playas de alta energía con talud pronunciado, muy cerca de la línea de marea. Las tortugas de talla mediana como *Chelonia mydas*, *Caretta caretta* y *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey) hacen mayores recorridos en playas más amplias y anidan cerca del inicio de la vegetación o incluso se internan en ella. Las tortugas de talla pequeña, *Lepidochelys kempii* (tortuga lora) y *Lepidochelys olivacea* (tortuga golfina) anidan en playas amplias y extensas de menor declive, formando grandes arribazones que se distribuyen en amplias zonas de la playa, muy por arriba de la línea de marea alta. Por lo tanto, el cambio climático está modificando los parámetros específicos de las zonas de anidación de cada especie, alterando el perfil de playa y las

condiciones térmicas preferenciales en la selección del sitio de anidación debido al incremento de los fenómenos hidrometeorológicos (Hays *et al.* 2001).

Los factores morfológicos de la playa tales como la pendiente topográfica y la amplitud influyen en la selección del sitio de anidación (Zurita *et al.* 1993). Sin embargo, las características de la arena (temperatura, humedad y tamaño de grano) son sumamente importantes ya que el tamaño de grano puede afectar la temperatura y humedad a la profundidad del nido, pues la conductividad térmica aumenta con el tamaño de partícula (Schaetzl y Anderson 2005). Diferentes estudios han relacionado la morfología de playas y el tipo de sedimentos con la preferencia de las tortugas en sus playas de anidación. En Isla Aguada (Campeche México), García-Vicario (2008) encontró que *Eretmochelys imbricata* desova preferentemente en arenas medias y playas de pendientes suaves. Rueda-Galindo (2000) encontró que la tortuga *Lepidochelys olivacea* en playa El Catrín en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada prefiere las arenas medias y pendientes suaves, pero particularmente en áreas cercanas a antiguas bocas de ríos o lagunas.

Por lo tanto, estudiar la relación existente entre las variaciones del ambiente litoral y las anidaciones es primordial para la conservación de las tortugas marinas (Montaño-Ley *et al.* 1988).

## **Antecedentes**

### **Efecto de la temperatura de incubación sobre las crías**

Se ha encontrado que la termodifusión del calor metabólico de los huevos del centro al exterior de la cámara de incubación y la arena adyacente es un factor más que produce las diferencias térmicas que ocurren dentro de la cámara de incubación (Ackerman *et al.* 1985). La producción de calor metabólico tiene un comportamiento sigmoideal, con un máximo producido al final de la incubación (Ackerman 1980).

Las temperaturas altas de incubación pueden aumentar la tasa metabólica de los neonatos así como su tasa de crecimiento, lo cual provoca una disminución del tiempo de incubación, a diferencia de nidos con temperaturas bajas que se incuban por períodos más largos, ya que a falta de calor la tasa metabólica disminuye (Matsuzawa *et al.* 2002). Por otra parte, la temperatura de incubación también influye en el tamaño y fenotipo de los neonatos (Deeming 2004); con temperaturas más bajas se producen neonatos de mayor tamaño y viceversa (Glen *et al.* 2003). Booth *et al.* (2004) realizaron investigación con neonatos de *Chelonia mydas*. Incubaron huevos a 26°C, 28°C y 30°C y encontraron que los neonatos incubados a 26°C fueron más grandes en términos de masa, longitud del caparazón y tamaño de la aleta anterior, que las crías incubadas a 28°C y 30°C. Dicha conducta es independiente del sexo ya que machos que nacieron de huevos incubados a 26°C tuvieron una morfología similar a la de hembras nacidas de huevos incubados a 30°C.

### **Efecto de las características de la playa sobre la temperatura de incubación**

Se han realizado varios trabajos sobre la respuesta de las tortugas marinas a las variaciones climáticas durante el periodo de incubación. Los análisis resaltan la importancia del albedo en la temporada reproductora de las tortugas marinas, ya que la temperatura de la arena a la profundidad del nido es determinada por la tasa a la cual el calor es intercambiado entre la superficie de la arena y la conductividad térmica de la arena (Schaetzl y Anderson 2005). Por lo tanto superficies más oscuras tendrán un albedo menor y una mayor absorción de calor a diferencias de superficies más claras. Lo cual sugiere que la existencia de playas de anidación que abarquen una amplia gama de albedos tendrán importantes repercusiones para las proporciones sexuales que se producen (Hays *et al.* 1995).

La determinación del sexo de las tortugas marinas se debe a la temperatura de incubación, por lo tanto la ubicación del nido en la playa influenciará su temperatura ya que las características térmicas de la playa varían espacial y temporalmente (Hays y Speakman 1993). En estudios anteriores se ha encontrado que el mayor número de hembras es producido en zonas altas de playa (supraplaya) y significativamente menor en las zonas de playa de bajas (mesoplaya) (Spotila *et al.* 1983). Sin embargo, Maxwell *et al.* (1988) no registraron diferencias significativas de temperatura entre las zonas de anidación (mesoplaya y supraplaya) y la proporción de sexos en *Dermochelys coriácea* en Surinam.

### **Área de estudio**

El proyecto se realizó en la isla de Cozumel ubicada en el Estado de Quintana Roo, frente a Playa del Carmen a una distancia de 17.25km. La isla mide 44.578 km de norte a sur y 14.80 km de este a oeste, posee una extensión de 647,33 km<sup>2</sup> (Figura 1). La zona de playas se encuentra Ubicada en la parte este de la isla con una longitud total de 9.47km, dividida en 10 playas. Las tres playas elegidas para desarrollar el presente estudio fueron Punta Chiqueros, Punta Morena y Mezcalitos, con una longitud de 2.15, 0.56 y 1.9 km, respectivamente (Tabla 1). Estos sitios fueron seleccionados debido a que presentaron diferencias en su composición granulométrica, lo cual sirvió para representar la diversidad de áreas de anidación en la isla. Dos especies de tortuga marina anidan en Isla Cozumel, *Caretta caretta* y *Chelonia mydas*, esta última fue utilizada como modelo de estudio.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la Isla Cozumel y de las playas de anidación estudiadas.

**Tabla 1.** Longitud de playas en Isla Cozumel, Q. Roo.

Playa	Longitud (km)
Mezcalitos	1.9
Punta Morena	0.56
Chumul	0.67
Coconuts	0.36
Chen Rio	0.69
San Martín	1.63
Punta Chiqueros	2.15
Buenvista	0.64
Box	0.73
Rastas	0.14
Longitud total	9.47

## Biología de la especie

### Identificación y descripción

A esta especie se le atribuyen diversos nombres comunes como: Green turtle en Inglés, Tortuga verde en Español, Tortue verte en Francés, y Tartaruga verde en Portugués (Eckert 1995). Los nombres hacen referencia al predominantemente color verde de su grasa corporal.

Después de *Dermochelys*, *Chelonia mydas* es la segunda de mayor tamaño entre las siete especies. Los adultos comúnmente alcanzan a pesar hasta 150 kg y miden generalmente de 95 a 120 cm de longitud de caparazón. El color del caparazón en general es marrón claro a oscuro, a veces con sombras de color olivo. Del centro de las placas se originan líneas hacia el exterior en colores amarillos, marrones, verdes y negros. El color del plastrón o vientre es crema blancuzco a amarillo claro. Hay cinco escudos vertebrales y cuatro pares de escudos costales (laterales) en el caparazón de los cuales ninguno se solapa entre sí. Presentan una uña en cada aleta. La parte anterior de la cabeza es redondeada y se caracteriza por un pico con filos dentados. Así como solo un par de escamas alargadas entre los ojos.

### **Anidación**

Las hembras grávidas tardan alrededor de dos y media horas en la playa durante el proceso de anidación. Los individuos vuelven a anidar con intervalos de 2 a 4 años, depositando un promedio de tres nidadas de huevos y un máximo de nueve. Los eventos de anidación ocurren con un intervalo de 12 a 14 días durante la temporada.

El tamaño de la nidada varía ampliamente, se ha reportado que existe una relación entre el tamaño de la nidada y la longitud del caparazón (Hirth 1997). Bjorndal y Carr (1989) registraron que el tamaño promedio de la nidada de la colonia ubicada en Tortuguero, Costa Rica es de 112 huevos con un promedio de 44 mm de diámetro. Después de 55 a 60 días de incubación, las crías emergen de la arena y se orientan hacia el mar.

Las crías de *Chelonia mydas* pesan alrededor de 26 gr y unos 5 cm de longitud de caparazón. El plastrón es típicamente de un color blanco cremoso. El rastro que las crías dejan sobre la arena al emerger es muy asimétrico ya que alternan los movimientos entre las aletas al desplazarse, a diferencia del rastro simétrico en los adultos. Parsons (1962), Carr *et al.* (1978), Groombridge y Luxmoore (1989), Eckert (1995), Hirth (1997) y Pritchard y Mortimer (1999).

Se estima que la madurez sexual en esta especie se alcanza entre los 27 y 50 años de edad (Limpus y Walter, 1980; Balazs, 1982; Frazer y Ehrhart, 1985; Frazer y Ladner, 1986). Estos registros indican que entre las especies de tortugas marinas *Chelonia mydas* es la que mas tiempo tarda en alcanzar la madurez sexual.

### **Alimentación**

Desde su nacimiento hasta su etapa como juveniles su alimentación es omnívora y oportunista en la superficie del océano (Carr y Meylan 1980, Carr 1986). Una vez que los juveniles alcanzan aproximadamente de 20 a 25 cm de longitud de caparazón se trasladan a la costa donde cambian su alimentación a una dieta herbívora (Bjorndal y Bolten 1988). El hábito de

alimentación vegetariano-bentónico de *Chelonia mydas* en estado juvenil y adulto es único entre las tortugas marinas. El principal alimento de las poblaciones del Caribe es *Thalassia testudinum*, conocido comúnmente como hierba de tortuga (Mortimer 1976).

### **Distribución**

La tortuga verde es una especie circunglobal, se encuentra en aguas tropicales y subtropicales. Después de dejar las playas de anidación, los individuos pasan varios años en mar abierto, llegando a dispersarse ampliamente por las corrientes oceánicas. Los estudios genéticos muestran que las hembras maduras regresan a su playa natal para anidar a lo largo de su vida reproductiva (Meylan *et al.* 1990). Tanto machos como hembras realizan largas migraciones estacionales que a menudo abarcan miles de kilómetros. Así, durante el ciclo de vida de *Chelonia mydas* los organismos de una misma población pueden atravesar una cuenca oceánica entera. Durante décadas se han marcado en la aleta a las hembras de esta especie durante el proceso de anidación. La reincidencia de las marcas proporcionan información sobre la distribución de las hembras adultas al rededor de las playas de anidación, así como también permiten documentar sus hábitos altamente migratorios (Hirth 1997). Se ha observado que las marcas colocadas en hembras que anidaron en Tortuguero, ubicado en Costa Rica fueron recuperadas en áreas de alimentación y vías migratorias en Belice, Colombia, Cuba, Florida, Honduras, Jamaica, Martinica, Nicaragua, Panamá, Puerto Rico, Colombia (San Andrés), Venezuela, y México (Yucatán).

La mayoría de las marcas recuperadas fueron procedentes de las áreas de alimentación en la costa de Nicaragua (Carr *et al.* 1978). Del mismo modo, hembras marcadas mientras anidaron en Isla de Aves, en Venezuela fueron recapturados en Brasil, Carriacou, Colombia, Cuba, la República Dominicana República, Granada, Guadalupe, Guyana, Haití, Martinica, México, Nevis, Nicaragua, Puerto Rico, St. Kitts, Santa Lucía y Venezuela. La mayoría de las marcas recuperadas fueron procedentes de Nicaragua y la República Dominicana (Solé 1994). Se han registrado juveniles marcados en Panamá, un hábitat de desarrollo y ruta migratoria. Sin embargo, el mayor número de marcas se han recuperado en Nicaragua (Meylan y Meylan datos no publicados). Por lo tanto las aguas costeras del Caribe de Nicaragua son claramente importantes para la supervivencia de esta especie.

Hoy en día las mayores colonias de anidación de tortugas verdes en el Caribe se encuentran en Tortuguero, Costa Rica ya que se registraron más de 50000 rastros durante la temporada de anidación de 2005 (Haro y Troëng 2006) colocándose por mucho, como la colonia de anidación más grande de Tortugas Verdes en la Región del Caribe. Dow *et al.* 2007 reportaron que 32 playas registraron más de 1000 rastros por año. Estas se encuentran ampliamente distribuidas a lo largo de los márgenes continentales de Brasil, Costa Rica, Guyana, México, Suriname, y los

EE.UU (Texas, Louisiana, Mississippi, Alabama y Florida fueron mapeadas e incluidas en los análisis), en concordancia con el límite Norte definido (30° latitud Norte) de la Región del Caribe. En este estudio se pudo registrar que la anidación para Isla Cozumel en el 2011 fue de más de 2000 nidos durante la temporada de anidación. Por otro lado Dow *et al.* 2007 encontraron que más de la mitad (52%) de todas las playas de anidación conocidas registran menos del 25 de rastros al año y en el 24% de los sitios los datos son insuficientes para estimar la abundancia anual. La visión generalizada de los expertos locales es que los datos son insuficientes para estimar el tamaño de la colonia (número de rastros por año) (Figura 2).

La actividad y presencia de esta especie en el caribe indica que la mayor agregación de forrajeo de juveniles y los adultos se encuentra en las extensas praderas de pastos marinos a lo largo de la costa del Caribe de Nicaragua. Agregaciones menores se han documentado en Florida, la Península de Yucatán, Panamá, la península de la Guajira de Colombia, las Antillas Menores, Puerto Rico, Cuba, Jamaica, Gran Caimán, Bermuda y el sur de Bahamas (Carr *et al.* 1982). En la tabla 2 se muestra la presencia de la especie así como su actividad en cada una de las ecoregiones marinas que forman al Caribe.



**Figura 2.** Anidación de *Chelonia mydas* en el Caribe

**Tabla 2.** Presencia y actividad de *Chelonia mydas* en la Región del Caribe (A=Anidación; AI=Anidación Infrecuente; F=Forrajeo) (Dow *et al.* 2007).

Ecoregiones Marinas con Países	<i>Chelonia mydas</i>	Ecoregiones Marinas con Países	<i>Chelonia mydas</i>
Bahamas	A, F	San Vicente y Granadinas	A, F
Islas Caicos y Turcas	A, F	Granada	F
Cuba	A, F	Guayana Francesa	A, F
Islas Caimán	A, F	Suriname	A
Jamaica	A, F	Guayana	A, F
Haití	A, F	Trinidad y Tobago	A, F
República Dominicana	A, F	Venezuela	A, F
Puerto Rico	A, F	Bonaire	A, F
Islas Vírgenes Británicas	A, F	Curacao	A, F
Islas Vírgenes US	A, F	Aruba	A, F
Anguilla	A, F	Colombia	A, F
Sint Maarten	A, F	Panamá	AI, F
Saba	AI, F	Costa Rica	A, F
Sint Eustatius	A, F	Nicaragua	A, F
Saint Kitts y Nevis	A, F	Honduras	A, F
Antigua y Barbuda	A, F	Guatemala	A, F
Montserrat	A, F	Belice	A, F
Guadalupe	A, F	México	A, F
Dominica	A, F	USA	A, F
Martinique	AI, F	Bermuda	AI, F
Santa Lucía	A, F	Brasil	A, F
Barbados	A, F		

## Conservación

A lo largo de la historia, *Chelonia mydas* ha sido apreciada por su carne y huevos, ya que fue la base alimenticia de las tripulaciones de los buques durante el período de exploración al Nuevo Mundo (Carr 1954, Parsons 1962). Debido al uso no sustentable en todo el Caribe las poblaciones están agotadas y algunas se encuentran localmente extintas.

*Chelonia mydas* es protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2010, ya que esta la cataloga como una especie en peligro de extinción, del mismo modo la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) la considera dentro de la lista roja como una especie en peligro, y la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) en los apéndices I y II la clasifica como una especie en peligro de

extinción. En México instituciones gubernamentales como: la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) brindan protección a las poblaciones de esta especie. Sin embargo las leyes y acuerdos internacionales, no protegen adecuadamente las zonas de anidación y alimentación, por lo tanto la especie sigue siendo víctima de la pesca tanto legal como ilegal y la recolección de huevos.

### **Justificación del estudio**

En la actualidad faltan trabajos que integren de manera conjunta todos los factores físicos del ambiente costero-litoral y estudien su interacción así como sus efectos sobre el ciclo reproductor de las tortugas marinas. Documentar tal información es fundamental para desarrollar planes de manejo eficientes que ayuden a realizar mejoras en la conservación de las poblaciones. Debido a su amplio rango latitudinal de distribución, estas especies están expuestas a una amplia gama de variaciones ambientales. Por lo tanto, estudios de este tipo permitirán caracterizar su plasticidad y adaptación, características que les ha permitido sobrevivir a lo largo de la evolución, así como también el grado de impacto que podrían ejercer las variaciones térmicas en los nidos producto del calentamiento de la tierra.

### **Hipótesis**

Las tortugas marinas se caracterizan por ser organismos iteróparos (i.e., con altas tasas de mortalidad y natalidad) que presentan DST. Por lo tanto, la variabilidad espacio-temporal de las condiciones de anidación determinan un sistema de amortiguamiento ante cambios climáticos, lo que seguramente ha permitido una proporción de sexos viable. Es decir, los cambios fenológicos en la reproducción de poblaciones con DST como la variabilidad en la selección del sitio de anidación y la amplitud de las temporadas rescatan a las poblaciones de las consecuencias adversas de proporciones sexuales sesgadas producto de los cambios climáticos que se están presentando.

## **Objetivo general**

Documentar la gama de temperaturas que experimentan los nidos de *Chelonia mydas* a lo largo de la temporada de anidación y la influencia particular de los factores físicos propios del ambiente litoral (la temperatura, humedad, ubicación en el perfil de playa, distancia al nivel medio del mar, profundidad del nido y tipo de grano) sobre la nidificación, el éxito de eclosión y la proporción de sexos de las crías.

## **Objetivos particulares**

1. Caracterizar la dinámica costera a través de perfiles topográficos, la granulometría de las playas de anidación y la climatología histórica del área.
2. Describir los patrones de anidación y la diversidad de sitio de anidación.
3. Evaluar el efecto de las variables ambientales sobre el éxito de anidación.
4. Inferir la proporción sexual de los nidos estudiados y la influencia del calor metabólico sobre la proporción de sexos en las crías.

# CAPÍTULO 1

## Topografía, sedimentología y climatología de las playas de anidación

### Introducción

Los cambios en el clima, producto del incremento en las concentraciones atmosféricas de gases con efecto de invernadero, provocan temperaturas cálidas en el aire y el océano, aumento en el nivel del mar, incrementan la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos y alteran los patrones de precipitación (Solomon *et al.* 2007). Estos fenómenos modifican los ecosistemas marinos provocando cambios físicos, lo cual afecta a las especies que dependen de ellos (Parmesan 2006). La zona litoral es caracterizada por experimentar una morfología cambiante en función de procesos climáticos y continentales causando cambios en la topografía, tamaño y composición de los sedimentos que las constituyen (Montaño-Ley *et al.* 1988). La pérdida de playas como consecuencia de la erosión y las modificaciones en el nivel del mar por el cambio climático pueden producir eventos catastróficos naturales o inducidos por el hombre, ocasionando cambios severos en los diferentes tipos de ecosistemas. En este sentido, es preocupante la pérdida del hábitat de anidación y el impacto generado sobre las poblaciones de tortugas marinas, que se encuentran en peligro de extinción (Bolongaro *et al.* 2010).

Las playas en proceso de erosión se caracterizan por sufrir cambios en su amplitud y pendiente. Es decir, al aumentar el desnivel y disminuir la amplitud de playa se presentan diversas alteraciones como: escalones, áreas cóncavas, canales de marea e incluso escarpes en la zona de mesoplaya. Por el contrario, las playas en proceso de acreción o acumulación, son aquellas en las que se observa un aumento en la amplitud de playa, montículos en forma de dunas, mientras la pendiente tiende a ser uniforme en toda la playa. Las playas estables, son aquellas que conservan la misma pendiente, forma y amplitud de playa a lo largo del tiempo. En esta última, puede existir una disminución o aumento en su longitud al realizarse el levantamiento topográfico, pero esta no es determinada por la erosión o acumulación ya que las playas conservan la misma pendiente y forma. En este caso se considera que el aumento o la disminución se debe a los efectos de las mareas baja y alta (Salazar 1998, Márquez *et al.* 2007).

En algunas playas sujetas a erosión se forman escarpes que constituyen serias barreras físicas, por lo que a menudo las tortugas están obligadas a recorrer grandes trechos paralelos a la costa y/o finalmente a regresar al mar y anidar en otros tramos más alejados (Márquez 1996). A estas barreras naturales se suman otras creadas por el hombre como son los espigones, muelles, escolleras, desarrollos turísticos y urbanos (Salazar 1998). Es reconocido que el incremento de las amenazas por causas antropogénicas es el que ha puesto en peligro de extinción a muchas especies en nuestro planeta, entre ellas las especies de tortugas marinas (Unión Internacional

para la Conservación de la Naturaleza/Comisión de Supervivencia de Especies (UICN/CSE, 1995).

Por otro lado, caracterizar la variación granulométrica del sedimento es fundamental para evaluar la conducta térmica que pueden tener las playas de anidación y su efecto sobre el periodo de incubación. Es decir, factores como el intercambio de calor entre el nido y el exterior dependen del tamaño de arena, ya que la conductividad térmica aumenta con el tamaño de grano así como la porosidad y permeabilidad. Por lo tanto, el contenido de humedad así como la temperatura dependerán del tamaño de grano (Schaeztl y Anderson 2005).

Dicho lo anterior es fundamental caracterizar el ambiente de anidación ya que la biología e historia de vida de la especie están finamente relacionadas con las condiciones del ambiente marino y litoral. Por lo tanto, las condiciones cambiantes en áreas de anidación y forrajeo podrían limitar el potencial de crecimiento y reproductivo de las poblaciones (Lutcavage *et al.* 1997). En base a lo mencionado es fundamental caracterizar la dinámica costera de las áreas de anidación así como las variación granulométrica del sedimento. Lo cual permitirá valorar el nivel de impacto que podrían experimentar las tortugas marinas en isla Cozumel. Este tipo de enfoque permitirá evaluar la vulnerabilidad de las poblaciones regionales de tortugas marinas ante las consecuencias adversas del cambio climático en las aéreas de anidación (Fish *et al.* 2009).

## **Objetivo**

- Caracterizar la dinámica costera a través de perfiles topográficos, la granulometría de las playas de anidación y la climatología histórica del área.

## **Metodología**

### Topografía de las playas de anidación

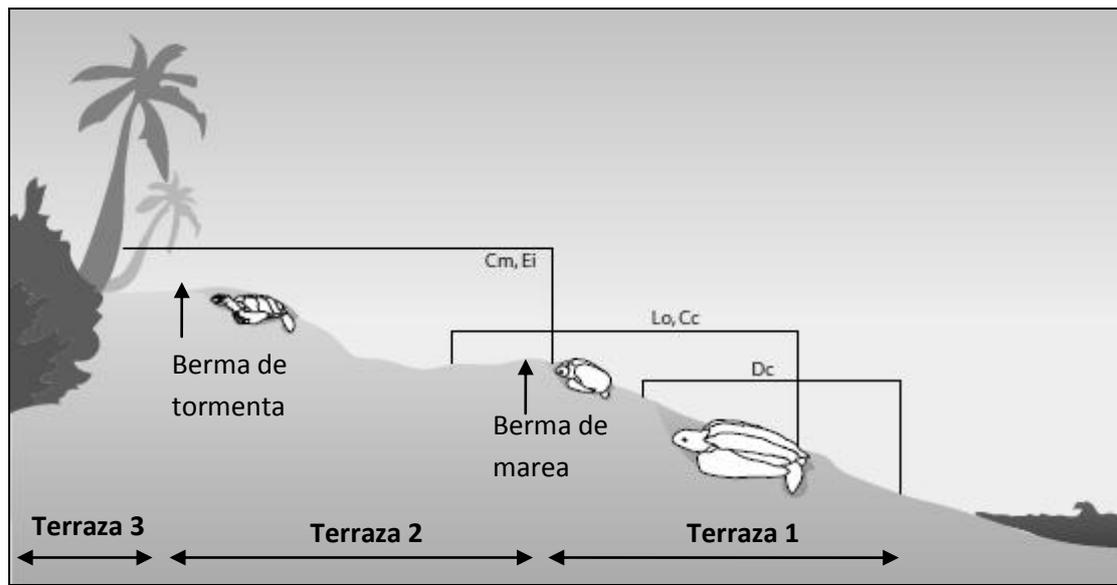
El cambio morfológico de las playas fue determinado a partir de la elaboración de perfiles topográficos en las tres playas de anidación (Punta Chiqueros, Punta Morena y Mezcalitos). Los muestreos se realizaron quincenalmente durante la temporada de anidación desde agosto (época de lluvias) hasta noviembre (época de nortes). Los perfiles topográficos fueron realizados mediante el método de nivelación diferencial usando un nivel de mano y cinta métrica (Márquez-García 2002). Este método tiene como objetivo determinar la diferencia de elevación entre dos puntos. Para poder realizar estas mediciones se requiere de dos personas, la que representa al punto A y se encargara de sostener el estadal y la persona que se encargara de mirar por la mirilla y representara al punto B. Para registrar el desnivel entre el punto A y el punto B, se realiza la primera lectura conocida como lectura hacia atrás. Esta se obtiene

colocando el estadal graduado a nivel medio de marea (punto A) en este punto la elevación siempre será de 0 metros. El punto B nunca se ubicó a una distancia fija, la distancia dependió del lugar donde se observó cambio topográfico en la inclinación de la playa, una vez fijados los dos puntos se tomó la lectura mediante el uso de una mirilla así como la distancia entre los dos puntos. La segunda lectura conocida como lectura hacia adelante se obtuvo realizando el mismo proceso solo que el estadal cambio de lugar a la nueva ubicación donde se registró un nuevo cambio en la inclinación del perfil. Este proceso se realizó a lo largo de la playa hasta donde comenzó la zona de vegetación y se repitió para obtener cada uno de los perfiles en las diferentes playas de anidación. Cada perfil topográfico fue posicionado geográficamente con un Sistema Global de Posicionamiento portátil (GPS por sus siglas en inglés) con referencia al nivel medio del mar. La distancia entre los perfiles topográficos fue aproximadamente de 200 metros, a excepción del perfil número cinco ubicado en playa Mezcalitos, esto debido a que gran parte de esta playa presenta zonas rocosas carentes de arena en donde no ocurre anidación.

#### Zonificación de las playas de anidación

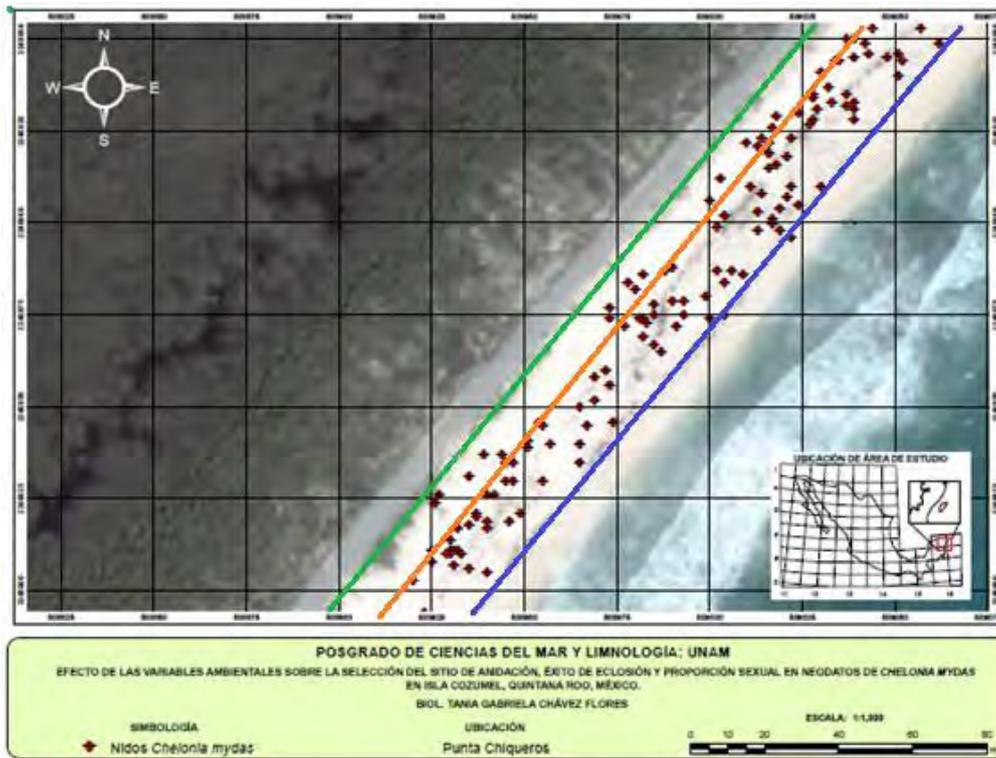
Generalmente los estudios aplicados a tortugas marinas utilizan una zonificación particular para los diversos sectores de playa, tal clasificación es la propuesta por Márquez (1996). Esta zonificación estipula que la selección del sitio de anidación que cada género de tortuga marina escoge parece estar relacionado con la talla y el peso promedio del animal. De este modo el género *Dermochelys* que alcanza la mayor talla anida en las playas de pendiente más pronunciada y de alta energía, por lo regular oviposita al primer intento, en espacios libres de vegetación y a sólo unos cuantos metros más allá de la línea de mareas altas. Las tortugas del género *Lepidochelys* llegan a playas de barrera arenosa y generalmente suben hasta la primera terraza, donde es común que aniden al primer intento, en espacios libres de vegetación, a menos de que encuentren algún obstáculo como raíces, piedras o palos enterrados, pues entonces buscarán un nuevo sitio cercano al primero, donde intentarán nuevamente excavar el nido. En el caso de *Chelonia* el recorrido que realiza es mucho más largo, ya que por lo general sube hasta la segunda terraza (berma de tormenta), pero casi nunca desova al primer intento y en múltiples ocasiones recorre trechos de más de cien metros antes de hacer el nido definitivo, siempre buscando espacios libres de vegetación. Por el contrario, *Eretmochelys*, aunque también sube a la segunda terraza (berma de tormenta), no efectúa recorridos tan extensos y es muy frecuente encontrarla anidando entre los arbustos. *Caretta* busca una situación intermedia, ya que anidan al final de la primera terraza (berma de marea), en lugares libres de vegetación y comúnmente al primer intento. Esta zonificación de playa estipula tres diferentes zonas (Figura 3):

- Terraza 1: se considera desde la línea de marea alta hasta donde comienza la berma de marea.
- Terraza 2: se considera a partir de la berma marea hasta donde termina la berma de marea y comienza la cobertura de vegetación.
- Terraza 3: incluye toda el área de vegetación que se encuentra en la parte posterior de la playa incluyendo la zona de dunas.

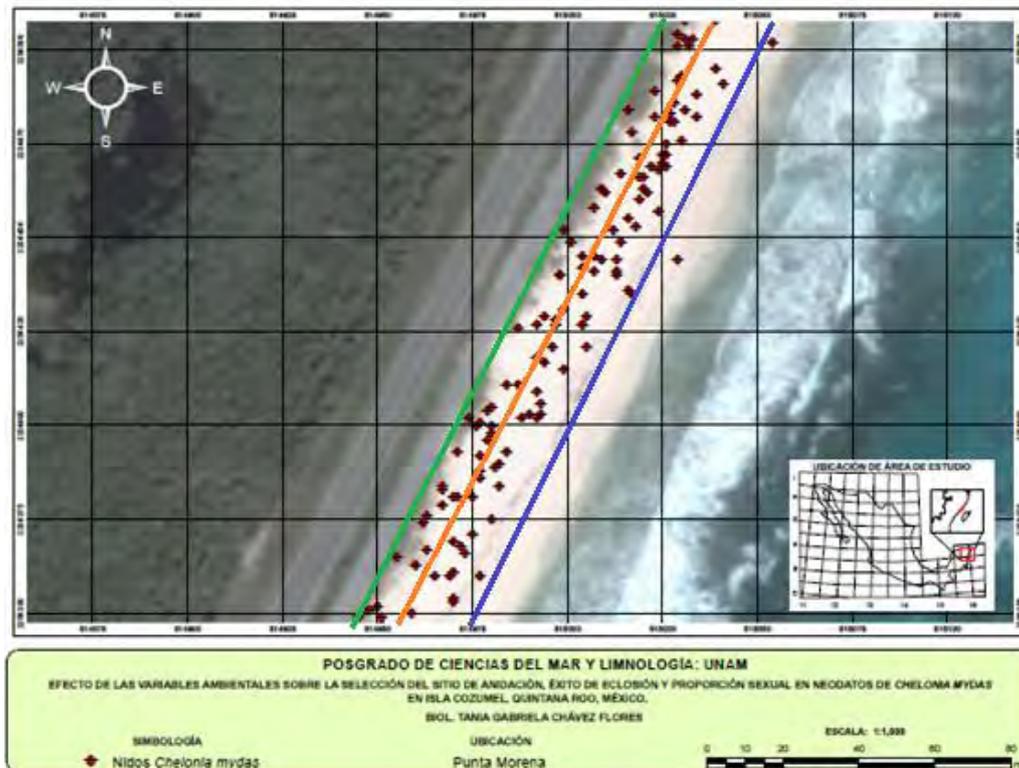


**Figura 3.** Zonificación de playas propuesta por Márquez (1996)

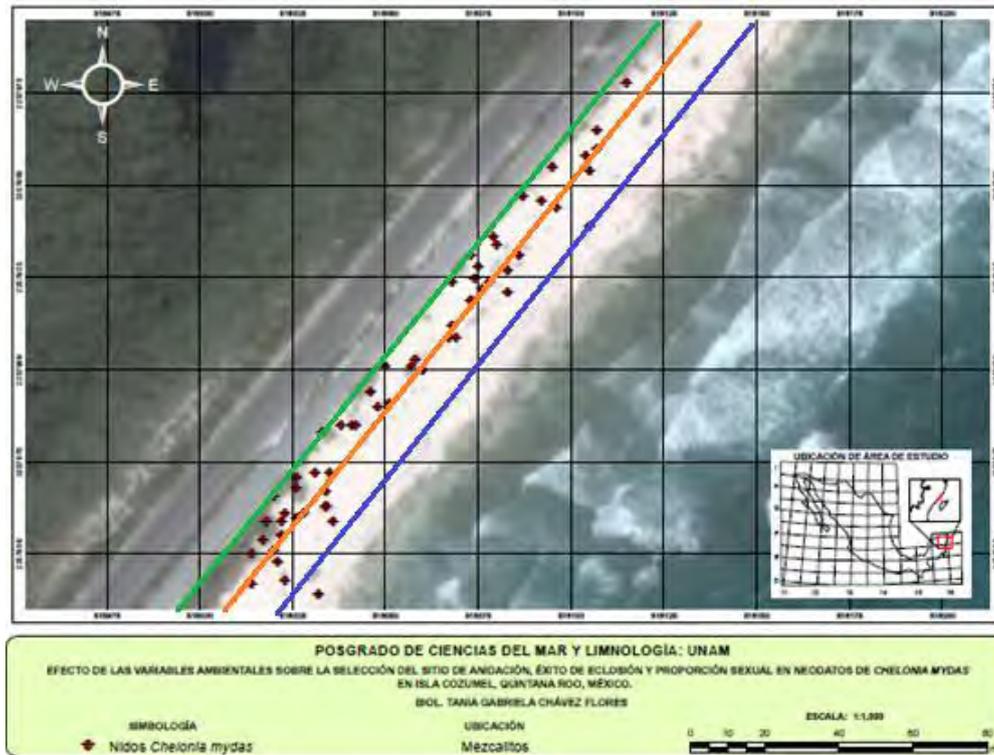
Sin embargo, debido a las características particulares que presentan las playas de anidación y a la ubicación de los nidos de *Chelonia mydas* en Isla Cozumel, la zonificación de las playas en este estudio se ajustó al esquema propuesto por Carranza-Edwards y Caso-Chávez (1994). Lo anterior es debido a dos factores. Uno de ellos es la poca pendiente de las playas de estudio lo cual evita la formación de ambas terrazas o bermas, por lo tanto la terraza 1 (berma de marea), sería afectada al ser muy reducida. El segundo factor es debido a la carretera que rodea la isla. Esta carretera genera la fragmentación del hábitat lo cual evita la formación del área de vegetación y duna costera, por lo tanto en Isla Cozumel no se contó con la terraza 3 propuesta por Márquez (1996). La interacción de ambos factores dan como resultado que la terraza 2 (berma de tormenta), sea maximizada y por lo tanto todos los nidos ovipositados en las playas de la Isla se encontrarían ubicados en la terraza 2, ya que esta especie anida en la zona alta de la playa y ocasionalmente en zona de riesgo o zona de marea como se puede observar en la Figura 4 (Punta Chiqueros), Figura 5 (Punta Morena) y Figura 6 (Mezcalitos). Lo anterior reduciría la diversidad de zonas de anidación y de este modo dificultaría evidenciar la variabilidad espacial entre los nidos.



**Figura 4.** Distribución de los nidos en Punta Chiqueros (línea azul: límite de la infraplaya, línea naranja: límite de la mesoplaya, línea verde: límite de la supraplaya).



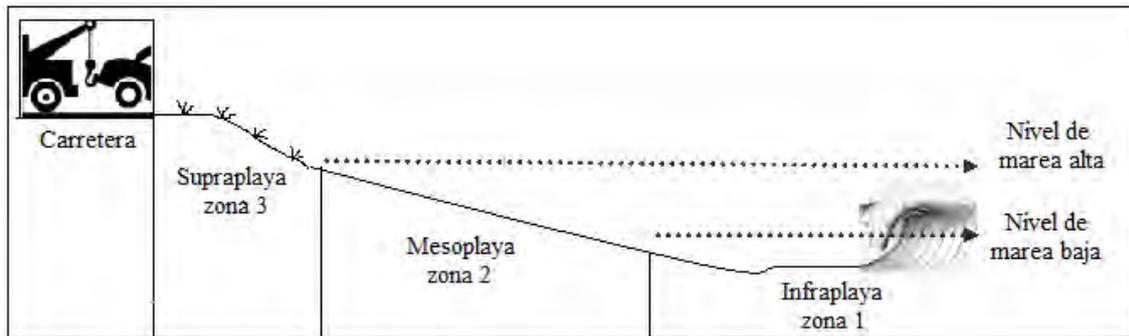
**Figura 5.** Distribución de los nidos en Punta Morena (línea azul: límite de la infraplaya, línea naranja: límite de la mesoplaya, línea verde: límite de la supraplaya).



**Figura 6.** Distribución de los nidos en Mezcalitos (línea azul: límite de la infraplaya, línea naranja: límite de la mesoplaya, línea verde: límite de la supraplaya).

Por lo tanto, después de analizar la dinámica costera de las playas de anidación, la zonificación de playa que permitió un mejor análisis de la variabilidad espacial es la propuesta por Carranza-Edwards y Caso-Chávez (1994), esta clasificación fue modificada debido a la presencia de la barrera física formada por el paso de la carretera que rodea la isla, misma que se describe a continuación:

- Infraplaya o Zona 1: comprende desde donde el oleaje toca fondo hasta el límite de marea baja.
- Mesoplaya o Zona 2: comprende del límite de marea baja hasta la zona de marea alta, en donde comienzan a aparecen pequeñas formaciones de vegetación rastrera.
- Supraplaya o Zona 3: se define como la zona más alta de la playa misma que en condiciones normales se encuentra seca. Esta zona abarca desde donde comenzaron a aparecer pequeñas formaciones de vegetación rastrera hasta el límite con la carretera. (Figura 7).



**Figura 7.** Zonificación de las playas propuesta por Carranza-Edwards y Caso-Chávez (1994) utilizada en este estudio.

### Análisis granulométrico de las playas de anidación

El muestreo consistió en dos etapas. La primera toma de muestras se realizó en el mes de julio a principios de la temporada de anidación. Estas muestras permitieron registrar la textura del sedimento en época de lluvias durante el verano. La segunda toma se realizó en el mes de febrero, a finales de la temporada de anidación. Estas muestras permitieron registrar la textura del sedimento en época de nortes durante la temporada invernal. El muestreo se realizó de esta manera con la finalidad de registrar la existencia de variación textural del sedimento durante el cambio estacional que ocurre durante la temporada de anidación.

En cada muestreo se colectaron muestras de 200 gramos de sedimento en cada uno de los perfiles topográficos de cada playa. Las muestras se colectaron conforme a la zonificación de las playas (Infraplaya, Mesoplaya y Supraplaya) hecha por Carranza-Edwards y Caso-Chávez (1994).

Las muestras fueron colectadas en bolsas herméticas para su transportación y fueron procesadas en el laboratorio de sedimentología de la Academia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANIDE) ubicado en Cuernavaca Morelos. El análisis granulométrico para la fracción gruesa (gravas y arenas) se realizó por el método de tamizado (Folk 1969) con el siguiente equipo: tamices de ocho pulgadas de diámetro representativas de cada  $\frac{1}{4}$  de  $\phi$ . Comprendiendo un total de 21 tamices para completar la serie, una balanza analítica con precisión de cuatro decimales, un agitador de tamices, brocha de pelo fino, una espátula, bolsas de plástico y la forma de registro de datos.

El procedimiento para realizar el análisis de tamizado fue el siguiente:

1. Se secó la muestra (sedimento) a la intemperie.
2. En caso de existir terrones (arena compactada) se disgregaron suavemente con los dedos.
3. Se pesaron 50 gramos por cada muestra en una balanza analítica y se anotó el resultado en la hoja de registro.
4. Se colocó la serie de tamices con la malla de mayor apertura hacia arriba.
5. Se espolvoreo el sedimento seco en tamiz superior.
6. Se cerró y colocó la serie de tamices en el agitador y se agito aproximadamente de 90 segundos.
7. Se retiró la serie de tamices del agitador y se limpio cada malla con una inversión rápida golpeando firmemente sobre una cartulina. Se debe de tener cuidado en que la mesa esté pareja y de que no se dañe el tamiz. Se utilizó una brocha de 1” para limpiar cada tamiz. El contenido de cada tamiz se colocó cuidadosamente sobre la cartulina. El material se transfirió a una caja de Petri previamente pesada. Este procedimiento se repitió para el contenido de cada tamiz.
8. Se pesó la fracción arenosa de cada uno de los tamices y se registraron los pesos.
9. Se calcularon los percentiles de 5, 16, 25, 50, 75, 84 y 95.
10. Los parámetros granulométricos: tamaño gráfico promedio, desviación estándar, grado de asimetría y curtosis se calcularon utilizando los limites propuestos por Folk (1969) (Tabla 3). El cálculo del porcentaje acumulativo, gráficas y parámetros granulométricos se realizaron mediante una hoja de cálculo de Excel.

**Tabla 3.** Parámetros granulométricos y sus límites (Folk 1969).

<b>Parámetros granulométricos</b>	<b>Límites</b>
Tamaño gráfico promedio	Arena muy gruesa: -1 Ø a 0 Ø (2 a 1 mm)
	Arena gruesa: 0 Ø a 1 Ø (1 a 0.5 mm)
	Arena media: 1 Ø a 2 Ø (0.5 a 0.25 mm)
	Arena fina: 2 Ø a 3 Ø (0.25 a 0.125 mm)
	Arena muy fina: 3 Ø a 4 Ø (0.125 a 0.0625 mm)
	Limo muy grueso: 4 Ø a 5 Ø
	Limo grueso: 5 Ø a 6 Ø
	Limo medio: 6 Ø a 7 Ø
	Limo fino: 7 Ø a 8 Ø
	Arcilla: > 8 Ø
Desviación estándar gráfica inclusiva	Muy bien clasificado: menor de 0.35 Ø
	Bien clasificado: 0.35 a 0.50 Ø
	Moderadamente bien clasificado: 0.50 a 0.71 Ø
	Moderadamente clasificado: 0.71 Ø a 1.00 Ø
	Mal clasificado: 1.00 Ø a 2.00 Ø
	Muy mal clasificado: 2.00 Ø a 4.00 Ø
	Extremadamente mal clasificado: mayor de 4.00 Ø
Grado de asimetría gráfica inclusiva	Muy asimétrico hacia finos: + 1.00 a + 0.30
	Asimétrico hacia finos: + 0.30 a + 0.10
	Simétrico: + 0.10 a - 0.10
	Asimétrico hacia gruesos: - 0.10 a -0.30
	Muy asimétrico hacia gruesos: -0.30 a -1.00
Curtosis	Muy platicúrtico: menor de 0.67
	Platicúrtico: 0.67 a 0.90
	Mesocúrtico: 0.90 a 1.11
	Leptocúrtico: 1.11 a 1.50
	Muy leptocúrtico: 1.50 a 3.00
	Extremadamente leptocúrtico: mayor de 3.00

Los parámetros granulométricos se definen de la siguiente manera:

- Tamaño gráfico promedio (mz): Este parámetro expresa el diámetro promedio de las partículas de una muestra y es representado por la unidad Ø, la cual reconoce la igualdad logarítmica de la escala de divisiones y permite graficar los resultados del análisis de tamaño de grano. Cuanto mayor sea el número phi de la partícula más fina será.
- Desviación estándar gráfica inclusiva ( $\sigma$ ): Este parámetro expresa una medida de clasificación (uniformidad del sedimento), misma que se interpreta como la

homogeneidad (bien clasificado) o heterogeneidad (mal clasificado) en el tamaño de las partículas. De igual manera es representado por la unidad  $\phi$ . Cuanto mayor sea el número phi más heterogénea será la muestra.

- Grado de asimetría gráfica inclusiva (SKi): Este parámetro representa el sesgo o asimetría de una curva hacia material fino o grueso.
- Curtosis (KG): Indica un acercamiento al valor medio de una curva de distribución de los sedimentos en base a su tamaño.

### Climatología del área de estudio

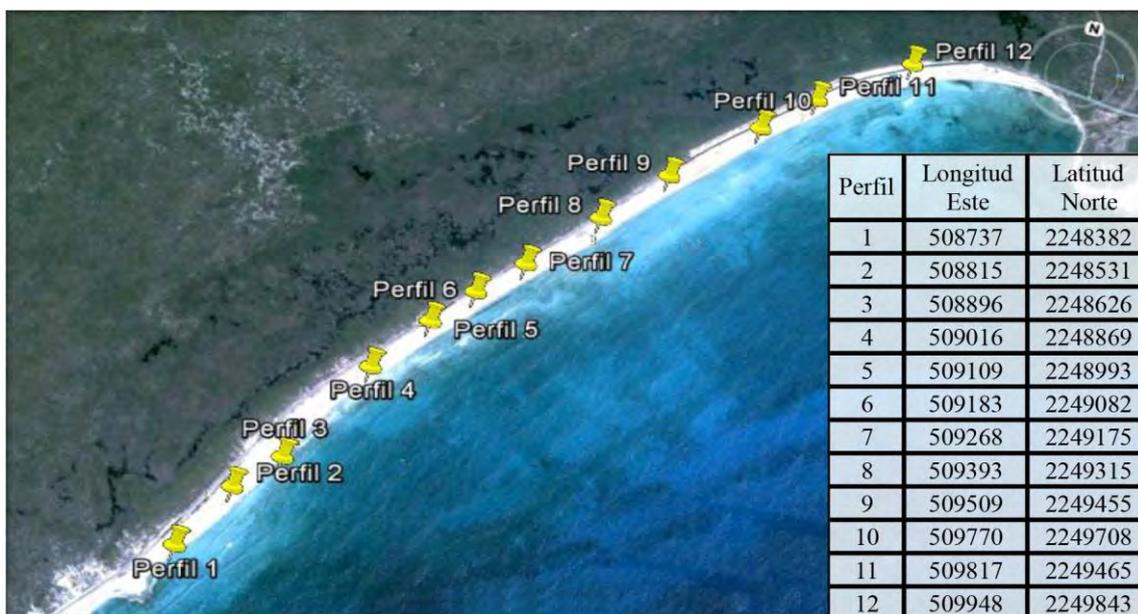
Se caracterizó la climatología histórica del área de estudio y las condiciones actuales que se experimentaron en el año de estudio. Se analizaron los datos de temperatura ambiental y precipitación correspondientes a un periodo histórico de 40 años desde 1971 hasta 2011. Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en la base aérea militar de la isla.

## **Resultados**

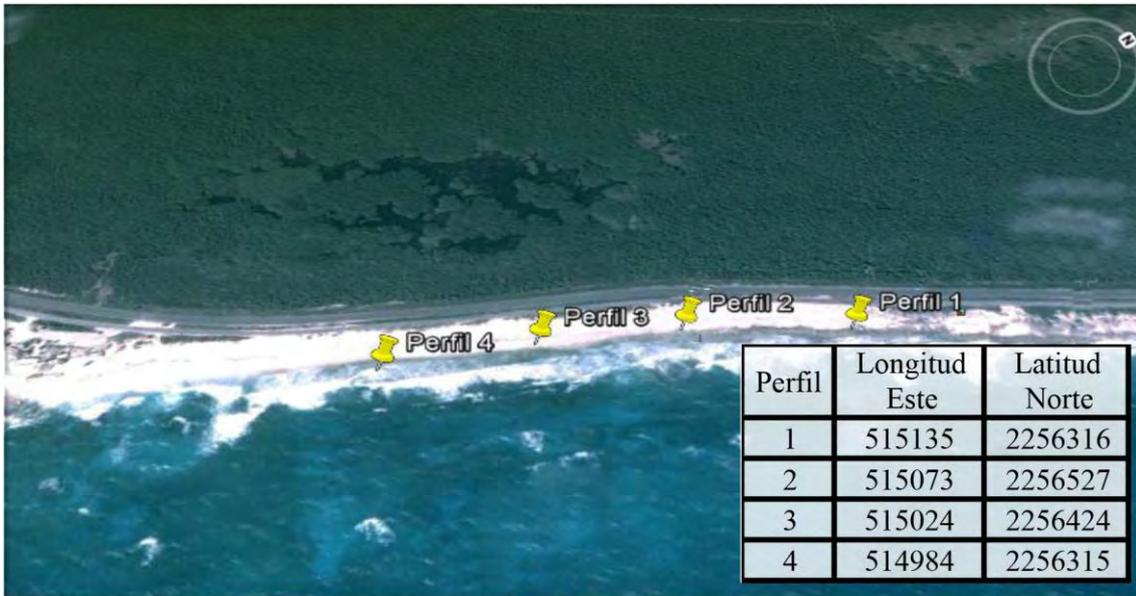
### Topografía de las playas de anidación

#### A) Distribución de los perfiles topográficos

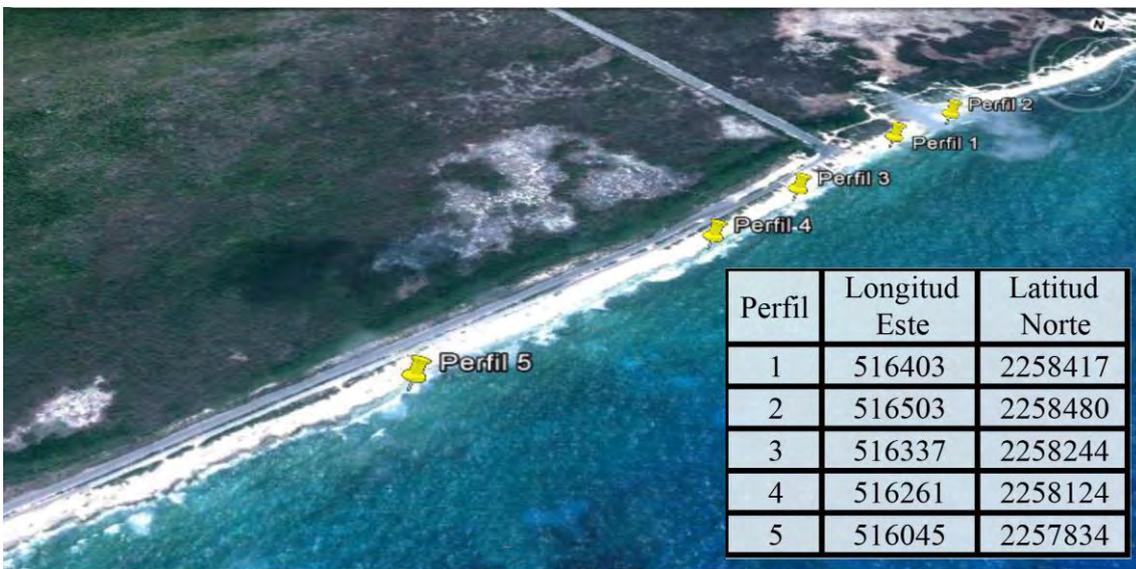
A continuación se muestran las coordenadas geográficas y la distribución de los perfiles topográficos realizados en Punta Chiqueros (Figura 8), Punta Morena (Figura 9) y Mezcalitos (Figura 10).



**Figura 8.** Coordenadas y distribución geográfica de los perfiles topográficos en Punta Chiqueros



**Figura 9.** Coordenadas y distribución geográfica de los perfiles topográficos en Punta Morena.



**Figura 10.** Coordenadas y distribución geográfica de los perfiles topográficos en Mezcalitos.

## B) Dinámica costera durante el periodo de anidación

A continuación se reportan los cambios físicos que presentaron los perfiles topográficos de cada una de las playas a lo largo de la temporada de anidación. El reporte gráfico muestra los cambios topográficos que experimentaron las playas de anidación, como: el proceso de erosión-deposito (Tabla 4, 5 y 6), la variación en la amplitud de las playas (Figura 11, 12 y 13) y los perfiles topográficos de las playas de anidación (Ver anexo 2).

### Punta Chiqueros

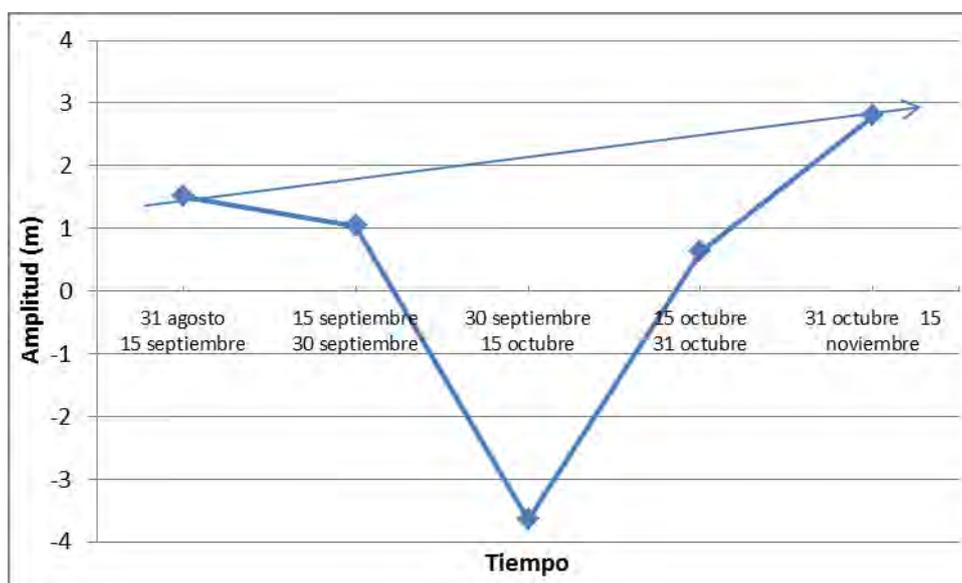
El proceso de erosión-deposito en Punta Chiqueros se resume en la Tabla 4, donde se muestra la variación en la amplitud de la playa para los periodos quincenales correspondientes a cada muestreo. Se puede observar erosión con valores negativos y deposito o acumulación con números positivos. Esta playa experimento procesos erosivos al registrar una disminución de amplitud en la zona norte la cual comprende los perfiles 9, 10, 11 y 12. El resto de los perfiles topográficos presentaron eventos de deposito al registrar un aumento en la amplitud de la playa.

**Tabla 4.** Proceso de erosión-deposito en Punta Chiqueros (D=Deposito, E=Erosión)

Perfil	Amplitud inicial	31 ago 15 sept	15 sept 30 sept	30 sept 15 oct	15 oct 31 oct	31 oct 15 nov	Amplitud final	Tendencia
1	28.0 m	-9.5	12.3	1.1	18.3	4.4	42.2 m	D
2	29.8 m	7	-6	-1.1	1.1	1.3	32.1 m	D
3	39.2 m	5.8	-4.3	-9	3.6	-3.4	31.9 m	E
4	40.2 m	7.5	-3.6	-3.8	-0.2	2.4	42.5 m	D
5	37.2 m	1.5	-0.1	-4.7	-3.4	11.7	42.2 m	D
6	26.2 m	6.5	-2.6	0.4	0.4	5.3	36.2 m	D
7	28.9 m	-5.3	5.2	-11.4	9.4	4.5	31.3 m	D
8	25.3 m	2.3	-0.1	-13.6	6.7	8.8	29.5 m	D
9	23.0 m	-3.4	4.7	-10.2	5.4	1.5	21 m	E
10	24.7 m	-1.2	6.8	-1.1	-14.1	-1	14.1 m	E
11	17.8 m	2.6	0	8.1	-11.5	-0.2	16.8 m	E
12	16.3 m	4.3	0.2	1.6	-8.1	-1.7	12.6 m	E
	<b>Promedio</b>	1.51	1.04	<b>-3.64</b>	0.63	2.8		

El análisis de los promedios de amplitud por época permitió reportar la dinámica costera temporal. El momento donde se registró mayor erosión correspondió al periodo del 30 septiembre al 15 octubre en el cual se registraron grandes cambios físicos en campo debido a la intensificación de los fenómenos hidrometeorológicos generados por la depresión tropical Rina.

Punta Chiqueros mostró una línea de tendencia acumulativa al aumentar su amplitud a final del muestreo (Figura 11).



**Figura 11.** Promedio de la amplitud de playa en Punta Chiqueros.

### Punta Morena

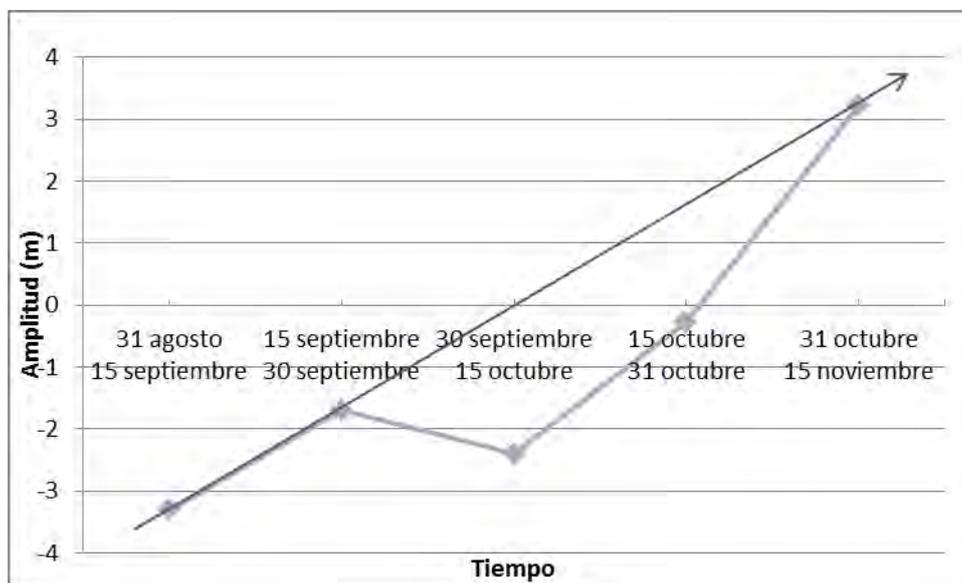
La dinámica costera en Punta Morena se resume en la Tabla 5, donde se muestra la amplitud de la playa para los periodos quincenales correspondientes a cada muestreo, en los cuales se puede observar erosión con valores negativos y deposito o acumulación con números positivos. En esta playa se registraron procesos erosivos en el perfil 1 y 2 al registrar una disminución en la amplitud de la playa durante la mayor parte del muestreo. Así como también se registró estabilidad en la amplitud de playa en los perfiles 3 y 4.

**Tabla 5.** Proceso de erosión-deposito en Punta Morena (E=Erosión, ES=Estabilidad).

Perfil	Amplitud inicial	31 ago 15 sept	15 sept 30 sept	30 sept 15 oct	15 oct 31 oct	31 oct 15 nov	Amplitud final	Tendencia
1	<b>39.3 m</b>	-3.5	-2.4	-3.8	4	-2.5	<b>31.1 m</b>	E
2	<b>44.3 m</b>	-3.4	-6.3	0.1	-3.4	4.6	<b>35.9 m</b>	E
3	<b>36.6 m</b>	-1.4	-0.6	-2.4	-0.4	4.2	<b>36 m</b>	ES
4	<b>36.8 m</b>	-4.9	2.5	-3.5	-1.3	6.6	<b>36.2 m</b>	ES
	<b>Promedio</b>	-3.3	-1.7	-2.4	-0.28	3.225		

El análisis de los promedios de amplitud por época permitió reportar la dinámica temporal en la playa (Figura 12). Los periodos donde se registro mayor erosión ocurrieron del 31 agosto al 15 septiembre dentro de la época de lluvias y del 30 septiembre al 15 octubre momento en el cual se registraron grandes cambios físicos en campo debido a la depresión tropical Rina. Se

encontró que Punta Morena muestra una línea de tendencia acumulativa al aumentar su amplitud hacia final del muestreo del 31 de octubre al 15 de noviembre, siendo este el único evento de depósito ya que durante el muestreo solo se registraron procesos erosivos.



**Figura 12.** Promedio de la amplitud de playa en Punta Morena

### Mezcalitos

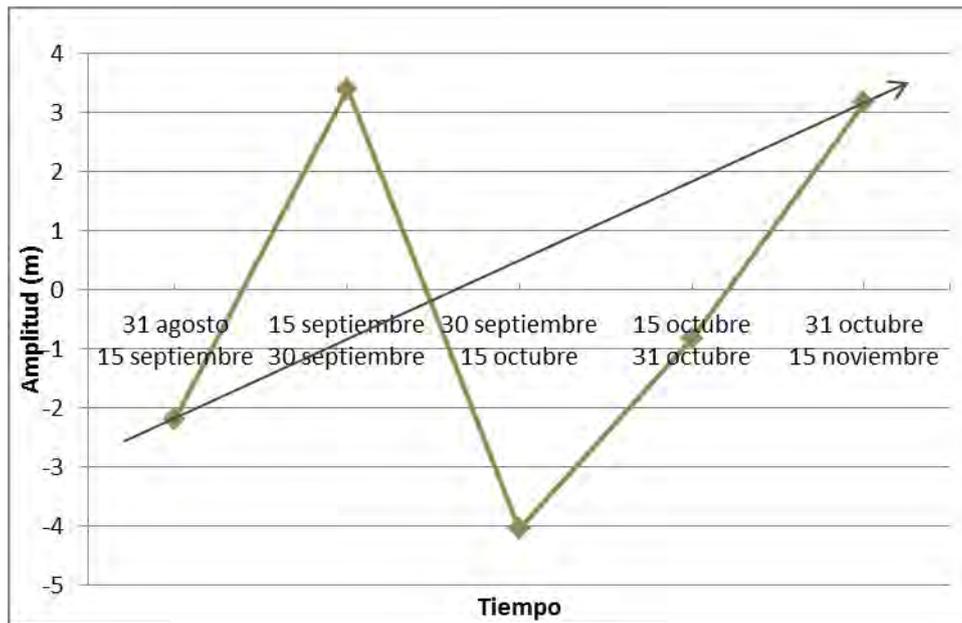
La dinámica costera en Mezcalitos se resume en la Tabla 6, donde se muestra la amplitud de la playa para los periodos quincenales correspondientes a cada muestreo, en los cuales se puede observar erosión con valores negativos y depósito o acumulación con números positivos. En esta playa se registraron procesos erosivos al disminuir la amplitud en los extremos de la playa (perfiles 1 y 5). El resto de los perfiles topográficos presentaron eventos de depósito al registrar un aumento en la amplitud de la playa.

**Tabla 6.** Proceso erosión-deposito en Mezcalitos (D=deposito E=Erosión).

Perfil	Amplitud inicial	31 ago 15 sept	15 sept 30 sept	30 sept 15 oct	15 oct 31 oct	31 oct 15 nov	Amplitud final	Tendencia
1	28.9 m	-3.5	3.5	-10.1	0.9	-0.6	19.1 m	E
2	47.3 m	1.9	0.7	-0.1	-1.2	2.8	51.4 m	D
3	23.4 m	-3.5	5.1	0	-4	7	28 m	D
4	24.4 m	-2.1	5.4	-5.9	3.5	-0.2	25.1 m	D
5	32.7 m	-3.7	2.3	-4.1	-3.3	6.9	30.8 m	E
	<b>Promedio</b>	-2.18	3.4	-4.04	-0.82	3.18		

El análisis de los promedios de amplitud por época permitió reportar la dinámica temporal en la playa. Se encontró que los periodos donde hubo una mayor reducción en la amplitud de playa

ocurrieron del 31 agosto al 15 septiembre dentro de la época de lluvias y del 30 septiembre al 31 de octubre, en este ultimo se registraron grandes cambios fisicos en campo debido a la intensificación de los fenómenos hidrometeorológicos generados por la depresión tropical Rina. Mientras que los procesos de deposito se dieron a finales de la temporada de lluvias (del 15 septiembre al 30 septiembre) y a finales de la temporada de nortes (del 31 octubre al 15 de noviembre). Mezcalitos muestran una línea de tendencia acumulativa al aumentar su amplitud de inicio a final del muestreo (Figura 13).



**Figura 13.** Promedio de la amplitud de playa en playa Mezcalitos.

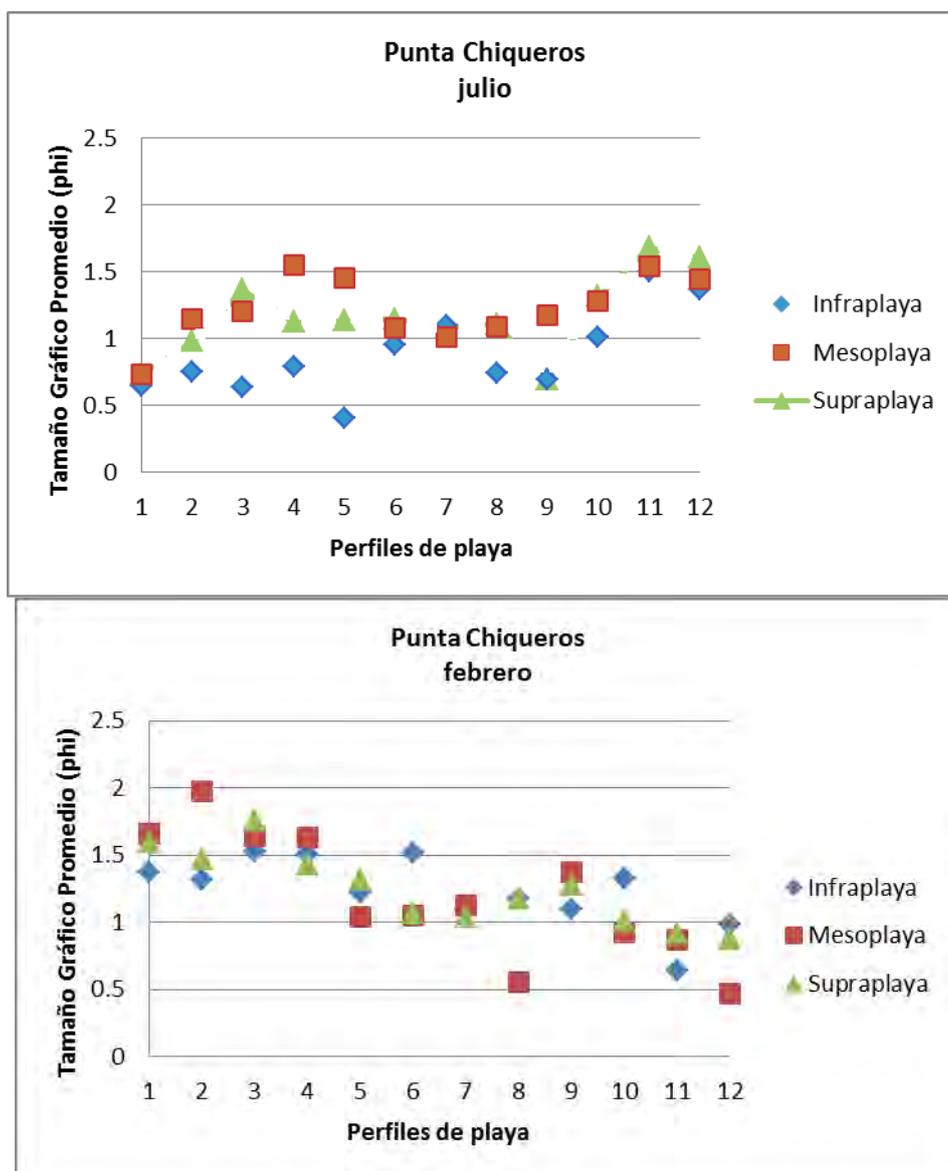
### Granulometría de las playas de anidación.

A continuación se muestran los resultados de las características granulométricas a través de los muestreos realizados en los dos periodos estacionales. Es decir, en Julio durante la temporada de lluvias y en presencia de anidación y en febrero durante la temporada de nortes y en ausencia de la temporada de anidación.

## Tamaño gráfico promedio

### Punta Chiqueros

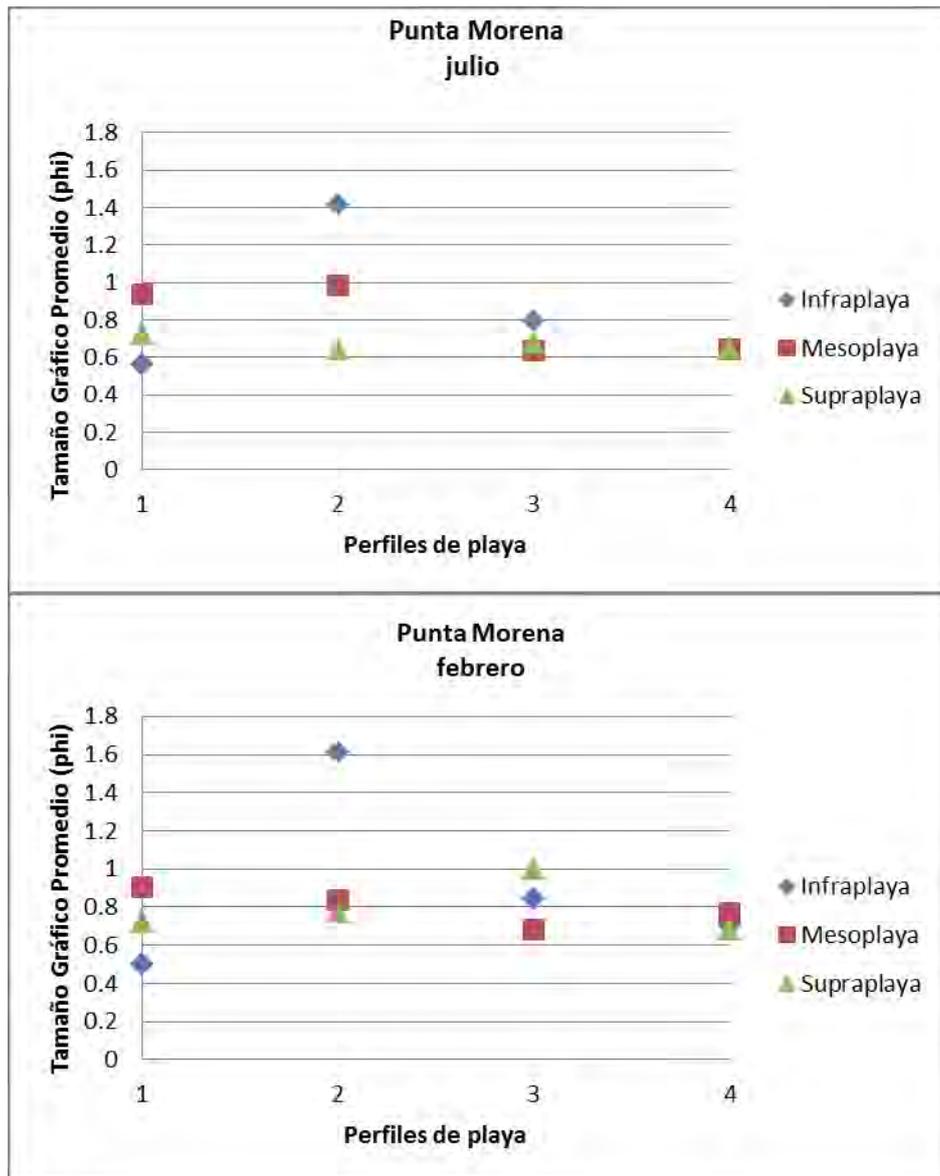
Para el periodo de julio en Punta Chiqueros se registró la presencia de arenas gruesa en zona de infraplaya con valores menores a 1 phi. La mesoplaya y la supraplaya reportaron arenas medias. Mientras que para el mes de febrero se observó que la playa presentó en el norte arenas medias (Perfil 1 al 9). Mientras que en la zona sur (perfil 10 al 12) se observó de forma marcada el descenso de la línea hacia valores menores a 1 phi que muestran la presencia de arenas gruesas para las tres zonas de playa (Figura 14).



**Figura 14.** Tamaño gráfico promedio en Punta Chiqueros registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Punta Morena

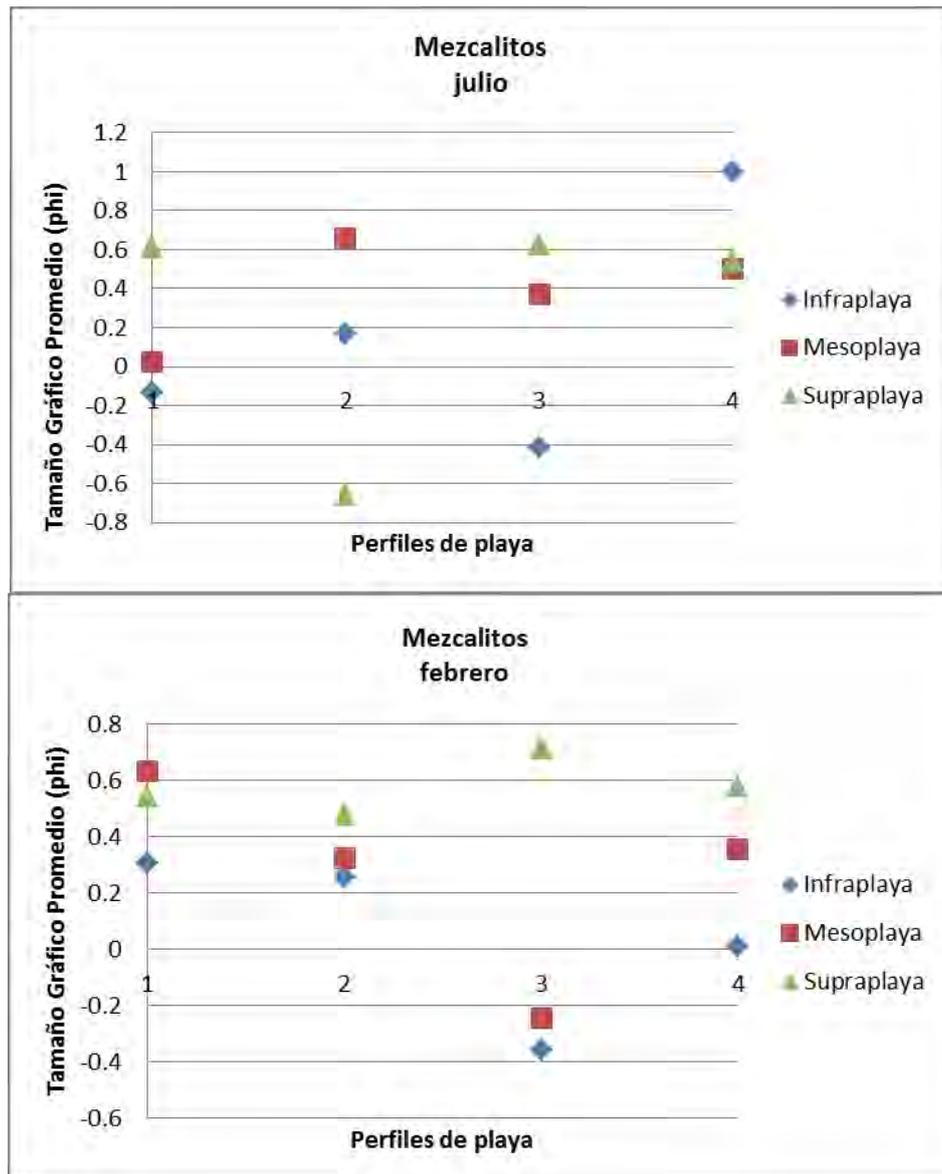
Esta playa registró un tamaño de grano grueso con valores de 0 a 1 phi para las tres zonas de playa (infraplaya, mesoplaya y supraplaya) tal patrón se mantuvo a lo largo del tiempo en esta playa (julio a febrero). Aunque se llegó a registrar variación debido a la presencia de arenas medias en zona de infraplaya en el perfil 2 para ambos muestreos. Por lo tanto, aunque se pudo encontrar variación granulométrica Punta Morena mostró una clara tendencia hacia arenas gruesas (Figura 15).



**Figura 15.** Tamaño gráfico promedio en Punta Morena registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Mezcalitos

El tamaño de grano registrado para Mezcalitos obtenido de las muestras colectadas durante el mes de julio indico que la infraplaya presento tamaños variables desde arena muy gruesa a arena gruesa con valores de -1.0 a +1.0 phi. Mientras que en la mesoplaya y la supraplaya se registraron arenas gruesas. Para el mes de febrero la infraplaya y la mesoplaya presentaron arena muy gruesa con valores de 0 a +1.0 phi. mientras que la supraplaya presento arena gruesa con valores de 0 a -1.0 phi (Figura 16).

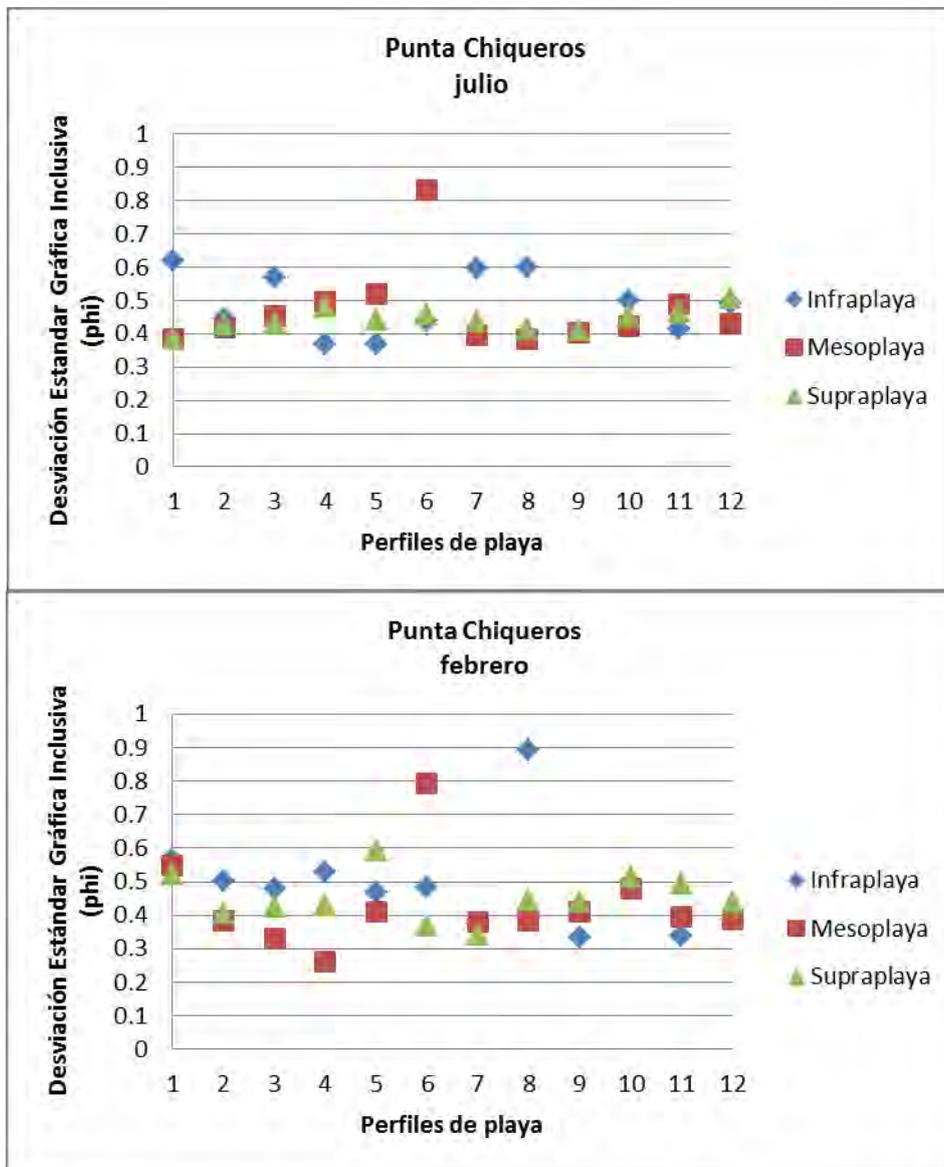


**Figura 16.** Tamaño gráfico promedio en Mezcalitos registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Desviación estándar gráfica inclusiva

### Punta Chiqueros

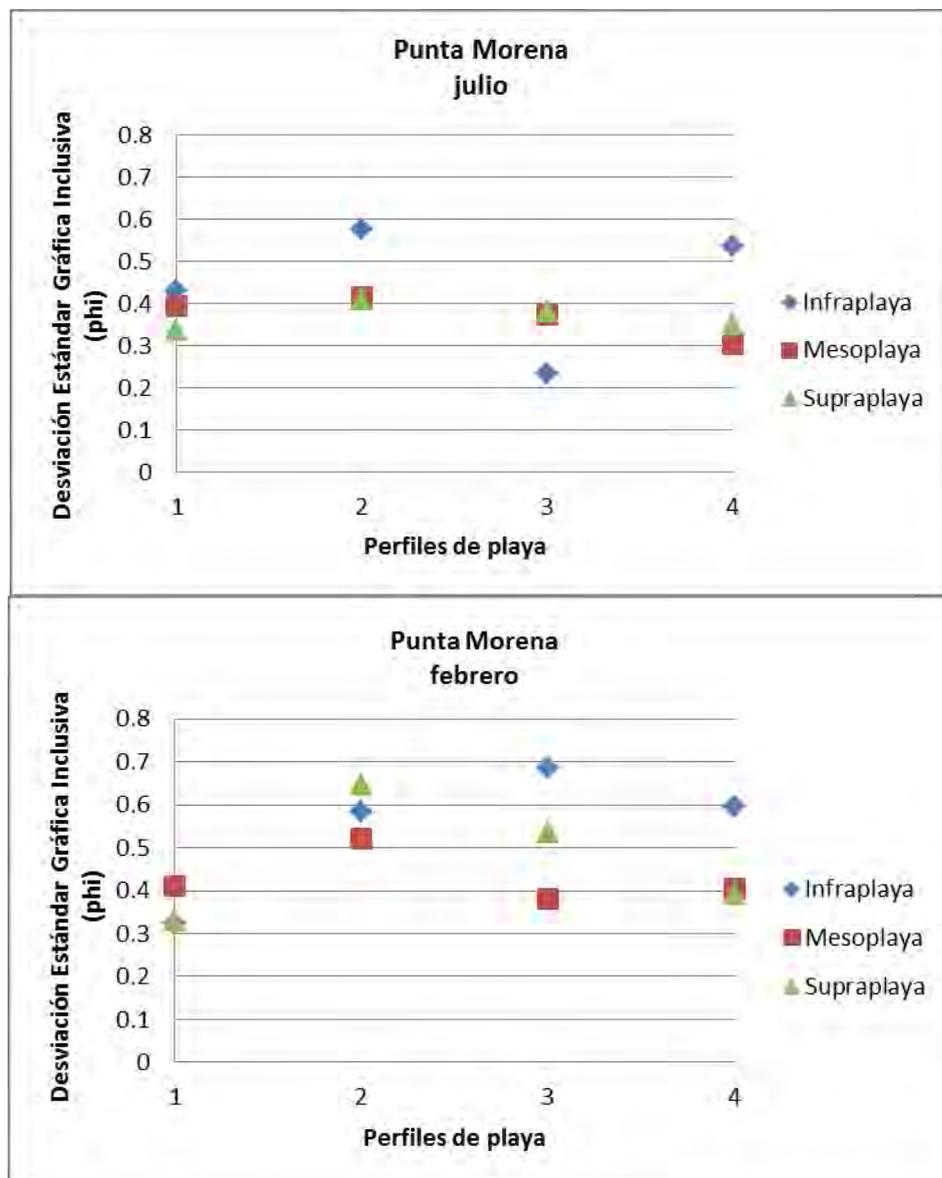
La uniformidad del tamaño de grano en las muestras colectadas durante el mes de julio en la infraplaya ubicaron al material dentro de la categoría de bien clasificado a moderadamente bien clasificado con valores entre 0.35 a 0.71 phi, lo que quiere decir que existió desigualdad entre el tamaño de las partículas. Mientras que la zona de mesoplaya y supraplaya se encontraron dentro del intervalo del material bien clasificado con valores entre 0.35 a 0.50 phi. Este mismo patrón se conservó en la temporada de nortes. Aunque se registro variabilidad granulométrica en el perfil 6 para la zona de mesoplaya con valores que la clasificaron como moderadamente clasificada (Figura 17).



**Figura 17.** Desviación estándar gráfica inclusiva en Punta Chiqueros registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Punta Morena

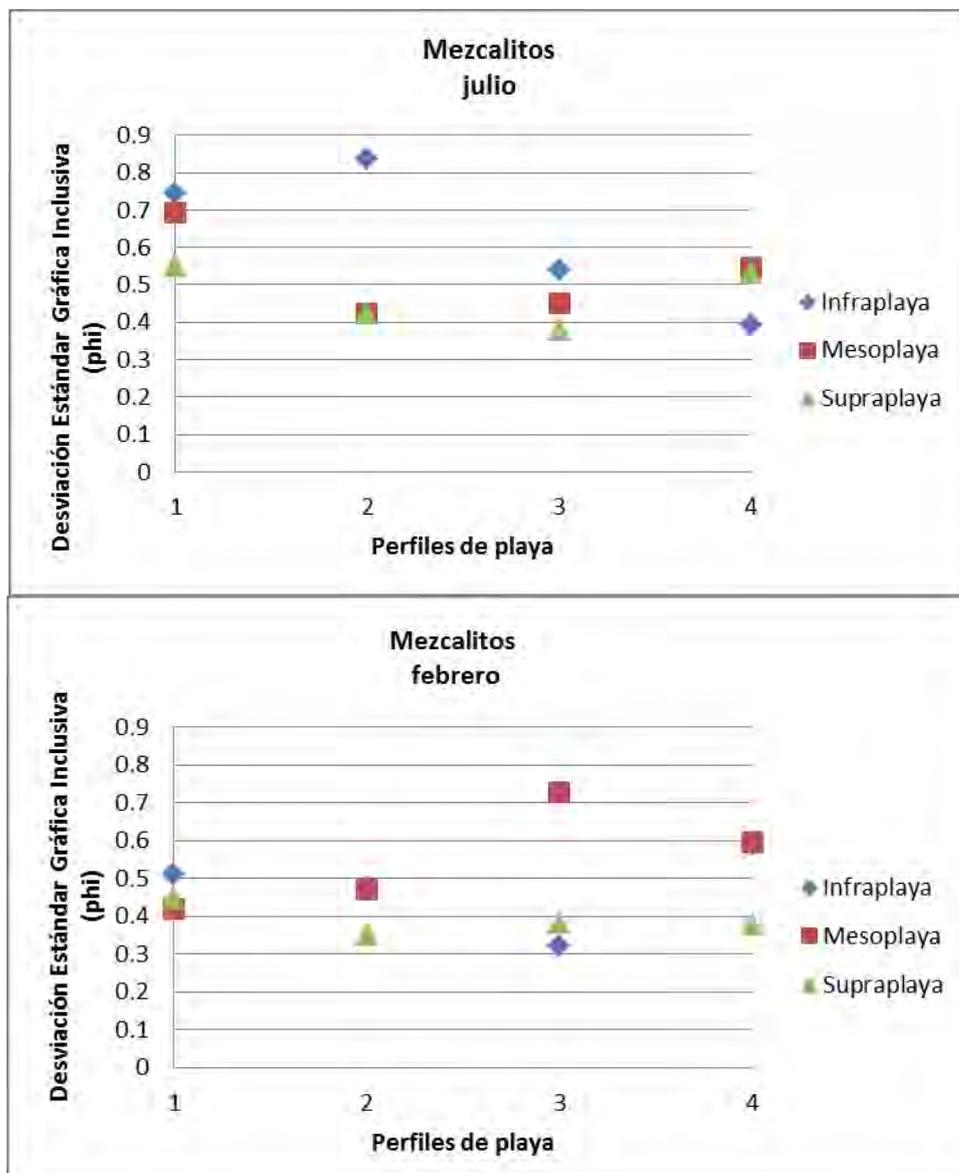
En cuanto a la uniformidad en el tamaño de grano para Punta Morena, el material colectado en la infraplaya se registro de muy bien clasificado a moderadamente bien clasificado con valores desde 0.35 hasta 0.71 phi. Mientras que la mesoplaya y supraplaya se registraron como bien clasificados con valores de 0.35 a 0.50 phi. Lo cual indico que en julio se registro cierto grado de desigualdad entre el tamaño de las partículas únicamente en la zona de infraplaya. Mientras que para el mes de febrero tanto la infraplaya como la mesoplaya y supraplaya presentaron uniformidad al registrar valores desde muy bien clasificado a moderadamente bien clasificado (Figura 18).



**Figura 18.** Desviación estándar gráfica inclusiva en Punta Morena registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Mezcalitos

En cuanto a la uniformidad del sedimento para el mes de julio tanto la infraplaya como la mesoplaya se registraron de bien clasificado a moderadamente bien clasificado con valores entre 0.35 a 0.71 phi, mostrando cierto grado de desigualdad entre el tamaño de grano de las partículas. Mientras que la supraplaya se conservo homogénea reportándose en el intervalo de material bien clasificado con valores entre +0.35 a +0.50 phi. Para el mes de febrero tanto la zona de infraplaya, mesoplaya y supraplaya reportaron cierto grado de desigualdad entre el tamaño de grano de las partículas al ubicarse dentro del intervalo de material bien clasificado a moderadamente bien clasificado con valores de +0.35 a +0.71 phi (Figura 19)

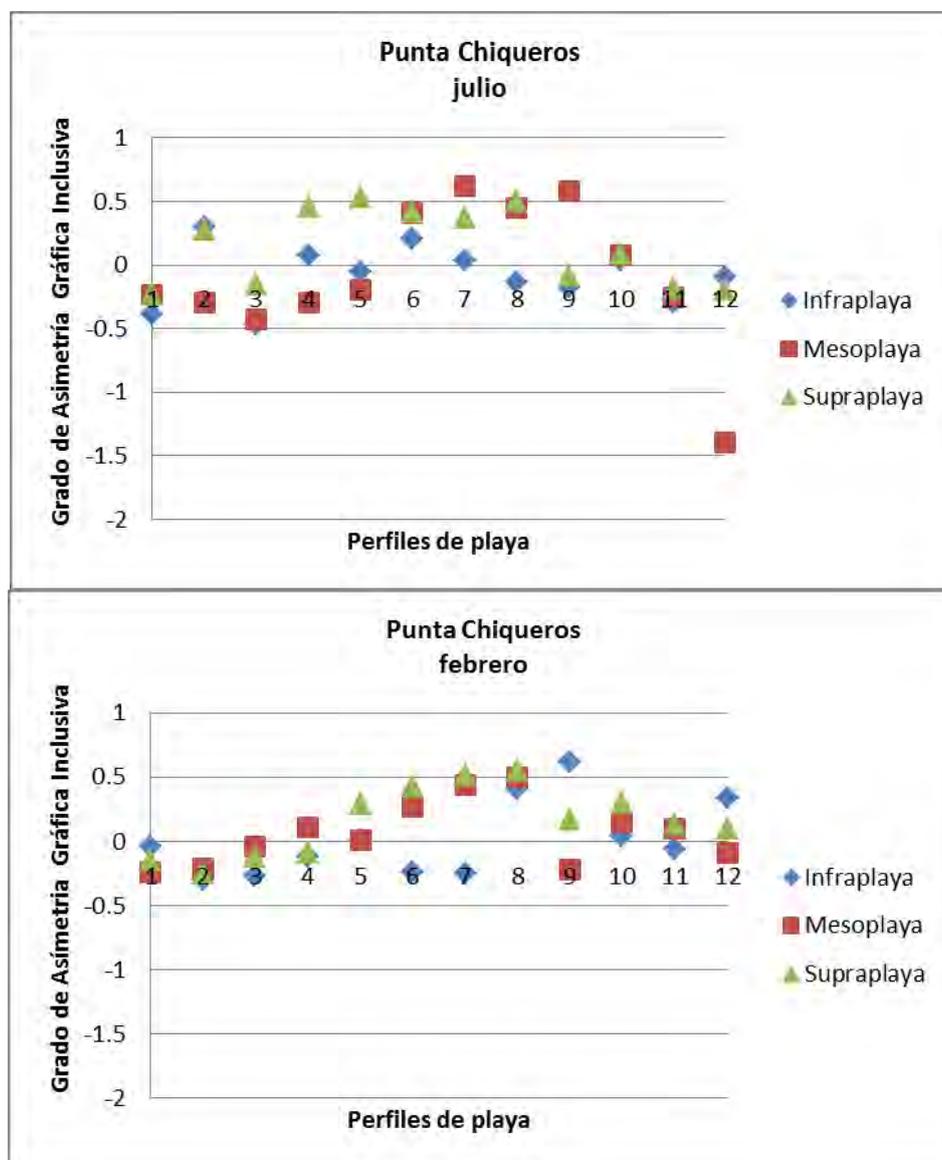


**Figura 19.** Desviación estándar gráfica inclusiva en Mezcalitos registrado en presencia y ausencia de anidación

## Grado de asimetría gráfica inclusiva.

### Punta Chiqueros

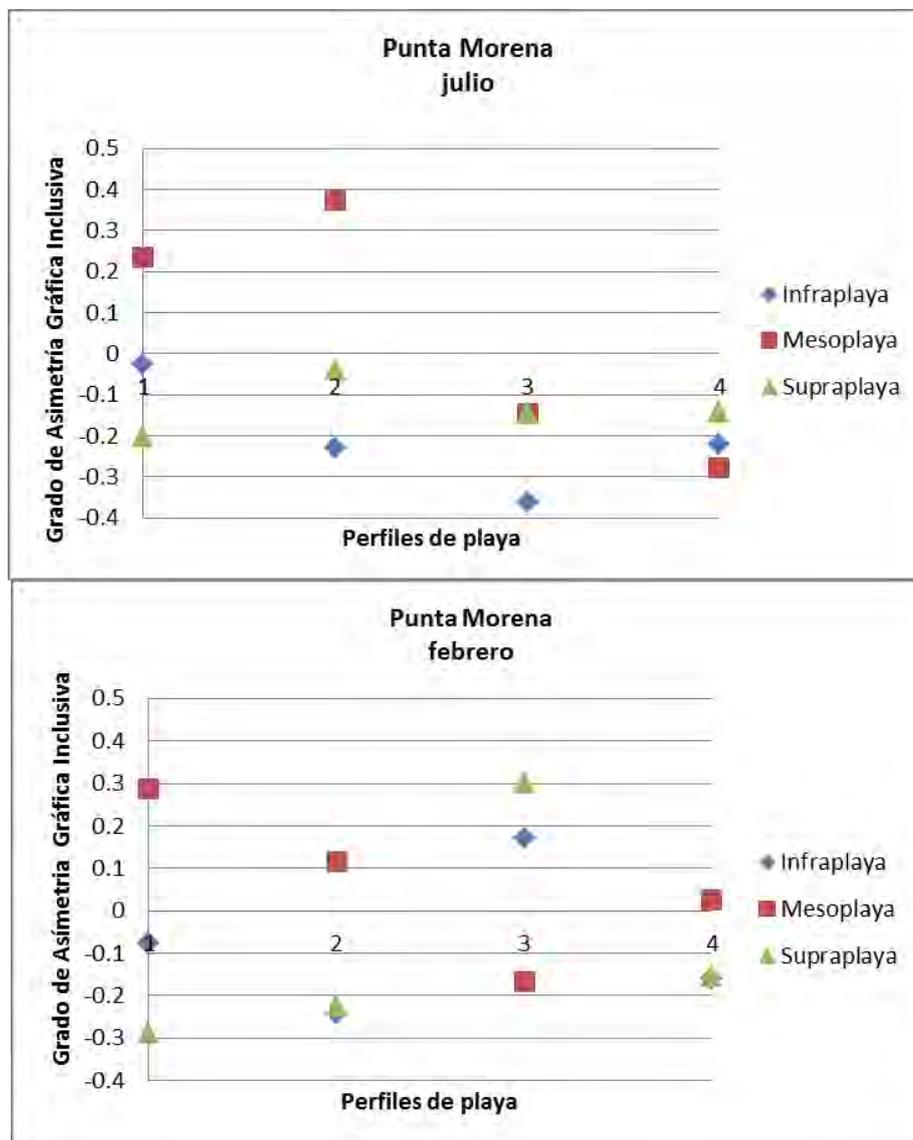
Los sedimentos colectados en esta playa mostraron un sesgo amplio en los sedimentos, presentando desde tamaños finos hasta gruesos. Tanto las muestras colectadas en el mes de julio y febrero registraron valores que van desde -0.50 a +0.50 lo cual indica que existe la tendencia a presentar variabilidad desde granos muy asimétricos hacia finos hasta muy asimétricos hacia gruesos sin tendencia particular entre zonas de playa. Por lo tanto esta playa presenta una amplia variedad granulométrica (Figura 20).



**Figura 20.** Grado de asimetría gráfica inclusiva en Punta Chiqueros registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Punta Morena

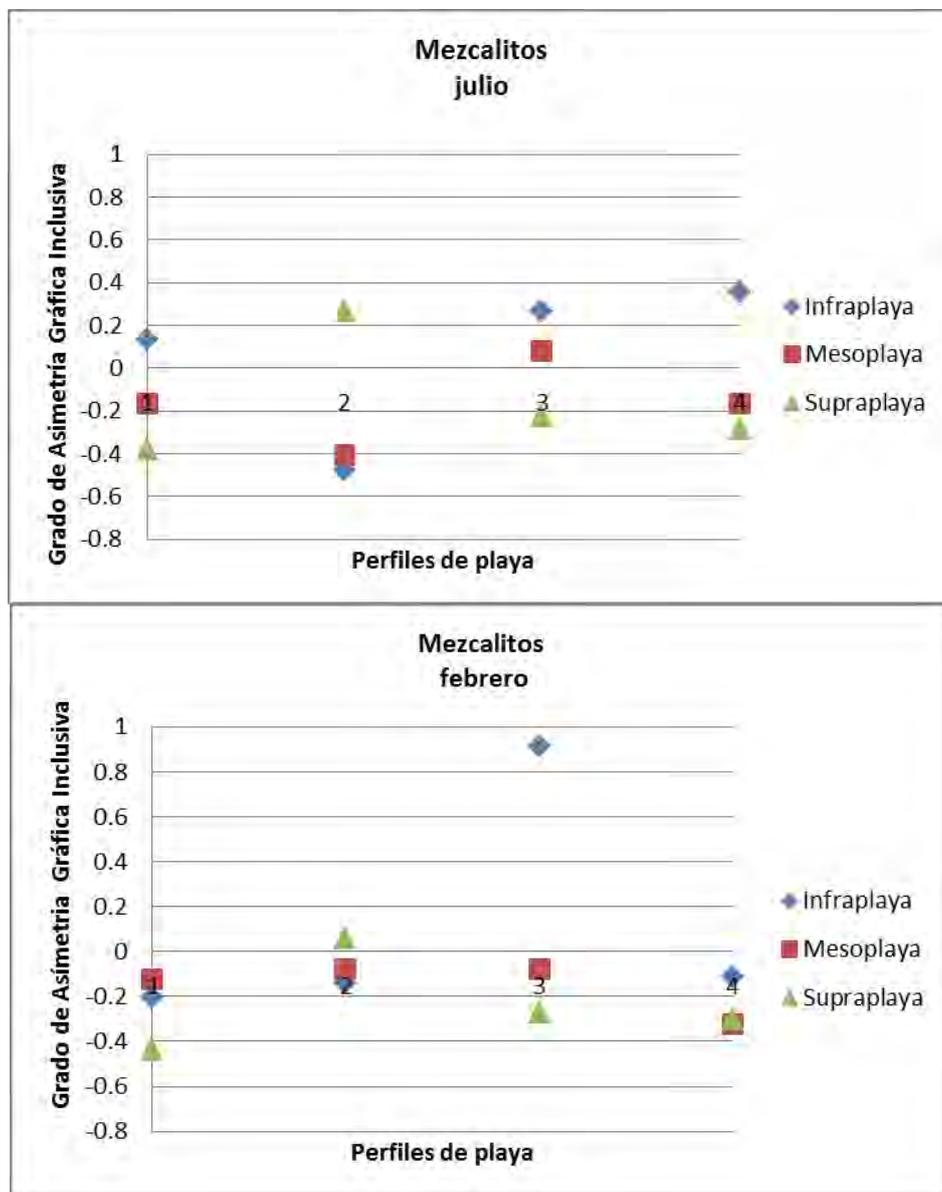
Se registraron sesgos en la simetría de los granos para el mes de julio reportando valores desde simétricos hasta muy asimétricos hacia gruesos en la zona de infraplaya y supraplaya con valores de +0.10 hasta -0.30. Mientras que en la zona de mesoplaya los valores van desde muy asimétricos hacia finos hasta asimétricos hacia gruesos con valores desde +0.30 hasta -0.30. Lo cual indico que la mayor variabilidad se encuentre en la mesoplaya. Mientras que durante la temporada de nortes en el mes de febrero la infraplaya registró valores que van desde simétricos hasta asimétricos hacia finos con valores de -0.10 hasta +0.30. En la mesoplaya y supraplaya se reportaron valores que van desde -0.30 hasta +0.30 lo cual indico que en esta playa se presento desde asimetría hacia finos hasta asimetría hacia gruesos (Figura 21).



**Figura 21.** Grado de asimetría gráfica inclusiva en Punta Morena registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Mezcalitos

El sesgo en asimetría que presento Mezcalitos para el mes de julio se registro desde material muy asimétrico hacia finos hasta muy asimétrico hacia gruesos en la infraplaya con valores de -1.0 a +1.0. Mientras que la mesoplaya y supraplaya registraron valores que van desde simétricos hasta muy asimétricos hacia gruesos con valores de -1.0 a +0.10. Para el mes de febrero la infraplaya se registró dentro del intervalo de material asimétrico hacia gruesos con un valor extremo de 0.9 en el perfil 3, en el cual se registro material muy asimétrico hacia finos con valores de +0.30 a +1.0. La mesoplaya presento material asimétrico hacia gruesos con valores de -0.10 a -0.30 y la supraplaya desde material simétrico hasta muy asimétrico hacia gruesos con valores de +0.10 a -1.0 (Figura 22).

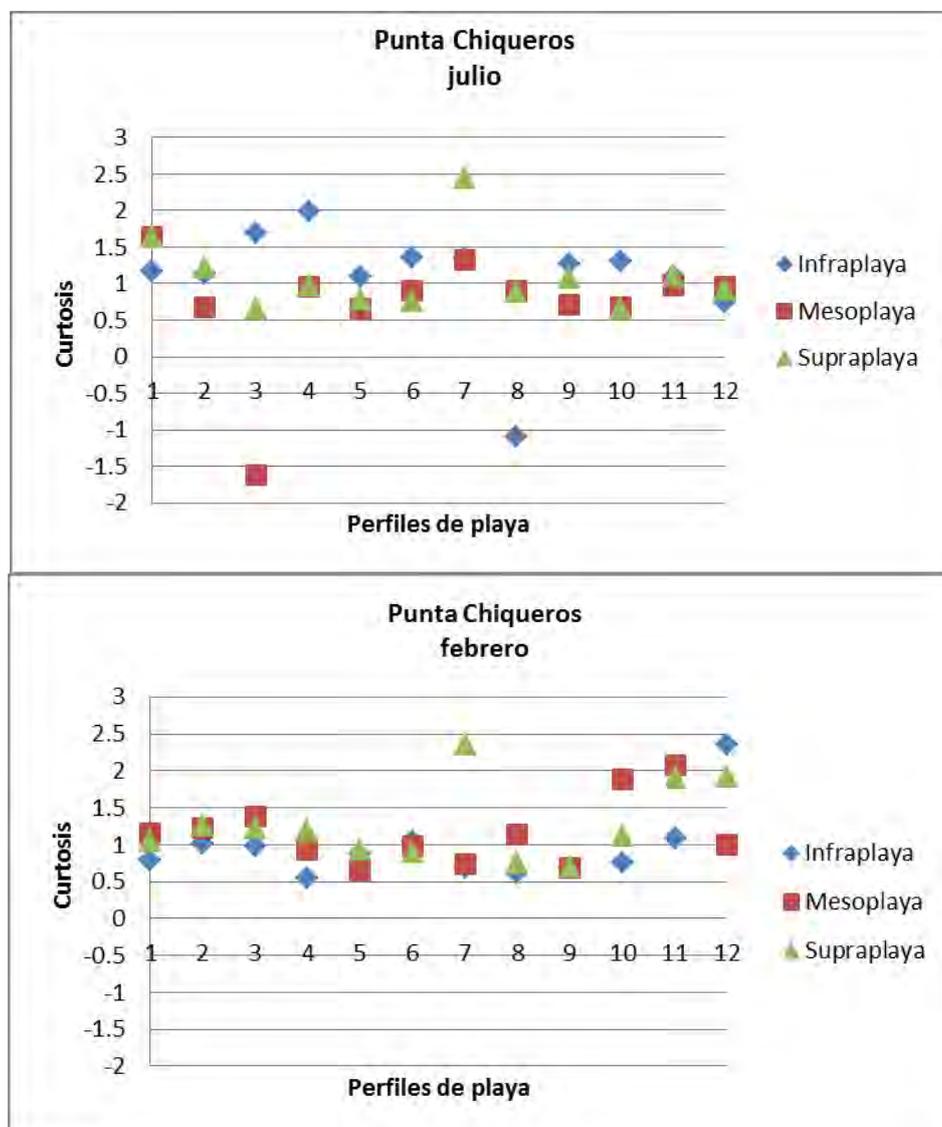


**Figura 22.** Grado de asimetría gráfica inclusiva en Mezcalitos registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Curtosis

### Punta Chiqueros

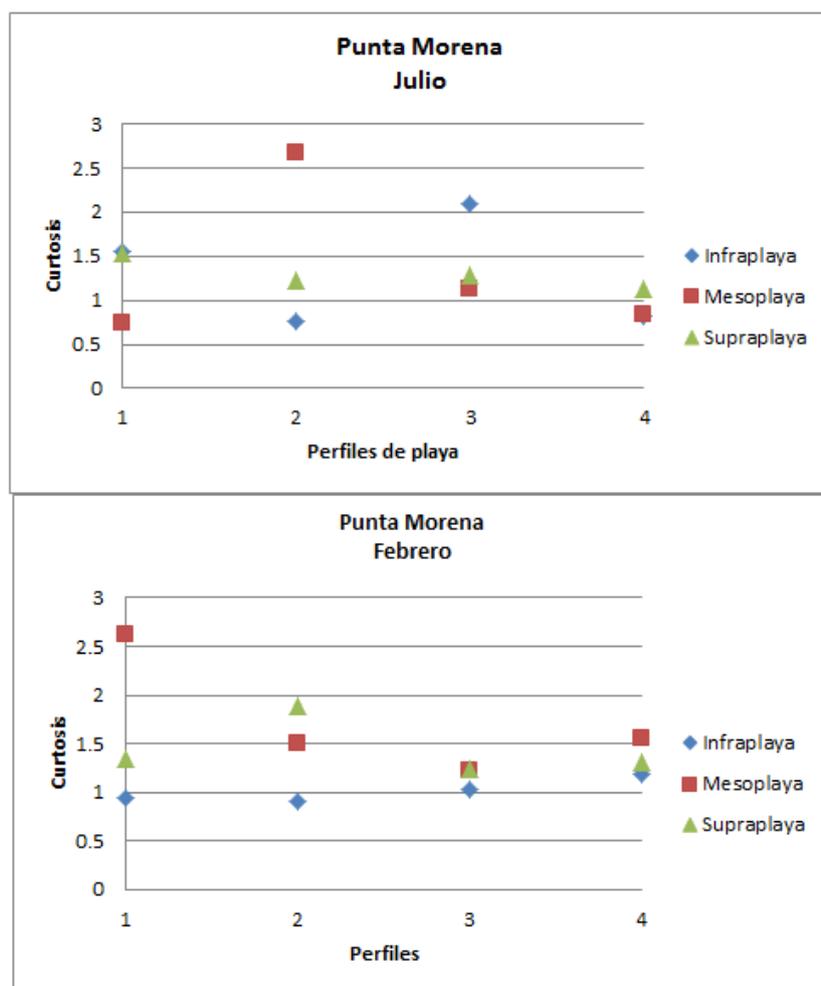
La curtosis predominante en el mes de julio en la infraplaya tiende a ser leptocúrtico (mayor a 1,1,) es decir predomina un tamaño de grano, haciendo la muestra más homogénea. Mientras que en febrero en la infraplaya la curtosis tendió a valores platicúrticos menores a 0.9 principalmente. Esto significa que predominaron varios tamaños de grano, volviendo a la muestra heterogénea. Para el mes de julio tanto la mesoplaya como la supraplaya registraron una tendencia platicúrtica con valores por debajo de 0.9. Mientras que a final de temporada durante el mes de febrero la mesoplaya y supraplaya reportaron valores mayores a 1.1, lo cual indico una tendencia leptocúrtica (Figura 23).



**Figura 23.** Curtosis en Punta Chiqueros registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Punta Morena

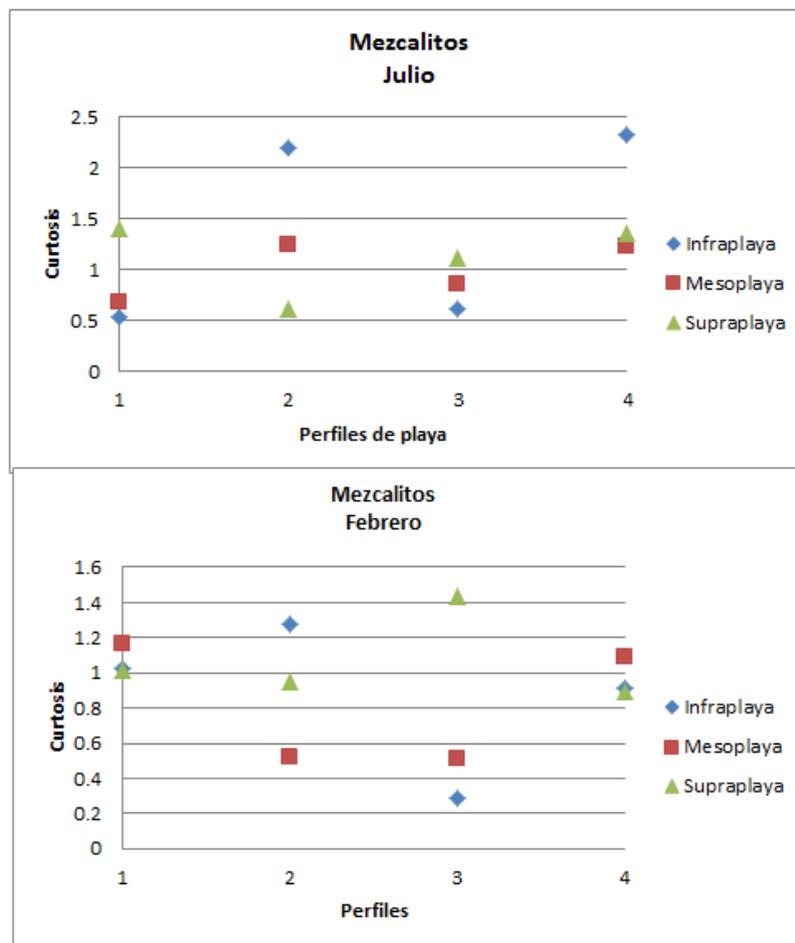
La curtosis en julio mostro tendencia homogénea en la infraplaya con valores leptocúrticos mayores a 1.1. Sin embargo, en los perfiles 2 y 4 se registró una tendencia platicúrtica con valores por debajo de los 0.9. Es decir en estos perfiles el material se mostró heterogéneo. El análisis de la infraplaya durante el mes de febrero registró una tendencia mesocúrtica con valores entre los 0.9 y 1.1, es decir el material se encontró sin tendencia marcada hacia ningún tamaño de grano. Por otro lado la mesoplaya se registró homogénea para el mes de julio al presentar tendencia hacia materiales leptocúrticos con valores mayores a 1.1. Sin embargo en los perfiles 1 y 4 se registró heterogeneidad debido a la tendencia platicúrtica con valores por debajo de los 0.9. Durante el mes de febrero se conservo la tendencia leptocúrtica con valores por arriba de 1.1. Es decir el material se mostró homogéneo. Finalmente el análisis de la supraplaya indicó que esta zona de playa se mantuvo estable durante toda la temporada de anidación ya que no hubo cambios de julio a febrero, conservando valores por encima de 1.1 mostrando una tendencia leptocúrtica (Figura 24).



**Figura 24.** Curtosis en Punta Morena registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Mezcalitos

La curtosis registrada durante el mes de julio en la infraplaya mostró una tendencia leptocúrtica con valores mayores a 1.1, es decir el material se reportó homogéneo. Sin embargo en los perfiles 1 y 3 el material se reportó platicúrtico con valores por debajo de 0.9. Es decir el material en estos puntos es muy heterogéneo. Para el mes de febrero el patrón se conservó, la playa registro una tendencia leptocúrtica en los perfiles 1 y 2 y platicúrtica en los perfiles 3 y 4. Por otro lado el análisis de la mesoplaya reportó el mismo patrón registrado en la infraplaya durante el mes de julio con una tendencia leptocúrtica con valores mayores a 1.1. Sin embargo en los perfiles 1 y 3 se registraron como platicúrticos. En el mes de febrero se reportó una tendencia leptocúrtica en los perfiles 1 y 4 y platicúrtica en el perfil 2 y 3. Finalmente el análisis de la supraplaya reportó al material como leptocúrtico para el mes de julio. Es decir, el material presento tendencia marcada hacia un tamaño de grano. Mientras que para el mes de febrero el material se reportó como mesocúrtico con valores entre 0.9 y 1.1, sin tendencia hacia ningún tamaño de grano (Figura 25).



**Figura 25.** Curtosis en Mezcalitos registrado en presencia y ausencia de anidación.

## Climatología histórica del área de estudio.

### Temperatura ambiental

Los registros de temperatura media ambiental mensual promedio desde 1971 a la fecha, mostraron una mínima de 21 °C y una máxima de 30 °C. Los resultados indicaron un patrón anual con un incremento de temperatura en primavera alcanzando un máximo en verano (junio, julio y agosto), y un descenso de temperatura en otoño, el cual alcanza su máximo en invierno (diciembre, enero y febrero). Bajo una perspectiva histórica el 2011 se reportó como un año promedio al no rebasar los valores promedio máximos y mínimos de temperatura ambiental registrados para la isla con una mínima de 23°C y una máxima de 29°C (Figura 26).

El análisis de las medias anuales de temperatura, mostro al año 1974 como el año más cálido con una temperatura promedio de 27.6°C. A partir de este año la temperatura tuvo un descenso continuo año tras año hasta llegar a la temperatura promedio anual para la isla en el año de 1987 con 25.1°C. A partir de este año la temperatura volvió a elevarse constantemente hasta alcanzar un nuevo pico de temperatura para el año 1994 con un promedio anual de 27.3°C. Después de esta fecha la temperatura se ha mantenido estable con oscilaciones entre los 26.9°C y los 25.8°C. El año 2011 registró un promedio anual de temperatura de 26.6°C, permaneciendo dentro del intervalo registrado los últimos 17 años (Figura 28).

El análisis climatológico del año 2011 mostro que las temperaturas más bajas se presentaron en invierno, la media mínima mensual registrada fue de 23°C durante el mes de enero. Las temperaturas altas se registraron durante verano a mediados de la temporada de anidación, la temperatura media máxima registrada fue de 29°C durante el mes de agosto. Mientras que las temperaturas mínimas se registraron a final de la temporada de anidación en invierno durante el mes de noviembre con 26°C (Figura 29).

### Precipitación.

Los datos históricos de precipitación media mensual mostraron anormalidad en el año 2011. Ya que la media registrada se ubica dentro de los datos más altos registrados en los últimos 40 años. Los picos de precipitación que se han presentado en la isla han ocurrido cronológicamente de la siguiente manera: En el año 1995 producto del paso del huracán “Roxanne” por el estado de Quintana Roo se registraron 613 mm de precipitación durante el mes de octubre. En junio del 2004 el paso del huracán “Ivan”, provoco lluvias intensas que rebasaron la máxima mensual histórica, acumulando 667.4 mm de precipitación. En octubre del 2005 el paso del huracán “Wilma” por la isla registró 669 mm de precipitación, y finalmente en el 2011 el paso de la depresión tropical “Rina” por Cozumel registró 591mm de precipitación en el mes de octubre (Figura 27).

El análisis individual de las sumas anuales de precipitación promedio, indico dos registros máximos antes del 2011. El primero fue 1981, en este año el aumento en las lluvias no se debe a la presencia de un huracán, si no a un aumento en la precipitación durante los meses de febrero, marzo y septiembre. Mientras que para el año 2005 el aumento de precipitación se debió al paso del huracán “Wilma” por la isla. Como se puede observar en la Figura 28 el año 2011 fue de los 4 años más lluviosos (1983, 1995, 2009 y 2011) registrados en los últimos 40 años al alcanzar en el mes de octubre 591 mm de precipitación, ligeramente por debajo del registró máximo mensual histórico (667.4 mm), el efecto de esta anomalía sobre las anidaciones será discutido más adelante.

El análisis climatológico del año 2011 mostro que los niveles más bajos de precipitación se presentaron en primavera, la suma mensual registrada fue de 3mm durante el mes de abril. Los niveles más altos se registraron durante el otoño a finales de la temporada de anidación, la suma mensual máxima registrada fue de 591mm durante el mes de octubre. Mientras que la suma mensual mínima registrada en presencia de la temporada de anidación también ocurrió en otoño durante el mes de septiembre con un total de 72mm (Figura 29).

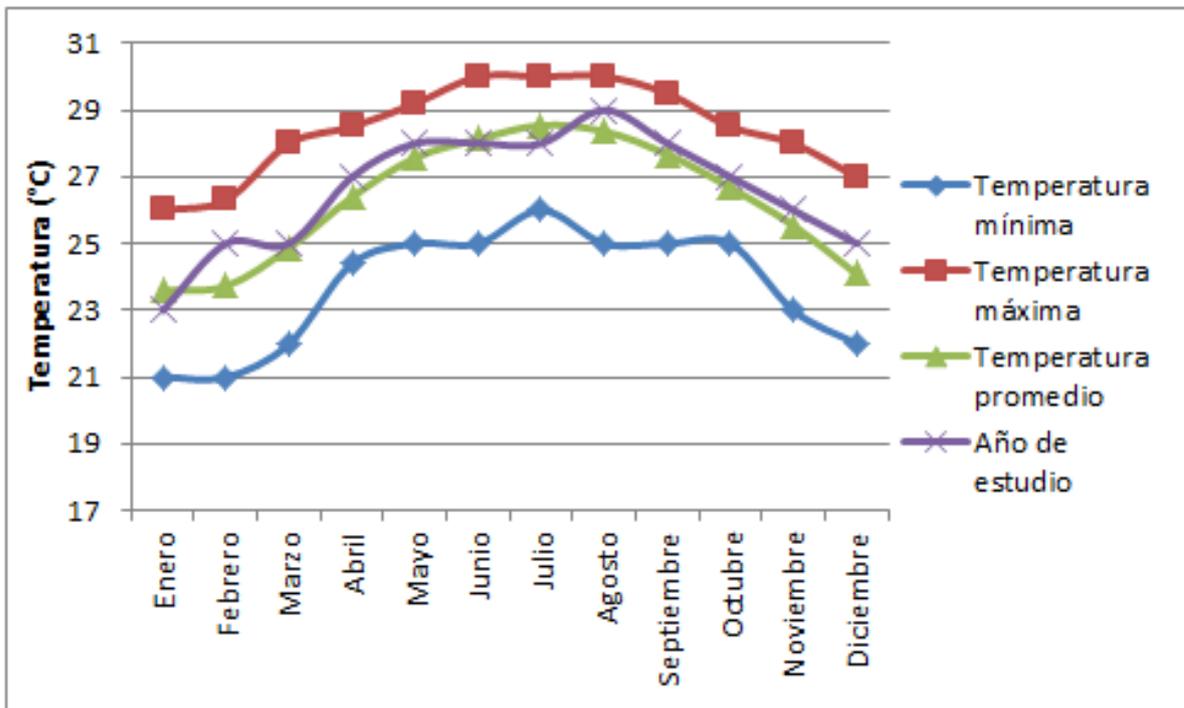


Figura 26. Media mensual de la temperatura ambiental en los últimos 40 años.

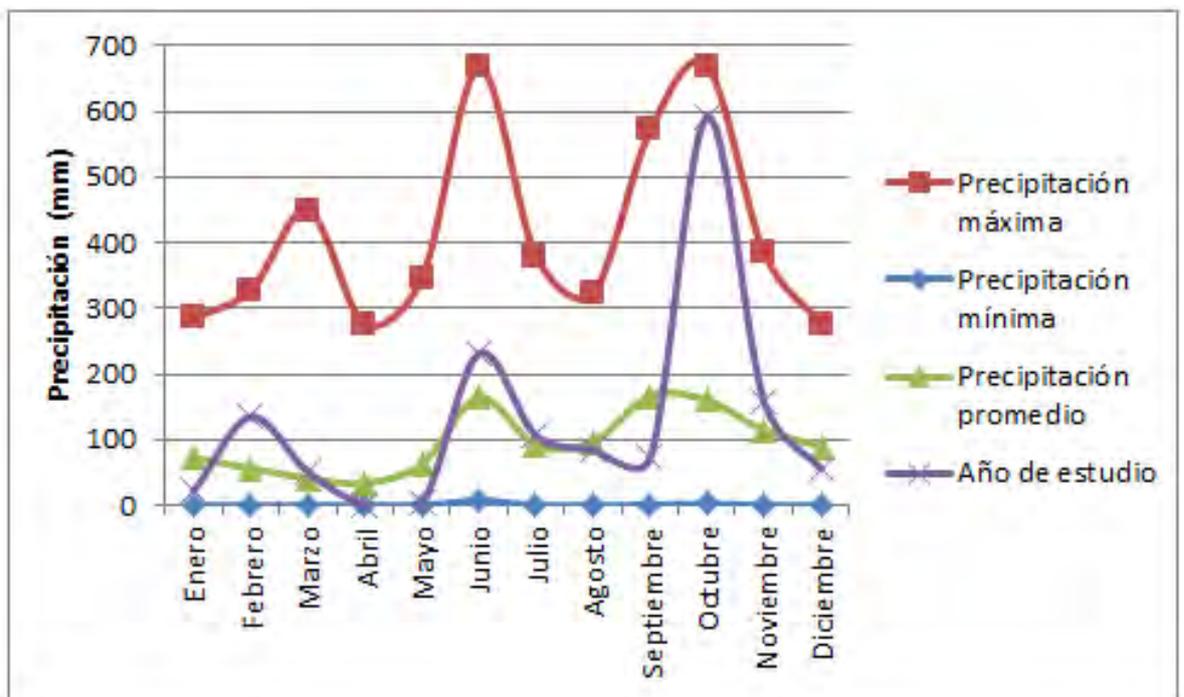
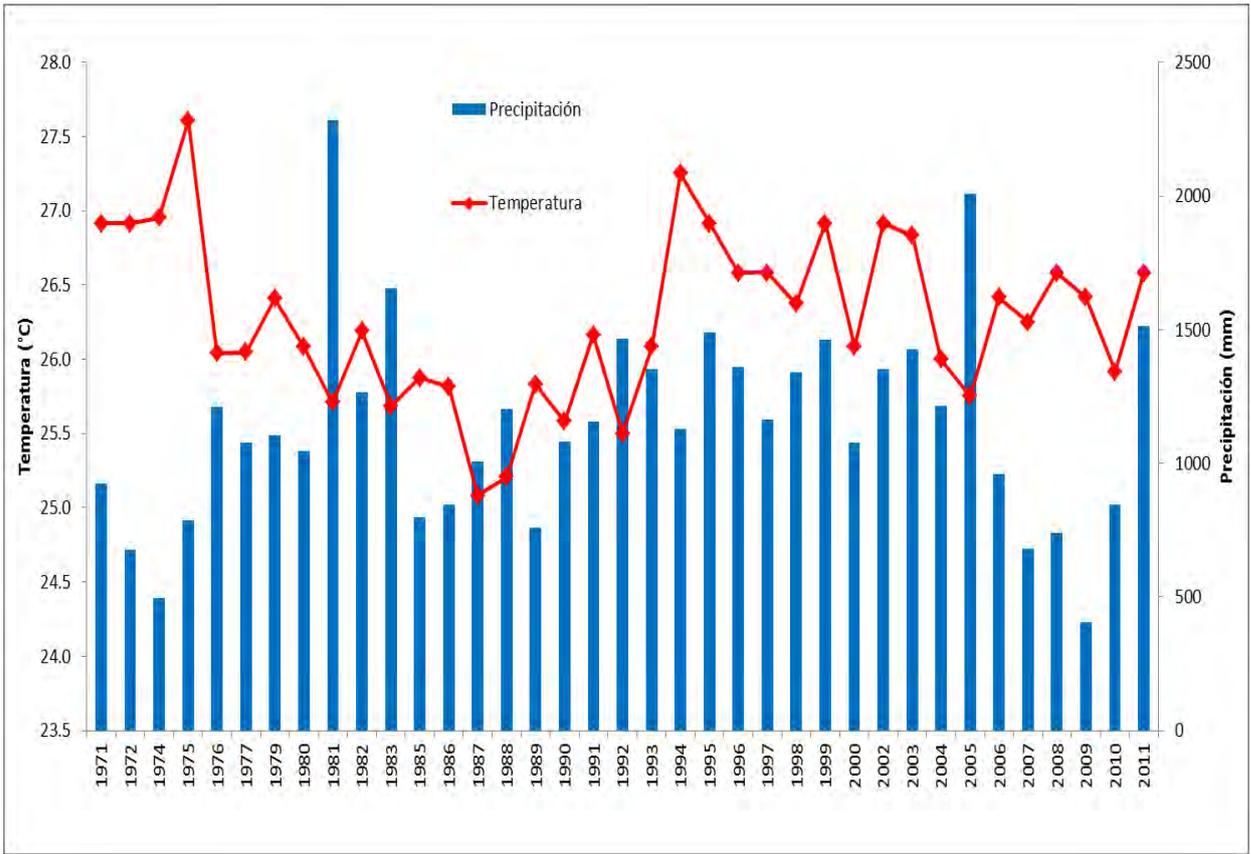
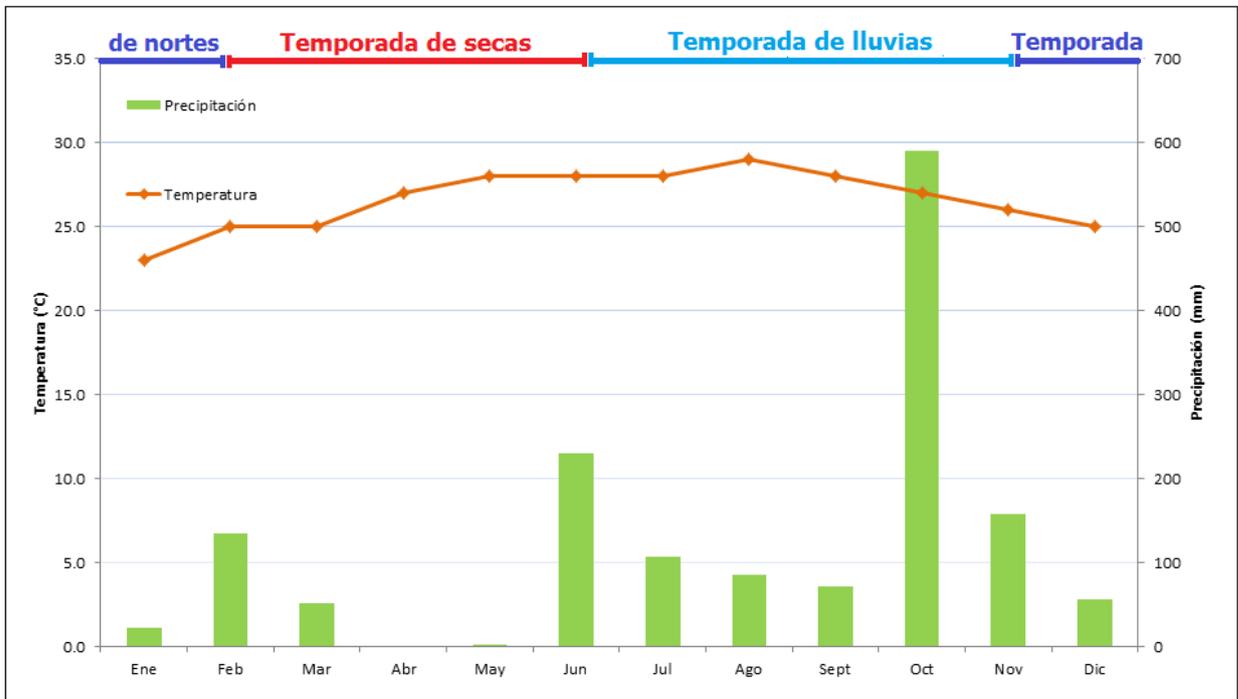


Figura 27. Precipitación media mensual en los últimos 40 años.



**Figura 28.** Temperatura ambiental y precipitación media anual en los últimos 40 años.



**Figura 29.** Temperatura ambiental y precipitación media mensual para el año 2011.

## **Discusión y conclusion**

### Topografía de las playas de anidación

Los resultados obtenidos permitieron clasificar a las playas de anidación como estables. Es decir aunque presentaron cambios en su amplitud, la reducción en la amplitud de la playa o acumulación de arenas en condiciones climáticas normales fueron producto de los efectos del oleaje, mareas y corriente litoral.

Es importante mencionar que algunos de los eventos erosivos registrados en las playas se registraron en presencia de condiciones anormales debido a la ocurrencia de la tormenta tropical Rina. La erosión registrada solo fue temporal. Una vez que el fenómeno termino, las playas recobraron su estabilidad. Por lo tanto, la intensificación de los fenómenos hidrometeorológicos durante la temporada de anidación tendrá el potencial de poner en riesgo a los nidos que se encuentren incubando durante el periodo que dure la anomalía. Ya que posteriormente se espera que las playas de la isla vuelvan a la normalidad y la temporada continúe sin sufrir pérdida de nidos por procesos erosivos. En este sentido, el conocimiento de la dinámica litoral y del impacto sobre las tortugas marinas son temas de gran interés a abordar para tener más elementos en el diseño de las estrategias de protección, manejo y conservación de los ecosistemas costeros y de las especies de tortugas marinas.

### Parametros granulométricos

#### Tamaño gráfico promedio

En Punta Chiqueros la playa con menor tamaño de grano (arenas medias) se registraron arenas gruesas en la zona de infraplaya. Esto se debió a que la infraplaya es dominada por la alta energía del oleaje y la corriente. Esto ocasiono que los materiales finos (arenas medias) fueran removidos quedando solamente materiales gruesos. Para el mes de febrero la presencia de arenas medias en el sur y de arenas gruesas en el norte dentro de las tres zonas de playa indico la intensificación de las corrientes y del viento de sur a norte. Esto trajo como consecuencia el depósito de material grueso al norte de la playa durante la temporada de nortes. Punta Morena se mostró como una playa estable en cuanto al tamaño de grano, ya que presento arenas gruesas para las tres diferentes zonas de playa durante todo el muestreo. Lo anterior indico que la energía del oleaje, la corriente y el viento en esta playa es alta y constante durante todo el año trayendo como resultado homogeneidad en el tamaño de grano durante toda la temporada dentro de las tres zonas de playa. Mientras que en Mezcalitos la playa con mayor tamaño de partícula, el cambio en el tamaño de grano de arena gruesa a arena muy gruesa en la zona de mesoplaya durante el mes de febrero indico el aumento en la energía del oleaje y la corriente en la temporada de nortes provocando el cambio textural en la zona intermedia de la playa.

### Desviación estándar grafica inclusiva

En Punta Chiqueros la zona de infraplaya mostró mayor desigualdad entre el tamaño de las partículas a lo largo del muestreo a diferencia de la mesoplaya y la supraplaya donde la uniformidad en el tamaño de grano fue mayor. Lo anterior puede explicarse debido a que la infraplaya presenta mayor energía de oleaje y corriente. Por lo tanto los materiales finos (arenas medias) se suspenden quedando solamente materiales gruesos. En Punta Morena se registró desigualdad el tamaño de las partículas en las tres diferentes zonas de playa a finales de la temporada de anidación durante el mes de febrero. Esto es explicado debido a la alta energía en el oleaje y los vientos durante la temporada de nortes. Mientras que en la época de lluvias la desigualdad entre el tamaño de las partículas se presento solamente en la infraplaya. Esto se debió a que la energía de la corriente fue alta y se mantuvo a lo largo del tiempo. En Mezcalitos la desigualdad entre el tamaño de las partículas se encuentre presente en todo el muestreo dentro de las tres diferentes zonas de anidación. Por lo tanto Mezcalitos además de ser la playa con mayor tamaño de grano es la playa que experimento los niveles más altos de energía del oleaje y de viento durante toda la temporada de anidación.

### Grado de asimetría gráfica promedio

Punta Chiqueros registro una amplia variedad granulométrica ya que presento desde partículas muy asimétricas hacia finas hasta muy asimétricas hacia gruesas sin tendencia particular entre zonas de playa. Por lo tanto, aunque esta playa fue caracterizada como la playa con menor tamaño de grano presentando arenas medias, se pudo registrar aunque en menor cantidad la presencia de arenas gruesas. En Punta Morena la simetría que se reporto en la zona de infraplaya a lo largo del muestreo a pesar de ser una zona influenciada por el oleaje puede explicarse debido a la energía de la corriente que se mantiene estable a lo largo de la temporada, evitando de este modo el depósito de materia muy gruesa o fina. Mientras que la asimetría registrada en la mesoplaya y supraplaya con tendencia desde asimetría hacia finos hasta asimetría hacia gruesos conservada a lo largo del muestreo indico que aunque es una playa característica de arenas gruesas la variabilidad de las partículas es muy amplia, del mismo modo que ocurrió en Punta Chiqueros. En Mezcalitos la zona con mayor variabilidad en asimetría de partículas fue ubicada en la infraplaya producto de la energía de la corriente y el oleaje la cual deposito una amplia gama de partículas desde partículas finas en menor cantidad hasta muy gruesas en mayor cantidad. La mesoplaya fue influenciada también por la energía del oleaje y a su vez del viento. Mientras que la supraplaya solo fue influenciada por la energía alta del viento. Esto provoco que estas dos últimas zonas presentaran partículas asimétricas con tendencia a gruesas durante todo el muestreo.

## Curtosis

La tendencia platicúrtica es decir la heterogeneidad del sedimento en la infraplaya de Punta Chiqueros a final de temporada durante el mes de febrero fue producto de la energía variable del oleaje así como de las diferentes intensidades del oleaje durante la temporada de nortes. Mientras que la mesoplaya y la supraplaya se registraron como leptocúrticas es decir homogéneas al presentar menor variabilidad en el tamaño de las partículas de las muestras producto de la baja energía del viento. Punta Morena presento valores leptocúrticos a lo largo de toda la temporada de anidación producto de que esta playa fue influenciada por bajos niveles de energía durante toda la temporada de anidación. Finalmente Mezcalitos fue la playa que no presentó ninguna tendencia entre zonas y épocas. Es decir la energía que impacto en esta playa fue muy variante ya que presento valores leptocúrticos y platicúrticos dentro de la misma zona de playa en diferentes épocas, por lo tanto esta fue la playa con más variación.

## Climatología del área de anidación.

El año 2011 mostro ser estable al no rebasar los promedios de temperatura mínimos y máximos registrados para la isla en los últimos 40 años. Sin embargo, la anormalidad en la cantidad de lluvia registrada en la isla ubico al año 2011 dentro de los más lluviosos al acercarse a la máxima mensual histórica registrada en el mes de octubre con el paso de la tormenta tropical Rina por Cozumel. Para evaluar el efecto de la precipitación sobre la temporada de anidación de *Chelonia mydas*, se debe considerar la cantidad registrada durante los meses en que se presenta la anidación. Por lo tanto debido a que la temporada de anidación para esta especie (mayo a septiembre) coincide con la temporada de huracanes en el Atlántico (junio a noviembre), el impacto negativo sobre las anidaciones se encuentra latente todos los años. Es de vital importancia comparar lo que ocurre en los nidos incubados durante anomalías ambientales (como el mes de octubre con 591mm de precipitación) contra lo que ocurre cuando se registran valores mínimos como en los meses de julio, agosto y septiembre con un total de 107 mm, 85 mm y 72mm de precipitación respectivamente en los diferentes escenarios granulométricos que presenta la isla para poder evaluar la tolerancia y respuesta de los embriones ante fluctuaciones ambientales.

## CAPÍTULO 2.

### Patrones de anidación y diversidad de la selección del sitio de anidación.

#### Introducción

Las tortugas marinas pasan gran parte de su vida adulta en el mar, emergiendo ocasionalmente a las playas para ovipositar. La selección del sitio de anidación es un proceso que genera un costo adaptativo en términos de energía y depredación al realizar la búsqueda de un sitio disponible para una incubación y eclosión exitosa. Se conoce muy poco sobre los factores físicos del ambiente litoral que promueven el inicio del proceso de excavación de los nidos. Por lo tanto es de suma importancia caracterizar las tendencias microambientales de las hembras al momento de ovipositar. En este aspecto varios estudios han demostrado que la temperatura en la arena está influenciada por las siguientes variables:

Distancia del nido a la línea de marea: Rees y Margaritoulis (2004) reportaron que la temperatura en la arena aumenta conforme el nido se aleje del mar.

Color de la arena: Hays *et al.* (2001): encontraron que la temperatura en la arena y la tasa a la cual se transfiere el calor es generalmente más alta en playas más oscuras, pues este tipo de arena registra un menor albedo que la arena más clara.

El tamaño de grano de la arena: Schaetzel y Anderson (2005) reportaron que las variaciones en el tamaño del sustrato tienen el potencial de influir la temperatura a la profundidad del nido. Esto se debe a que la conductividad térmica aumenta con el tamaño de partícula.

La profundidad del nido: Glen y Mrosovsky (2004) Reportaron que esta cambia entre especies y lugares. La variación espacial aun tratándose de una misma especie se debe a que la compactibilidad en la arena disminuye conforme aumenta el tamaño de grano. Es decir, arenas gruesas al ser más porosas permiten la aireación y pierden fácilmente la humedad dificultando la compactación de la misma. Es por esto que al momento de que la hembra anida el nido puede derrumbarse con facilidad. Por lo tanto, nidos ovipositados en arenas gruesas tendrán menor profundidad que los registrados en arenas medias o finas donde el proceso de excavación es más fácil para las hembras.

Además de los factores ambientales antes mencionados las temperaturas de los nidos es influenciada por el calor metabólico generado por los embriones durante la incubación (Hays *et al.* 2001; Broderick *et al.* 2000).

Esto ha llevado a sugerir que la selección del sitio de anidación puede ser un proceso complicado y ha provocado especulación sobre las posibles variables microclimáticas que inician los procesos de excavación (Dodd 1988). Alternativamente se ha sugerido que la

selección del sitio es un proceso aleatorio que genera que los nidos se encuentren separados ampliamente. Esta conducta de anidación puede explicarse bajo el modelo del mejor apostador o también conocido como *bet-hedging* en inglés (Roof 2002). Esta teoría nos dice que la variabilidad ambiental ejerce una importante presión selectiva. En ambientes muy variables parecen ser favorecidos organismos que “invierten” poco en la reproducción porque “apostar toda la energía para la reproducción en un solo evento es muy riesgoso”. Es decir, si la progenie crece en un momento desfavorable se puede perder todo el esfuerzo reproductivo. Por lo tanto en organismos con múltiples eventos reproductivos que experimentan una fuerte presión selectiva debido a la variabilidad ambiental como es el caso de las tortugas marinas, ampliar la distribución de los sitios seleccionados para la anidación es favorable. Esta estrategia puede evitar perder toda la energía invertida en la reproducción a lo largo de la temporada cuando no se sabe qué va a ocurrir en un entorno tan cambiante como el ambiente costero-litoral, por lo tanto lo mejor es “apostar” por múltiples eventos de anidación y ampliar la distribución de los nidos en las playas, de este modo se asegura la sobrevivencia de una parte de la progenie ante cualquier cambio abrupto en el ambiente.

### **Objetivo**

- Describir los patrones de anidación y la diversidad de sitio de anidación.

### **Metodología**

#### Patrones de anidación

De julio a octubre de 2011 se recorrieron a pie las 10 playas de anidación todas las noches desde las 21:00 horas hasta las 6:00 horas con la finalidad de detectar el mayor número nidos y de hembras anidando a lo largo de la temporada de anidación. Para cada nido observado se registró la fecha, hora, playa, zona de ubicación (Carranza-Edwards y Caso-Chávez 1994) y coordenadas UTM mediante GPS (Global Positioning System).

#### Diversificación del sitio de anidación

Para registrar la diversificación de la selección del sitio de anidación se midieron las principales variables micro-climáticas que experimentaron las hembras que anidaron en julio (inicio de temporada) y septiembre (final de temporada). Todas las mediciones y tomas de muestras se realizaron al momento de la oviposición. Las variables registradas para cada una de las tres diferentes playas seleccionadas (Mezcalitos, Punta Morena y Punta Chiqueros) fueron las siguientes:

- 1) Temperatura del sustrato: Se realizaron dos mediciones de temperatura, la primera en la superficie del sitio seleccionado por la hembra y la segunda a la profundidad de la

cámara de incubación. Estas lecturas se realizaron mediante un termómetro digital Fluke con precisión  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  al momento de la oviposición.

- 2) Humedad: Para obtener este registro se colectaron dos muestras de arena de 200 gramos al momento de la oviposición. La primera en la superficie del sitio seleccionado por la hembra y la segunda a la profundidad de la cámara de incubación. La arena fue colocada dentro de bolsas herméticas con la finalidad de evitar la pérdida de agua y se transportaron a las instalaciones del Departamento de Ecología de Cozumel donde se realizó el análisis de las muestras.

El método utilizado para obtener el porcentaje de humedad es conocido como “peso en seco” (Marquez Garcia 2002), este método se realizó de la siguiente manera:

- 1.- Se pesaron 100 gramos de cada una de las muestras colectadas en una báscula digital para joyería marca GemOro, modelo platinum V300, con capacidad de 300 gramos y precisión de  $\pm 0,1$  gramos.
- 2.- La muestra fue calentada en la estufa alrededor de 5 minutos hasta que el cambio de color se volvió evidente producto de la pérdida de agua por evaporación.
- 3.- La muestra se dejó enfriar para finalmente volver a ser pesada.

El porcentaje de humedad es obtenido mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ humedad} = \text{peso húmedo} - \text{peso seco}$$

El valor obtenido de esta diferencia nos indicó el porcentaje de peso en agua perdido después de procesar la muestra.

- 3) Ubicación del nido en el perfil de playa: Esta clasificación se realizó mediante la ubicación de los nidos dentro de una de las tres zonas de playa: Infraplaya o Zona 1, Mesoplaya o Zona 2 y Supraplaya o Zona 3 (Carranza-Edwards y Caso-Chávez 1994).
- 4) Distancia del nido al nivel medio de marea: Esta variable se registró después de que la hembra término de ovipositar. Mediante el uso de una cinta métrica se midió la distancia existente entre el nido y el nivel medio de marea.
- 5) Profundidad del nido: Esta variable se registró mediante el uso de un flexómetro. La profundidad se consideró desde el nivel donde se ubicó el ultimo huevo ovipositado hasta la superficie del nido.
- 6) Tipo de grano: Para obtener este registro se colectaron dos muestras de arena al momento de la oviposición. La primera en la superficie del sitio seleccionado por la hembra y la segunda a la profundidad de la cámara de incubación. Las muestras de

sedimento fueron conservadas en bolsas herméticas para su transportación. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de sedimentología de la academia nacional de investigación y desarrollo (ANIDE) ubicado en Cuernavaca Morelos, en donde finalmente se les realizó el análisis granulométrico mediante la técnica de tamizado anteriormente mencionada (capítulo 1).

## Resultados.

### Patrones de anidación.

La temporada de anidación para *Chelonia mydas* ocurrió después de la tercera semana de mayo y terminó en la tercera semana del mes de septiembre. Presentando un mayor número de anidaciones durante julio con un total de 1337 nidos (Figura 30).



**Figura 30.** Tendencia de arribo y número de nidos de *Chelonia mydas* en las playas de Cozumel durante la temporada 2011.

### Diversificación de la selección del sitio de anidación

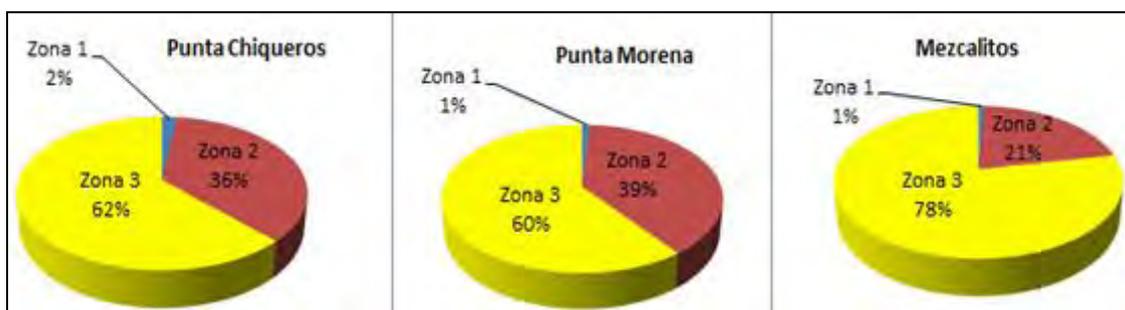
Las variables microambientales registradas durante los eventos de anidación en las tres playas son reportadas en la Tabla 7. Se registraron los valores correspondientes de hembras que anidaron en Julio y Septiembre, meses en los cuales se realizó la colocación de los sensores de temperatura en los nidos. Tales valores nos hablan de las tendencias de las hembras durante el proceso de selección del sitio de anidación.

**Tabla 7.** Variables micro-ambientales evaluadas para describir la diversificación de la selección del sitio de anidación en PCH (Punta Chiqueros), PM (Punta Morena) y MZ (Mezcalitos)

Playa / Época	Número de nidos (n)	Temp. Interior (EE)	Temp. Exterior (EE)	Distancia al mar (EE)	Profundidad (EE)	Tamaño de grano	% Humedad Interior (EE)	% Humedad Exterior (EE)	Zona
julio PCH	10	28.53 ±0.21	25.88 ±0.19	23.93 ±2.29	86.6 ±3.80	Media	6.4 ±0.62	4.36 ±0.60	2.7 ± 0.15
septiembre PCH	4	29.13 ±0.33	26.03 ±0.35	22.45 ±1.06	68.75 ±0.86	Media	7.68 ±0.15	4.98 ±0.92	2.5 ± 0.25
septiembre PM	3	29.37 ±0.03	26.83 ±0.19	25.7 ±0.08	42 ±1.2	Gruesa	8.4 ±0.12	5.87 ±0.28	3 ±0
septiembre MZ	3	29.63 ±0.20	27 ±0.08	29.93 ±0.39	71 ±2.33	Gruesa a muy	7.73 ± 0.30	5.67 ± 0.72	2.67 ± 0.24

Distancia al mar y zona de playa.

La distancia al mar promedio seleccionada por las hembras al momento de la oviposición fue de 23.93 ± 2.29 m en julio a 22.45 ± 1.06 m en septiembre para Punta Chiqueros, mientras que para Mezcalitos se registra una distancia promedio de 25.7 ± 0.08 m y en Punta Morena de 29.93 ± 0.39 m durante el mismo periodo. Es importante señalar que las playas de anidación presentan una longitud menor a los 35m (Punta Chiqueros 28.3m, Mezcalitos 30.03m y Punta Morena 34.61m) debido a la barrera física formada por la carretera que recorre la zona Este de la isla. Por lo tanto la distancia de los nidos al mar se vio limitada siempre por esta barrera. En cuanto a la tendencia de anidación por zonas de playa durante la temporada de anidación se registró que *Chelonia mydas* prefirió anidar principalmente en zona de supraplaya o zona 3 y en zona de mesoplaya o zona 2, anidando ocasionalmente en infraplaya o también conocida como zona 1 o zona de riesgo de marea (Figura 31).



**Figura 31.** Distribución y porcentaje de nidos de *Chelonia mydas* por zonificación dentro de las tres playas de estudio.

### Tipo de arena.

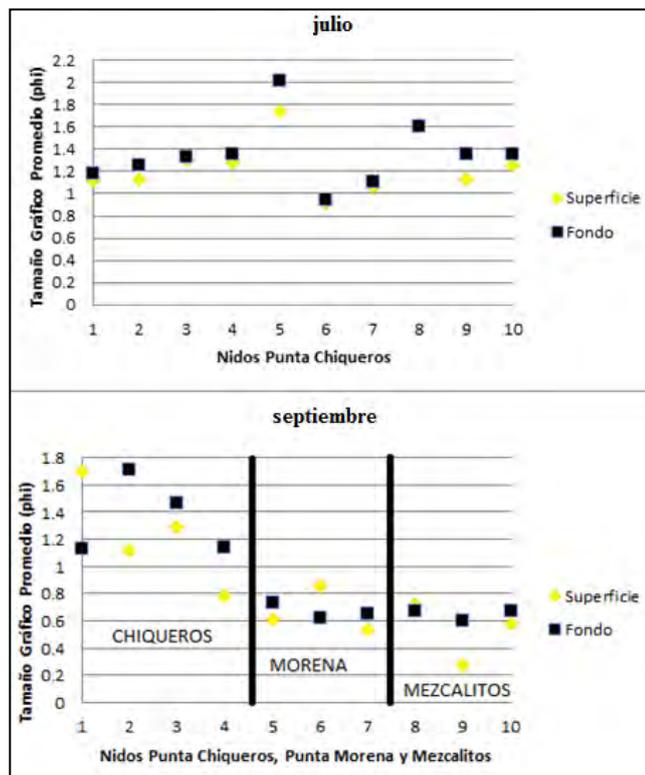
De acuerdo a los parámetros granulométricos (Folk 1969), la arena en los nidos se clasifico de la siguiente manera

#### Tamaño gráfico promedio.

**Punta Chiqueros julio:** los nidos registraron arenas medias en las muestras colectadas tanto en la superficie del nido como a la profundidad de la cámara de incubación. Sin embargo se registró variación en esta playa característica de arenas medias al encontrar en el nido 6 valores inferiores a 1 phi particulares de arena gruesa, así como en el nido 5 donde se registraron valores superiores a 2 phi correspondientes a arena fina en la muestra tomada al fondo de la cámara de incubación.

**Punta Chiqueros septiembre:** los nidos registraron arenas medias tanto en la superficie como en el fondo, a excepción del nido 4 donde la muestra superficial de arena registró valores menores a 1 phi, clasificándola como arena gruesa. Lo cual indico que el tamaño de grano dentro de una playa pueda mostrar variaciones.

**Punta Morena y Mezcalitos septiembre:** los nidos en estas playas registraron arenas gruesas tanto en la superficie como a la profundidad del nido con valores entre 0.5 y 0.8 phi. A diferencia de Punta Chiqueros donde los valores se encontraron por encima de 1 phi, clasificando como arenas medias en la mayoría de los casos (Figura 32).



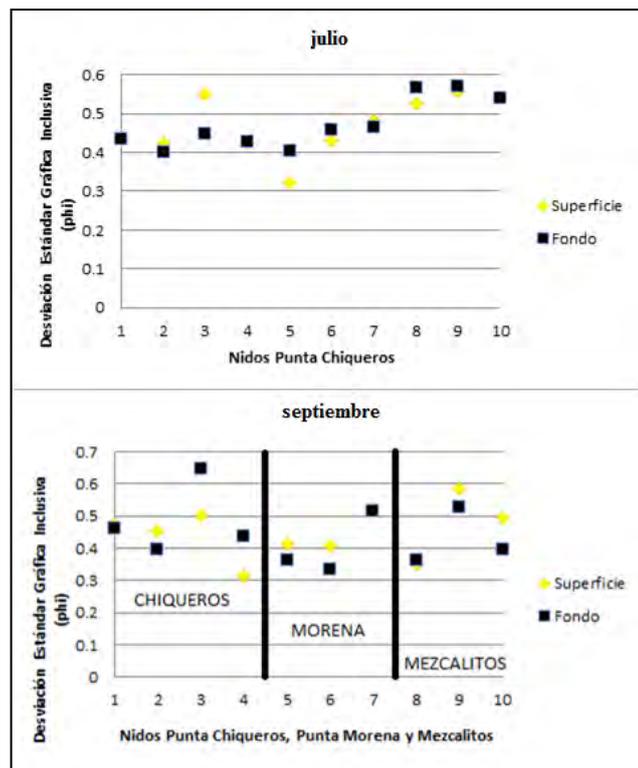
**Figura 32.** Tamaño gráfico promedio en los nidos de las diferentes playas a lo largo del muestreo.

### Desviación estándar gráfica inclusiva

**Punta Chiqueros julio y septiembre:** El sedimento colectado en la superficie de los nidos mostro al material como bien clasificado, mientras que a la profundidad del nido el material se registro de bien clasificado a moderadamente bien clasificado, los valores mencionados anteriormente se mantuvieron en esta misma playa para los nidos muestreados durante septiembre. Por lo tanto Playa Punta Chiqueros mostro cierta heterogeneidad en el tamaño de sus granos al nivel de las cámaras de incubación.

**Punta Morena septiembre:** Tanto el material colectado en la superficie como la profundidad de la cámara de incubación durante septiembre se registro como bien clasificado.

**Mezcalitos septiembre:** Los nidos muestreados en la playa con mayor tamaño de grano se registraron de bien clasificados a moderadamente bien clasificados, lo cual indico que en la superficie y a la profundidad de la cámara de incubación los granos muestran cierta heterogeneidad (Figura 33).



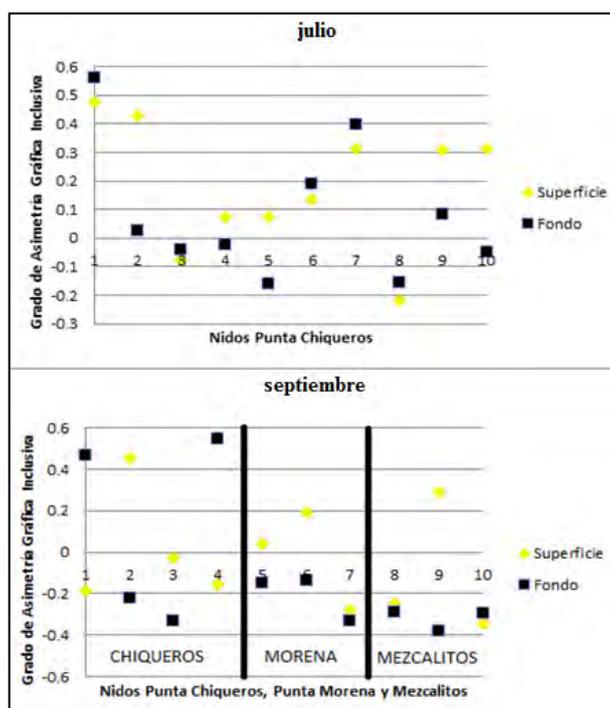
**Figura 33.** Desviación estándar gráfica inclusiva en los nidos de las diferentes playas a lo largo del muestreo.

### Grado de asimetría gráfica inclusiva.

**Punta Chiqueros julio:** Se registró gran variabilidad granulométrica. En el caso de las muestras superficiales estas presentaron simetría con valores de +0.10 a -0.10, así como también una marcada tendencia a ser muy asimétricos hacia finos con valores que van desde +0.30 hasta +1.00. Sin embargo como se puede observar, el nido 8 presento valores menores a -0.10, clasificando en el intervalo del material asimétrico hacia gruesos. Por otro lado el análisis de las muestras tomadas a la profundidad del nido indico a su vez un amplio sesgo con valores simétricos que van del +0.10 al -0.10 (nido 2, 3, 4, 9 y 10). También se registraron valores que indicaron asimetría hacia finos (nidos 1, 6 y 7) y algunas tendencias del material hacia la asimetría hacia gruesos (nido 5 y 8). Como se puede observar el sesgo es amplio pasando desde asimetrías hacia finos hasta asimetrías hacia gruesos.

**Punta Chiqueros septiembre:** Para septiembre las muestras colectadas al fondo de la cámara de incubación registraron valores que fueron desde asimetría hacia gruesos (nido 2 y 3) hasta asimetría hacia finos (nido 1 y 4). Mientras que el análisis de las muestras superficiales indico tendencia a mostrar asimetría hacia gruesos.

**Punta Morena y Mezcalitos septiembre:** Las muestras colectadas al fondo de la cámara de incubación registraron que el material fue asimétrico hacia gruesos con valores inferiores a -0.10. Mientras que las muestras superficiales presentaron una amplia variabilidad, desde la asimetría hacia finos hasta la asimetría hacia gruesos en ambas playas (Figura 34).



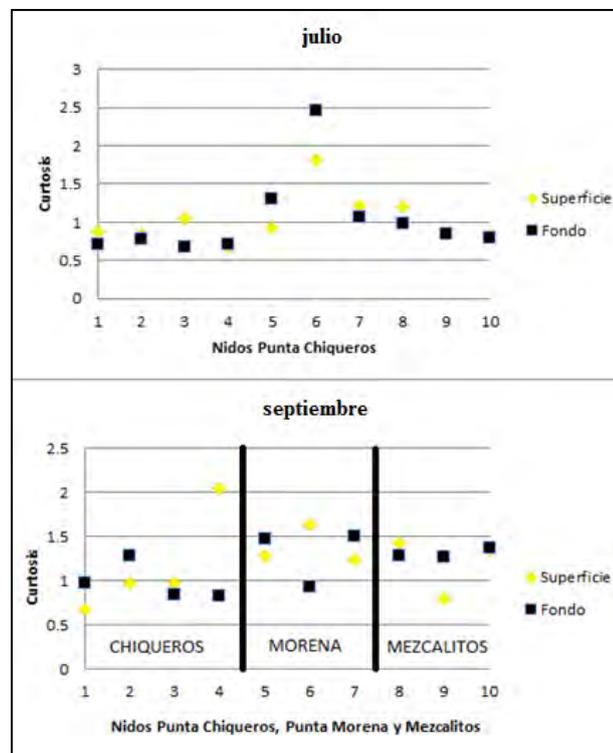
**Figura 34.** Grado de asimetría gráfica inclusiva en los nidos de las diferentes playas a lo largo del muestreo.

## Curtosis

**Punta Chiqueros julio:** La curtosis registrada en los nidos muestreados indico una tendencia platicúrtica tanto en la superficie como a la profundidad de la cámara de incubación, con valores menores de 0.9, es decir el material fue heterogéneo. Aunque también se llegó a encontrar material que clasifíco como leptocúrtico con valores por arriba de 1.1, es decir el material fue homogéneo presentando tendencia por un tamaño de grano en particular (nido 5, 6, 7 y 8).

**Punta Chiqueros septiembre:** Los nidos muestreados registraron una tendencia platicúrtica, con valores menores de 0.9. Es decir el material fue heterogéneo, tanto en las muestras colectadas en la superficie como en el material colectado a la profundidad de la cámara de incubación. A excepción del nido 2 donde el valor por encima de 1.1 en la muestra colectada a la profundidad de la cámara de incubación mostro al material como leptocúrtico. Es decir homogéneo con tendencia hacia un tamaño de grano en particular.

**Punta Morena y Mezcalitos septiembre:** Los nidos muestreados en estas playas características de arenas gruesas a diferencia de los muestreados en arenas medias (Punta Chiqueros) registraron una tendencia definida hacia materiales leptocúrticos con valores por arriba de 1.1, tanto en las muestras colectadas en la superficie como en el material colectado a la profundidad de la cámara de incubación. Lo cual indico que el material se encontró homogéneo con tendencia hacia un tamaño de grano (Figura 35).



**Figura 35.** Curtosis en los nidos de las diferentes playas a lo largo del muestreo.

Las características granulométricas encontradas tanto en la superficie como a la profundidad de la cámara de incubación en los nidos ubicados en las tres diferentes playas de anidación se resumen en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Síntesis del análisis granulométrico en los nidos de *Chelonia mydas*.

	Punta Chiqueros	Tipo de sedimento	Punta Morena	Tipo de sedimento	Mezcalitos	Tipo de sedimento
<b>Tamaño Gráfico Promedio</b>						
Superficie	1.0 phi a 2.0 phi	arena media	0.5 phi a 0.8 phi	arena gruesa	0.5 phi a 0.8 phi	arena gruesa
Fondo	1.0 phi a 1.8 phi	arena media	0.5 phi a 0.8 phi	arena gruesa	0.3 phi a 0.8 phi	arena gruesa
<b>Desviación Estándar Gráfica Inclusiva</b>						
Superficie	0.4 phi a 0.5 phi	Bien clasificado	0.3 phi a 0.4 phi	Bien clasificado	0.3 phi a 0.5 phi	Bien clasificado a moderadamente bien clasificado
Fondo	0.4 phi a 0.6 phi	Bien clasificado a moderadamente bien clasificado	0.3 phi a 0.4 phi	Bien clasificado	0.3 phi a 0.6 phi	Bien clasificado a moderadamente bien clasificado
<b>Grado de Asimetría Gráfica Inclusiva</b>						
Superficie	-0.2 a 0.5	Asimétrico hacia finos hasta asimétrico hacia gruesos	-0.3 a .2	Asimétrico hacia finos hasta asimétrico hacia gruesos	-0.4 a 0.3	Asimétrico hacia finos hasta asimétrico hacia gruesos
Fondo	-0.2 a 0.6	Asimétrico hacia finos hasta asimétrico hacia gruesos	0 a -0.4	Asimétrico hacia gruesos	-0.4 a -0.2	Asimétrico hacia gruesos
<b>Curtosis</b>						
Superficie	<0.9	Platicúrtico	> 11	Leptocúrtico	> 11	Leptocúrtico
Fondo	<0.9	Platicúrtico	> 11	Leptocúrtico	> 11	Leptocúrtico

### Profundidad

Los datos registraron diferencias entre las 3 playas. Punta Chiqueros registro un promedio de 81.50cm  $\pm$ 13.20 mientras que en Mezcalitos y Punta Morena la profundidad registrada fue de 42.0cm  $\pm$ 1.2cm y 72.0cm  $\pm$ 2.33cm respectivamente (Tabla 7). Una prueba de bondad de ajuste mediante Chi cuadrada indico que existieron diferencias estadísticamente significativas entre lo observado y lo esperado en Mezcalitos ( $Xi^2=8.04$   $Xi^2_{crit}=3.84$ ) y Punta Morena ( $Xi^2=4.29$   $Xi^2_{crit}=3.84$ ). Mientras que en Punta chiqueros no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre lo observado y lo esperado ( $Xi^2=0.59$   $Xi^2_{crit}=3.84$ ).

## Humedad

Los valores registrados indicaron que la humedad en la arena tiende a aumentar de 2 % a 3% con la profundidad. El porcentaje de humedad registrado a la profundidad del nido para Punta Chiqueros aumenta de 6.4% ( $\pm 0.62$ ) en Julio a 7.68% ( $\pm 0.15$ ) para septiembre. Mientras que para Punta Morena y Mezcalitos los valores en humedad registrados en septiembre son de 8.4% ( $\pm 0.12$ ) y 7.73 % ( $\pm 0.30$ ) respectivamente (Tabla 7).

## Temperatura

En este estudio la temperatura registrada en la arena a la profundidad del nido al momento de la oviposición es de 2.5°C a 3.1°C mayor que la temperatura de la arena en la superficie, Punta Chiqueros tuvo un registró de temperatura a la profundidad del nido de 28.58°C ( $\pm 0.21$ ) y de 25.88°C ( $\pm 0.19$ ) en la superficie para julio. Mientras que en septiembre fue de 29.13°C ( $\pm 0.33$ ) a la profundidad del nido y de 26.03°C ( $\pm 0.35$ ) en la superficie. En Mezcalitos la temperatura registrada fue de 29.37° C ( $\pm 0.03$ ) a la profundidad del nido y de 26.85°C ( $\pm 0.19$ ) en la superficie. Finalmente en Punta Morena la temperatura fue de 29.63°C ( $\pm 0.20$ ) a la profundidad del nido y de 27°C ( $\pm 0.08$ ) en la superficie (Tabla 7).

## **Discusión y conclusiones**

### Distancia al mar y zona de playa.

Los estudios relacionados con la selección del sitio de anidación, se han llevado bajo dos enfoques. 1) Con relación a las playas de anidación, 2) Con respecto a la ubicación del nido en la playa. En este aspecto se ha observado que el desarrollo embrionario y mortalidad de las crías depende en forma significativa de la zona de playa donde se localiza el nido (Acuña 1983). Así como también de algunos factores tales como la composición granulométrica, contenido de humedad de la arena, temperatura, salinidad, entre otros (Limpus *et al.* 1979). Sin embargo, no está bien documentado el grado de influencia de dichos factores sobre el éxito de eclosión. Por lo tanto este estudio tuvo como objeto contribuir al estudio de la diversificación del sitio de anidación en tortugas marina, ya que es un factor a tener en cuenta a la hora de determinar el éxito de eclosión de un área determinada, (Horrocks y Scott 1991), además de influir en la proporción sexual de los nidos (Mrosovsky e Yntema 1980).

### Tipo de arena

El tamaño de grano es un parámetro de suma importancia ya que influye en las propiedades físicas del sustrato relevantes en el éxito de eclosión de las crías. Tales como la conservación de la humedad y la difusión del calor y gases en el nido (Mortimer 1982). Se ha observado que las principales playas de anidación de *Chelonia mydas*, presentan arena moderadamente clasificada con un diámetro entre 0.2 a 1.0 mm. Lo cual quiere decir que va desde arenas finas hasta arenas gruesas. Por lo tanto el potencial hídrico y la capacidad de difusión del sustrato así como el impacto de estos en la incubación dependen del tamaño y forma del grano de arena (Mortimer 1990). En este caso al comparar los tipos de arena presentes en las playas de anidación es importante considerar que la arena pierde permeabilidad y porosidad conforme disminuye el tamaño de grano. Es decir en la isla la arena media de Punta Chiqueros será menos permeable y porosa en comparación de la arena gruesa de Punta Morena y Mezcalitos. Al ser menos permeable el agua filtrada será difícil de evaporar debido a su baja porosidad. Es decir, los espacios intersticiales entre los granos son muy reducidos y en presencia de precipitación se saturarán fácilmente de agua, dificultando la evaporación y conservando la humedad. Esto tendrá gran influencia en los nidos incubados durante la temporada de lluvias. Mientras que la arena gruesa de Punta Morena y Mezcalitos, al ser más permeable, promueve altos niveles de humedad pero a su vez el alto nivel de porosidad producto de un mayor espacio intersticial entre sus granos le confiere la capacidad de perder el agua filtrada por evaporación rápidamente. Esto amortigua el efecto negativo que pudiera reflejarse en el porcentaje de eclosión por la disminución de la temperatura de incubación y mal intercambio gaseoso entre los embriones y el medio ambiente producto del exceso de humedad. Por lo tanto estas propiedades características de cada tipo de grano juegan un papel importante en la temperatura del nido en presencia de variaciones ambientales, lo cual será discutido en el siguiente capítulo.

### Profundidad.

Se ha reportado que es necesaria suficiente humedad para evitar el derrumbe de nidos cavados a aproximadamente 40 cm de profundidad (Fritts *et al.* 1982). Por lo tanto la humedad en cada playa producto de la variación en el tamaño de grano tiene implicaciones en la profundidad de los nidos. Al respecto Mortimer (1982) señala que el tipo de grano también es importante durante la construcción del nido, ya que conforme el tamaño de grano aumenta, es más difícil cavar a mayor profundidad. En este estudio la profundidad de nido fue media desde el lugar donde se oviposito el ultimo huevo hasta la superficie de la arena. Los datos registraron diferencias entre las 3 playas. Tales variaciones se debieron a la diferencia en las características granulométricas de cada playa. La variación en la disminución en profundidad en Punta Chiqueros de julio a final de temporada en septiembre puede ser explicada debido al aumento

en la humedad en el sustrato por el incremento de las lluvias en la temporada de nortes. Lo cual promueve que las hembras encuentren la humedad preferida a menor profundidad. Por otra parte en Mezcalitos y Punta Morena playas con arenas gruesas los valores fueron sorprendentemente superficiales a diferencia de los nidos en Punta Chiqueros la playa con menor tamaño de grano. Esto se debe a que en arenas gruesas al ser más porosas se pierda con mayor facilidad la humedad y con esto la capacidad de compactación. Sin embargo como se discutirá en el siguiente capítulo la baja profundidad de los nidos en arenas gruesas no afectó el éxito de eclosión en presencia de condiciones climáticas anormales.

### Humedad

Se ha observado que los huevos de tortugas marinas son más sensibles a la humedad que los huevos de otros reptiles. La desecación o al exceso de humedad pueden afectar el tamaño de las crías, así como provocar malformaciones o su muerte (Packard *et al.* 1981, Seymour y Ackerman 1980, Mortimer 1990). Por lo tanto la humedad juega un papel muy importante para el desarrollo de los embriones. El aumento en los valores de humedad registrados para el mes de septiembre en Punta Chiqueros, son producto del aumento en la cantidad de lluvia de 192.1 mm en julio hasta 662.5 mm durante septiembre y a las propiedades físicas de este tipo de sustrato. La explicación de este fenómeno se debió a que en presencia de fenómenos hidrometeorológicos las arenas finas aumentan su capacidad de retener humedad debido a su baja porosidad. por lo tanto las arenas gruesas parecen ser las más adecuadas para amortiguar los efectos adversos del incremento en los fenómenos meteorológicos.

### Temperatura

La temperatura así como la humedad y el tipo de arena han sido señalados como elementos que influyen en la selección del sitio de anidación. Estudios realizados por Stoneburner y Richardson (1981), señalan que las hembras grávidas de *Caretta caretta* anidan inmediatamente después de encontrar un incremento abrupto en la temperatura de 2°C o más. En este estudio se registró que el proceso de oviposición comenzó con un incremento en la temperatura en promedio de 2.5°C a 3.1°C. Por lo tanto continuar documentando cómo responden los nidos después del proceso de oviposición ante variaciones estacionales de la temporada permitirá comprender la intensidad de las interacciones del ambiente con las anidaciones. Este aspecto será evaluado y discutido en el siguiente capítulo.

## CAPÍTULO 3

### Efecto de las variables ambientales sobre las anidaciones

#### Introducción

Los cambios predichos en el clima como resultado del incremento en las concentraciones atmosféricas de gases con efecto de invernadero incluyen mayores temperaturas en el aire y océano, un aumento en el nivel del mar, incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos y patrones alterados de precipitación (Solomon *et al.* 2007). Estos cambios generaran cambios físicos en los ecosistemas. La historia de vida y la biología de las tortugas marinas están finamente sintonizadas a sus condiciones ambientales. Por lo que las condiciones cambiantes en áreas de anidación y forrajeo que pudieran llegar a limitar el potencial de crecimiento y reproductivo son potencialmente serias para poblaciones que ya están bajo presión a nivel mundial debido a una alta mortalidad por pesquería, sobre-explotación y modificación de hábitat (Lutcavage *et al.* 1997).

Una reproducción exitosa es clave para la supervivencia de la población y en consecuencia, un entendimiento de cómo los hábitats de anidación pueden ser afectados por el cambio climático y/o fluctuaciones ambientales son un paso temprano importante en la valoración de la vulnerabilidad de las poblaciones regionales de tortugas marinas (Fish *et al.* 2009).

Desde el tiempo de arribada a los sitios de anidación hasta la construcción de nidos y eclosión de neonatos, la temperatura y la humedad juegan un papel crítico. Para la mayoría de las poblaciones de tortugas marinas, la anidación ocurre usualmente en los meses más cálidos (Miller 1997). La temperatura superficial del mar juega un papel en la determinación del inicio de la anidación y también se ha demostrado que tiene un efecto significativo en los intervalos de remigración (Solow *et al.* 2002). Una vez que se han puesto los huevos, las condiciones ambientales en el nido, específicamente temperatura y humedad, son críticas para una incubación exitosa y juegan un papel crucial en cómo se desarrollan los embriones (Fish *et al.* 2009).

En la playa, la arena y las temperaturas correspondientes del nido influyen el período de incubación, crecimiento de neonatos, proporciones sexuales y finalmente el éxito de eclosión (Hawkes *et al.* 2009). Una incubación exitosa de los huevos sucede dentro de un ámbito limitado de temperatura de aproximadamente 25 °C a 35 °C, aunque el ámbito exacto difiere entre especies (Ackerman 1997). El tiempo de incubación de los huevos varía con la temperatura, los nidos más cálidos incubaran más rápidamente (Mrosovsky y Yntema 1980). La temperatura de incubación también influye el fenotipo de los neonatos, el aumento en la temperatura produce neonatos de menor tamaño (Glen *et al.* 2003, Hewavisenthi y Parmenter 2002). Estos neonatos pueden estar expuestos a mayor riesgo por depredación fuera del nido por depredadores con limitación de apertura bucal que no pueden cazar neonatos de mayor tamaño,

pero los neonatos más pequeños también pueden nadar más rápido y tienen mayores tasas de crecimiento (Burgess *et al.* 2006, Booth y Astill 2001). La temperatura también determina el sexo de los neonatos: temperaturas altas durante el tercio medio del período de incubación producen más hembras y temperaturas bajas producen más machos. A una temperatura pivotal de entre 28 y 31° C para la mayoría de las especies, se produce una proporción de 1:1 y alrededor de esta hay un ámbito de transición que resulta en una mezcla de sexos (Mrosovsky 1988).

Junto con la temperatura, la precipitación también juega un papel importante en el éxito reproductivo. En algunas áreas, las épocas de anidación corresponden a la época de más lluvias (Mortimer 1982, Dobbs *et al.* 1999, Witzell 1983, Richard y Hughes 1972 y Plotkin 1995), mientras en otras, el pico de anidación ocurre en la temporada seca (Chaloupka 2001) o se alterna entre períodos lluviosos y secos (Girondot y Fretey 1996). La precipitación puede tener un amplio efecto en los nidos de tortugas marinas al incrementar el contenido de humedad de la arena. La lluvia puede ayudar a compactar el sustrato, facilitando la excavación del nido (Frazier 1979, Horrocks y Vermeer 1995). La cantidad de humedad en la arena a su vez afecta el transporte de oxígeno, intercambio de gases, salinidad y movilización de calcio (Ackerman 1997, Bilinski *et al.* 2001, Ackerman 1980 y Packard *et al.* 1977). Varios estudios han encontrado relaciones entre humedad y éxito de neonatos. McGehee (1990) determinó que el éxito de los neonatos era el mayor a 25% de humedad y significativamente menor a menores (0%) y mayores (50, 75, 100%) niveles. Resultados similares fueron reportados por Ozdemir y Turkozán (2006), Ozdemir *et al.* (2008) y Yalcin-Ozdilek *et al.* (2007). La humedad también influencia las condiciones térmicas en la arena (Matsuzawa 2002 y Houghton 2007), al punto que puede influir en las proporciones sexuales (Houghton 2007, LeBlanc y Wibbels 2009). Se ha visto que el tiempo de incubación es más largo a niveles mayores de humedad (McGehee 1990).

Dado que existen numerosas maneras en las que la temperatura y la humedad pueden afectar la reproducción de las tortugas marinas, existe la preocupación de que los rápidos cambios en estas variables que se esperan en el próximo siglo podrían tener un impacto considerable en las poblaciones de tortugas marinas. Por lo tanto, la determinación de cómo cambiarán las condiciones en las áreas costeras representa un paso temprano importante en la valoración del panorama completo de las poblaciones de tortugas marinas. En base a los resultados discutidos en este capítulo sugiero que las manifestaciones de cambio climático no serán uniformes a lo largo del globo pues son influenciadas fuertemente por procesos físicos locales.

## Objetivo

- Evaluar el efecto de las variables ambientales sobre el éxito de las anidaciones.

## Metodología

### Influencia de las variables ambientales.

Las variables ambientales analizadas fueron: temperatura de la arena, temperatura de incubación, distancia al mar, porcentaje de humedad, ubicación por zona de playa, tamaño de grano y época de incubación. Así como también se evaluó el efecto de las variables particulares propias de cada nido como el tamaño de nidada y el porcentaje de eclosión sobre la temperatura de los nidos durante el periodo de incubación. A continuación se describe la metodología utilizada para el registro de cada una de las variables:

- Registro de la temperatura de incubación y temperatura de la arena en las playas:

Con la finalidad de registrar el gradiente térmico que experimentaron los nidos y la temperatura de la arena durante el periodo de incubación se colocaron tres sensores de temperatura HOBO® pendant temperature modelo UA-001-08, los cuales fueron programados para registrar los valores de temperatura con intervalos de una hora.

Los sensores fueron colocados al momento de la oviposición en tres distintas ubicaciones para cada nido:

- 1) Interior: este sensor fue ubicado al centro del volumen de huevos.
- 2) Exterior: este sensor fue ubicado en la superficie del volumen de huevos.
- 3) Control: este sensor fue ubicado a un metro de distancia del nido. Este registro funciona como una “estación térmica”. Lo cual permitió registrar la temperatura de la arena alrededor de cada nido en cada playa y evaluar la influencia del índice de calor metabólico (I.C.M) en los nidos sobre la proporción sexual de las crías (capítulo 4).

- Humedad.

Por otra parte se monitorearon los valores de humedad que experimentan los nidos en las tres diferentes playas de anidación. Los valores de humedad fueron registrados por el método de peso en seco (Márquez García 2002), anteriormente mencionado.

La toma de muestras se realizó una vez a la semana y se tomaron dos muestras. La primera se tomó en la superficie a una profundidad de 2 cm y la segunda a una profundidad promedio de un metro. Para obtener las muestras se excavo a lado de cada nido, con la finalidad de evitar tocar los huevos y a su vez de obtener las muestras lo más cercanamente posible a la cámara de incubación. Lo anterior permitió registrar el gradiente vertical hídrico de los nidos.

El análisis de las diferencias entre las muestras tomadas en la superficie y a la profundidad de la cámara de incubación entre las diferentes playas se realizó mediante un análisis de ANOVA con una prueba post hoc de Tukey Kramer de comparación múltiple.

- Porcentaje de eclosión durante la temporada de anidación y tamaño de nidada  
Los nidos que fueron seleccionados para el análisis de la temperatura de incubación fueron monitoreados constantemente al término del periodo de incubación para poder registrar el porcentaje de eclosión y tamaño de nidada. Los datos se obtuvieron considerando las categorías y formulas propuestas por Miller (1997), (Tabla 9).

**Tabla 9.** Categorías y definiciones del contenido de los nidos

Categoría	Símbolo
Número de cascarones	<i>C</i>
Número de crías vivas dentro en el nido	<i>V</i>
Número de crías muertas en el nido	<i>M</i>
Número de huevos sin desarrollo aparente (infértiles)	<i>HSDA</i>
Número de huevos con embrión	<i>HCE</i>
Número de crías depredadas	<i>D</i>

Formulas:

$$\text{TAMAÑO DE NIDADA} = (C - (V + M)) / + V + M + HCE + HSDA$$

$$\% \text{ ECLOSIÓN} = \# C / \#C + HCE + HSDA + D$$

- Época de incubación  
Con la finalidad de registrar la variación térmica estacional durante la temporada de anidación, los sensores de temperatura se colocaron a principios de la temporada de anidación en el mes de julio. Una vez que las crías eclosionaron los sensores se recolocaron en el mes de septiembre a finales de temporada de anidación.

Las siguientes variables fueron obtenidas en el momento que las hembras ovipositaron, la metodología utilizada para su obtención se muestra en el capítulo 2.

- Profundidad del nido.
- Distancia del nido al nivel medio de marea.
- Ubicación del nido en el perfil de playa.
- Tamaño de grano.

### Distribución de los sensores en las playas.

La distribución de los nidos monitoreados con sensores de temperatura varió a lo largo de la temporada de anidación en las playas de estudio (Tabla 10). Al comienzo de la investigación en el mes de julio se monitorearon solamente nidos en Punta Chiqueros, esta fue la playa con el menor tamaño de grano (arena media). Los sensores se retiraron a finales del mes de agosto cuando eclosionaron las crías. Posteriormente, al observar la variedad de escenarios de sedimento a lo largo de la isla se seleccionaron dos playas más: Punta Morena (arena gruesa) y Mezcalitos (arena muy gruesa). Lo anterior con la finalidad de registrar el gradiente térmico en el mayor número de escenarios de anidación existentes en la isla. Es por esta razón que para el mes de septiembre se dividieron y reubicaron los sensores disponibles dentro de las tres diferentes playas de anidación, lo cual permitió registrar las diferencias en incubación producto de las variaciones físicas en el sustrato.

**Tabla 10.** Distribución de los sensores de térmicos durante la temporada.

<b>Periodo</b>	<b>Número de nidadas</b>	<b>Punta Chiqueros</b>	<b>Punta Morena</b>	<b>Mezcalitos</b>
<b>Julio-Agosto</b>	<b>10</b>	10	-	-
<b>Septiembre-Octubre</b>	<b>10</b>	4	3	3

- Análisis estadísticos para la evaluación integral de los factores ambientales sobre las anidaciones.

Una vez registradas todas las variables se analizaron para evaluar su influencia y relación sobre las anidaciones. Se realizó un análisis multivariante de la varianza o MANOVA debido a que se tuvieron múltiples variables dependientes (variables ambientales) a comparar que no podían ser combinadas de manera simple. Además de identificar si los cambios en las variables independientes tienen efectos significativos en las variables dependientes.

Los datos se corrieron bajo un MANOVA de 5 factores fijos o variables independientes, entre las que se encuentran: playa de anidación (Punta Chiqueros, Punta Morena y Mezcalitos), tipo de arena (fina, media y gruesa), ubicación por zona de playa (infraplaya, mesoplaya y supraplaya) y tiempo de incubación de los nidos (julio-agosto / septiembre-octubre). Mientras que las variables dependientes evaluadas fueron: profundidad, arcoseno del número de huevos, logaritmo natural de la temperatura del nido, logaritmo de la temperatura en la arena, logaritmo de la distancia del nido al mar, arcoseno del porcentaje de eclosión y el logaritmo del porcentaje

de humedad. Los datos fueron transformados para quitar el efecto multiplicativo y dejar un efecto aditivo.

El MANOVA utilizado fue de modelo III, ya que los factores fijos que se seleccionaron para evaluar el impacto de las variables ambientales sobre la temperatura de incubación son completamente aleatorios, debido a este comportamiento en los datos registrados, fueron evaluados mediante un diseño anidado. Este tipo de diseño es utilizado en modelos estadísticos multifactoriales, en donde los factores (variables independientes) se subdividen jerárquicamente en distintos niveles, lo cual permite evaluar el efecto de cada uno sobre cada variable dependiente. Desde el punto de vista biológico el análisis de los datos bajo este tipo de modelo matemático permite conocer en orden de importancia la interacción de los factores espacio-temporales y físicos sobre las anidaciones de *Chelonia mydas* dentro de la isla. El acomodo y jerarquías que fueron asignadas a los datos en este modelo estadístico se muestran en la Figura 36.

7 Variables dependientes (variables ambientales)							
Profundidad del nido	Número de huevos	Temperatura de la arena	Distancia del nido al mar	% Humedad en el nido	% Eclosión	Temperatura de incubación	
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Zona							
Playa (zona)							
Tamaño de grano (zona*playa)							
Intervalo temperatura incubación (zona*playa*arena)							
Época de incubación (zona*playa*arena)							

Figura 36. Estructura del análisis estadístico MANOVA tipo III de modelo anidado.

## Resultados.

- Registro de la temperatura de incubación y temperatura de la arena en las playas.

En la Tabla 11 se muestran los promedios, desviación estándar, mínimos y máximos de los valores registrados con los sensores térmicos colocados dentro de los nidos en Punta Chiqueros a principio y final de la temporada de anidación. Se puede observar el descenso de la temperatura de principio (julio a agosto) hacia final de temporada (septiembre a octubre). Es decir, en el caso de la temperatura registrada al exterior o a la periferia del nido, el descenso promedio fue de 1.36°C, la temperatura al interior del nido o temperatura de incubación descendió en promedio 1.39°C, mientras que es descenso de la temperatura de la arena o también llamada temperatura control fue de 0.46°C.

**Tabla 11.** Perfil térmico en playa Punta Chiqueros julio a octubre.

julio-agosto				septiembre-octubre			
Chiqueros	Temperatura Exterior	Temperatura Interior	Temperatura control	Chiqueros	Temperatura Exterior	Temperatura Interior	Temperatura control
Promedio	30.77	31.15	29.47	Promedio	29.41	29.76	29.01
D. estándar	±1.66	±2.10	±0.51	D. estándar	±0.92	±0.95	±0.96
T. mínima	28.27	28.47	28.31	T. mínima	26.34	27.1	26.41
T. máxima	33.42	34.71	30.23	T. máxima	30.49	31.41	29.75

Por otro lado en la Tabla 12 se puede observar el registro de la variación térmica en Punta Morena y Mezcalitos a final de temporada (septiembre a octubre). La comparación de los valores entre las tres playas indico que durante esta época de incubación la playa que registró los promedios mínimos de temperatura fue Punta Chiqueros con 29.41°C en el exterior o a la periferia del nido, la temperatura interior o de incubación registro 29.76°C y la temperatura control o temperatura en la arena fue de 29.1°C. Mientras que Punta Morena y Mezcalitos registraron valores térmicos más altos que en Punta Chiqueros, lo cual indico que playas con mayor tamaño de grano mostraron mayor conductividad térmica a final de temporada. es por esto que Mezcalitos fue la playa que registró los valores térmicos más altos con 30.17°C de temperatura exterior o a la periferia del nido, 30.83°C de temperatura interior o de incubación y 29.44°C de temperatura en la arena.

**Tabla 12.** Perfil térmico en las playas Punta Morena y Mezcalitos de septiembre a octubre.

septiembre-octubre				Septiembre-octubre			
Mezcalitos	Temperatura Exterior	Temperatura Interior	Temperatura control	Punta Morena	Temperatura Exterior	Temperatura Interior	Temperatura control
Promedio	30.17	30.83	29.44	Promedio	29.86	30.55	29
D. estándar	±0.99	±0.95	±1.32	D. estándar	±0.74	±1.07	±1.02
T. mínima	26.59	25.19	25.93	T. mínima	27.44	28.26	26.33
T. máxima	31.61	32.81	30.63	T. máxima	31.14	32.85	29.82

- Humedad.

El ANOVA para la comparación de muestras tomadas a la profundidad del nido ( $F=49.21$ ,  $g.l= 279$ ,  $n=280$ ,  $p<0.0000001$ ). Así como el ANOVA para la comparación de muestras tomadas en la superficie del nido entre las playas de anidación ( $F=29.84$ ,  $g.l= 279$ ,  $n=280$ ,  $p<0.000001$ ) mostraron diferencias significativas entre las muestras de las distintas ubicaciones. El analisis post hoc de comparación múltiple de Tuckey Kramer indico que las muestras de humedad tomadas a la profundidad del nido fueron diferentes estadísticamente entre las tres playas de anidación ( $MSE=1.419384$ , valor critico= $3.3324$ ,  $g.l=277$ ,  $n=280$   $p=0.05$ ). Mientras que para el caso de las muestras superficiales los resultados indicaron que los valores de humedad en Punta Morena y Punta Chiqueros no presentan diferencias significativas. Sin embargo, las diferencias se presentaron al comparar los valores de humedad de estas playas contra los obtenidos en Mezcalitos ( $MSE=1.819121$ , valor critico= $3.3324$ ,  $g.l=277$ ,  $n=280$   $p=0.05$ ). Por lo tanto los resultados mostraron a Mezcalitos como la playa con los niveles más altos de humedad. Lo cual se corroboró al comparar los promedios de humedad a lo largo de la incubación de septiembre a octubre, donde Mezcalitos alcanzo un porcentaje de humedad de  $7.35 \pm 0.46$ , mientras que Punta Chiqueros y Punta Morena registraron un  $6.15 \pm 0.42$  de y  $5.71 \pm 0.40$  respectivamente

- Porcentaje de eclosión durante la temporada de anidación.

Los parámetros evaluados para analizar el éxito de eclosión de los nidos se presentan en la Tabla 13. Se observó que el tamaño de nidada disminuyo conforme avanza la temporada de anidación El éxito de eclosión obtenido en Punta Chiqueros se vio disminuido al máximo hacia finales de temporada. En tres de los cuatro nidos monitoreados se registró un porcentaje de eclosión de 0%. Únicamente uno de los nidos obtuvo un porcentaje de eclosión de 95%. El escenario fue distinto a principios de temporada dentro de esta misma playa, donde se registraron valores altos desde 65% hasta 100% de eclosión. Al comparar solamente los valores de eclosión en los nidos incubados hacia el final de temporada (septiembre y octubre) en las tres diferentes playas se registró que Punta Chiqueros fue la única que mostro un descenso en el

porcentaje de eclosión con una media de 23.87%, ya que Punta Morena y Mezcalitos alcanzaron una media en el éxito de eclosión de 90.66% y 93.60%, respectivamente.

**Tabla 13.** Parámetros evaluados para analizar el éxito de eclosión durante la temporada de anidación. (Los números rojos indican los valores mínimos de eclosión a final de temporada)

Playa	Época de incubación	Días de incubación	Número de cascarones (C)	Vivas dentro del nido (V)	Muertas (M)	Huevos sin desarrollo aparente (HSDA)	Huevos con embrión (HCE)	Depredadas (D)	Tamaño de nidada	% Eclosión
Punta Chiqueros	jul-ago	54	91	1	0	27	1	0	119	76.47
Punta Chiqueros	jul-ago	52	123	11	17	0	2	0	125	98.40
Punta Chiqueros	jul-ago	54	117	2	1	0	0	0	117	100.00
Punta Chiqueros	jul-ago	54	51	4	1	25	2	0	78	65.38
Punta Chiqueros	jul-ago	52	156	16	3	1	0	0	157	99.36
Punta Chiqueros	jul-ago	52	152	22	8	4	0	0	156	97.44
Punta Chiqueros	jul-ago	50	101	21	0	4	0	0	105	96.19
Punta Chiqueros	jul-ago	52	145	6	8	2	4	0	151	96.03
Punta Chiqueros	jul-ago	52	133	10	0	0	1	0	134	99.25
Punta Chiqueros	jul-ago	50	110	22	8	1	1	0	112	98.21
Punta Chiqueros	sept-oct	51	0	0	0	2	91	0	93	0.00
Punta Chiqueros	sept-oct	51	106	11	0	4	1	0	111	95.50
Punta Chiqueros	sept-oct	50	0	0	0	0	115	0	115	0.00
Punta Chiqueros	sept-oct	50	0	0	1	105	0	0	105	0.00
Punta Morena	sept-oct	52	91	4	15	5	0	0	96	94.79
Punta Morena	sept-oct	52	113	3	1	2	0	0	115	98.26
Punta Morena	sept-oct	53	60	0	1	10	6	0	76	78.95
Mezcalitos	sept-oct	51	95	12	1	2	0	0	97	97.94
Mezcalitos	sept-oct	49	98	20	0	6	6	1	111	88.288288
Mezcalitos	sept-oct	50	70	4	3	2	2	0	74	94.59

- Análisis del efecto integral de las variables ambientales sobre las anidaciones mediante el uso del modelo estadístico

A continuación solo se reportan las anidaciones que resultaron significativas para el MANOVA de modelo anidado:

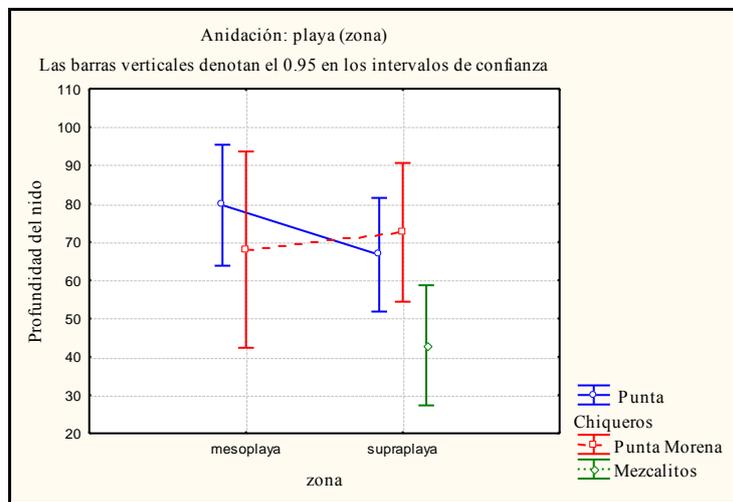
1) Variable dependiente: profundidad del nido  
Anidación: playa (zona)

Se obtuvieron diferencias significativas a nivel de la profundidad de los nidos entre las zonas de las distintas playas y no dentro de una misma (Tabla 14 y Figura 37):

- ✓ mesoplaya de Chiqueros contra la supraplaya de Mezcalitos
- ✓ supraplaya de Chiqueros contra la supraplaya de Mezcalitos
- ✓ supraplaya de Mezcalitos contra la mesoplaya de Chiqueros
- ✓ supraplaya de Mezcalitos contra la supraplaya de Chiqueros

**Tabla 14.** Análisis de MANOVA de la variable dependiente: profundidad del nido con la anidación: playa (zona)

Prueba Post Hoc Tuckey Unequal N HSD; variable profundidad.							
Las probabilidades de error aproximados de análisis post hoc: entre MSE = 109.75, df = 6.0000							
	ZONA	PLAYA	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
			<b>83.200</b>	<b>68.000</b>	<b>80.556</b>	<b>72.500</b>	<b>42.000</b>
1	Mesoplaya	P. Chiqueros		0.83563	0.99324	0.83766	<b>0.01659</b>
2	Mesoplaya	P. Morena	0.83563		0.90606	0.99764	0.47071
3	Supraplaya	P. Chiqueros	0.99324	0.90606		0.93088	<b>0.02255</b>
4	Supraplaya	P. Morena	0.83766	0.99764	0.93088		0.12974
5	Supraplaya	Mezcalitos	<b>0.01659</b>	0.47071	<b>0.02255</b>	0.12974	



**Figura 37.** Grafica de MANOVA de la variable dependiente: profundidad del nido con la anidación: playa (zona)

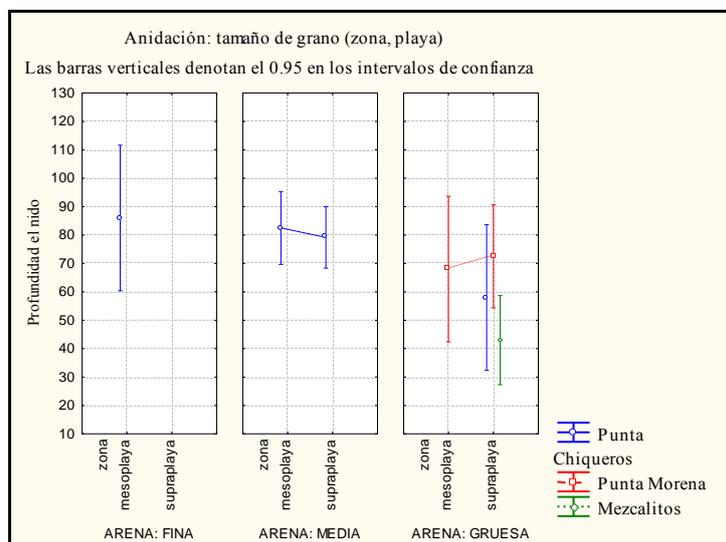
2) Variable dependiente: profundidad del nido  
Anidación: tamaño de grano (zona, playa)

Los nidos de la mesoplaya y de la supraplaya de Chiqueros (arena media) fueron significativamente más profundos que los nidos de la supraplaya de Mezcalitos (arena gruesa) (Tabla 14). Punta Chiqueros presento gran variabilidad granulométrica a la profundidad de la cámara de incubación al presentar arenas finas, medias y gruesas (Figura 38). Los nidos ubicados en arena fina presentaron mayor amplitud en profundidad que los colocados en arenas medias y gruesas. Sin embargo, las diferencias en profundidad entre las distintas zonas de Punta Chiqueros no fueron significativas (Tabla 14). En Punta Morena se registraron nidos en arenas gruesas en mesoplaya y supraplaya, los resultados indicaron que no existen diferencias significativas dentro de la playa. Sin embargo, las diferencias en la profundidad se muestran

significativas en los nidos colocados en distintos tamaños de grano entre las distintas playas y no dentro de una misma. La ubicación del nido por zona pierde peso estadístico en el análisis, ya que no hay tendencia entre zonas de distintas playas. En la figura 38 se puede observar que los nidos ubicados en Mezcalitos en arena gruesa si presentan diferencias significativas al compararlos con los colocados en arena fina y media en Punta Chiqueros, mientras que los nidos de las diferentes playas y zonas incubados en arenas gruesas no presentan diferencias estadísticamente significativas.

**Tabla 14.** Análisis de MANOVA para la variable dependiente: profundidad del nido Anidación: tamaño de grano (zona, playa).

Prueba Post Hoc Tuckey Unequal N HSD; variable profundidad.										
Las probabilidades de error aproximados de análisis post hoc: entre MSE = 109.75, df = 6.0000										
	ZONA	PLAYA	ARENA	{1} - 86.000	{2} - 82.500	{3} - 68.000	{4} - 83.375	{5} - 58.000	{6} - 72.500	{7} - 42.000
1	Mesoplaya	P. Chiqueros	Fina		0.99997	0.8664	0.99999	0.54532	0.95728	0.18032
2	Mesoplaya	P. Chiqueros	Media	0.99997		0.94203	0.99999	0.66256	0.94782	0.02849
3	Mesoplaya	P. Morena	Gruesa	0.8664	0.94203		0.92631	0.98958	0.99986	0.61176
4	Supraplaya	P. Chiqueros	Media	0.99999	0.99999	0.92631		0.63287	0.92622	0.02582
5	Supraplaya	P. Chiqueros	Gruesa	0.54532	0.66256	0.98958	0.63287		0.94203	0.91374
6	Supraplaya	P. Morena	Gruesa	0.95728	0.94782	0.99986	0.92622	0.94203		0.19219
7	Supraplaya	Mezcalitos	Gruesa	0.18032	0.02849	0.61176	0.02582	0.91374	0.19219	



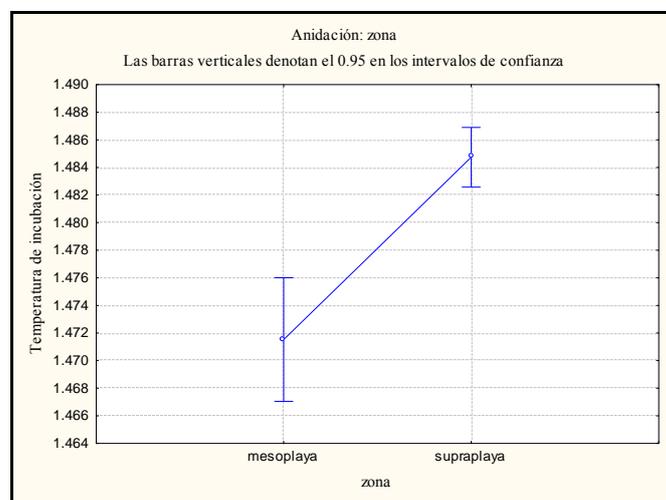
**Figura 38.** Gráfica de MANOVA para la variable dependiente: profundidad del nido anidación: tamaño de grano (zona, playa)

3) Variable dependiente: temperatura de incubación  
Anidación: zona

Los nidos depositados en la zona de mesoplaya tuvieron una temperatura significativamente más baja que los nidos depositados en la zona de supraplaya (Tabla 15). Las temperaturas de incubación en supraplaya muestran mayor estabilidad que las temperaturas de incubación en mesoplaya (Figura 39).

**Tabla 15.** Análisis de MANOVA para la variable dependiente: temperatura de incubación  
anidación: zona

Prueba post hoc Tuckey Unequal N HSD; variable: temperatura de incubación.			
Las probabilidades de error aproximados de análisis post hoc: entre MSE = .00001, df = 6.0000			
	ZONA	{1} - 1.4827	{2} - 1.4880
1	Mesoplaya		0.010313
2	Supraplaya	0.010313	



**Figura 39.** Gráfica de MANOVA para la variable dependiente: temperatura de incubación  
anidación: zona

4) Variable dependiente: temperatura de incubación  
Anidación: época de incubación (tamaño de grano, playa y zona)

En la anidación de los datos época de incubación considerando tamaño de grano, playa y zona con respecto a la variable dependiente temperatura de incubación se presentaron diferencias

estadísticamente significativas. Se pueden apreciar los lugares y tiempos que son significativos en el modelo (Ver anexo 2). Durante la época de incubación de julio a agosto en Punta Chiqueros, incluso si los nidos se encontraron ubicados en diferentes zonas y tamaños de grano, no se presentaron diferencias significativas dentro de la misma playa en cuanto a la temperatura de incubación. Sin embargo, al comparar los valores de los nidos en esta misma playa durante el periodo de incubación hacia final de temporada (septiembre a octubre), se pudo observar que todas las comparaciones entre los valores resultaron diferentes estadísticamente. Por otra parte, al comparar los datos obtenidos en Punta Morena y Mezcalitos hacia final de temporada (septiembre a octubre) se observa que no existieron diferencias significativas en la temperatura de incubación entre las diferentes zonas de estas dos playas con arenas gruesas. Sin embargo, la comparación de los valores de temperatura de incubación durante septiembre-octubre en Punta Morena y Mezcalitos contra los obtenidos en Punta Chiqueros playa con arenas medias indicó diferencias significativas (Ver anexo 2).

#### Análisis de la variación térmica entre individuos.

Aunque el MANOVA de modelo anidado registró que no existen diferencias significativas en la variable dependiente temperatura de incubación con respecto a las variables independientes zona de anidación, playa de anidación y tipo de sustrato se llevaron a cabo los siguientes análisis: Primero se realizó un ANOVA de una vía con una prueba Post hoc de Tuckey, con la finalidad de registrar si existieron diferencias únicamente entre las temperaturas de incubación de los nidos en cada playa.

- Los análisis mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres nidos de Playa Mezcalitos. Los análisis indicaron diferencias entre el nido uno y el dos (Tukey=0.000022) y entre en nido dos y el tres (Tukey=0.000022), pero no entre el nido uno y tres.
- En Playa Punta Morena se encontraron diferencias significativas entre el nido uno y el dos (Tukey=0.000022) y entre en nido dos y el tres (Tukey=0.000022), pero no entre el nido uno y tres.
- En Punta Chiqueros se encontró que hay diferencias significativas entre el nido uno y el dos (Tukey=0.000088), entre en nido uno y tres ((Tukey=0.000088), entre el nido uno y cuatro (Tukey=0.000088), entre el nido dos y tres (Tukey=0.000088), y entre el nido dos y cuatro (Tukey=0.000088), pero no entre el nido tres y cuatro (Tukey=0.081042).

Los análisis indicaron la existencia de diferencias en las temperaturas de incubación dentro de una misma playa. Por lo tanto se realizó un segundo análisis de varianza factorial para registrar la existencia de diferencias entre la temperatura de incubación pero esta vez considerando el

efecto de la playa y la ubicación del nido. Los análisis mostraron diferencias significativas entre las playas ( $F=502.9430$ ,  $p < 0.001$ ), mientras que la zona de ubicación del nido dentro de las playas por sí misma no tiene efecto sobre la temperatura del nido.

Sin embargo, al combinar el efecto de la playa y la zona de ubicación del nido si se presentaron diferencias significativas en la temperatura de incubación ( $F=136.7894$ ,  $p < 0.001$ ). Este análisis corrobora que el tipo de sustrato característico de cada playa tiene el potencial de influir sobre la temperatura de incubación en los nidos más que la ubicación que tenga dentro de la misma.

#### Influencia individual de los factores ambientales sobre las anidaciones.

Con la finalidad de evaluar la influencia individual de cada uno de los factores ambientales sobre la temperatura de incubación se realizaron los siguientes análisis de regresión múltiple.

- El análisis para Mezcalitos reportó lo siguiente:

Profundidad del nido: los resultados indicaron que a medida que los nidos se hacen más hondos la temperatura del nido se hace más baja. Sin embargo, aunque el resultado fue estadísticamente significativo el efecto fue realmente bajo  $r = 0.31$ .

Distancia del nido al mar: los nidos ubicados a 26.2 metros suelen ser un poco más fríos con un promedio de temperatura de  $31.33^{\circ}\text{C}$  que los ubicados a 25.6 metros con un promedio de temperatura de  $31.38^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, se registró un nido a 25.3 metros con un promedio de temperatura de  $30.65^{\circ}\text{C}$ , lo cual indica que no únicamente la distancia al mar influye en la temperatura de incubación. Por lo tanto aunque el resultado fue estadísticamente significativo el efecto fue realmente bajo  $r = 0.422$

Porcentaje de humedad: los nidos con un promedio de 6.90% de humedad a nivel de la cámara de incubación (promedio de temperatura de incubación de  $31.33^{\circ}\text{C}$  y 35 cm de profundidad) fueron un poco más calientes que los que tienen promedio de 7.50% de humedad a nivel de la cámara de incubación (promedio de temperatura de incubación de  $30.65^{\circ}\text{C}$  y 46 cm de profundidad). Este resultado concuerda con lo encontrado para la profundidad del nido donde se reporta que la temperatura desciende conforme aumenta la profundidad. Sin embargo, aunque el resultado fue estadísticamente significativo el efecto fue realmente bajo  $r = 0.16$ .

Temperatura de la arena: considerando únicamente la temperatura de la arena el resultado fue estadísticamente significativo pero el efecto registrado fue realmente bajo  $r = 0.352$ .

Ubicación del nido: la ubicación del nido en esta playa no pudo ser analizada ya que todos los nidos monitoreados se ubicaron en la zona de supraplaya.

- El análisis para Punta Morena reporto lo siguiente:

Profundidad del nido: los análisis indicaron que la profundidad no presento ningún efecto sobre la temperatura de incubación en los nidos  $r = 0.054$ .

Distancia del nido al mar: los análisis indicaron que los nidos suelen ser más fríos mientras se ubiquen más cerca del nivel medio de marea. El nido ubicado a 28.2 metros de distancia se registró más frío con un promedio de temperatura de  $30.14^{\circ}\text{C}$  que el nido ubicado a 32.2 metros con un promedio de temperatura de  $30.81^{\circ}\text{C}$ . Aunque el resultado mostro ser estadísticamente significativo el efecto fue realmente bajo  $r = 0.390$ . El análisis indico que la temperatura de incubación será más alta mientras más lejos se encuentre el nido del nivel medio de marea. Sin embargo, un nido ubicado a una distancia intermedia de 29.4 metros registro un promedio de temperatura de incubación superior a lo esperado para esa distancia con  $30.71^{\circ}\text{C}$ .

Porcentaje de humedad: los análisis reportaron que las diferencias en los registros de humedad en los nidos no tiene ningún efecto sobre la temperatura de incubación de los nidos. El valor obtenido fue inverso y no significativo  $r = - 0.02$

Temperatura de la arena: los análisis reportaron que las diferencias en la temperatura de incubación producto de la variación en la temperatura del sustrato son estadísticamente significativos, pero el efecto fue realmente bajo  $r = 0.100$

Ubicación del nido: los resultados indicaron que los nidos ubicados en la supraplaya (promedio de temperatura  $30.77^{\circ}\text{C}$ ) son más calientes que los ubicados en la mesoplaya (promedio de temperatura  $30.14^{\circ}\text{C}$ ).  $F= 410.0$ ,  $p= 0.0001$

- El análisis para Punta Chiqueros reporto lo siguiente:

Profundidad del nido: el análisis indico que los resultados no fueron estadísticamente significativos, es decir la profundidad no tuvo efecto alguno sobre la temperatura de incubación de los nidos  $r = 0.038$

Distancia del nido al mar: los análisis indicaron que los nidos suelen ser más fríos mientras se ubiquen más cerca del nivel medio de marea. Los nidos ubicados a 23.2 metros y 21.4 metros de distancia fueron más fríos con un promedio de temperatura de  $29.74^{\circ}\text{C}$  y  $29.8^{\circ}\text{C}$  respectivamente que el nido ubicado a 29.2 metros de distancia con un promedio de temperatura

de 30.06°C. Sin embargo, aunque el resultado indico ser estadísticamente significativo el efecto fue realmente bajo  $r = 0.323$

Porcentaje de humedad: los análisis indicaron que el porcentaje de humeado registrado en los nidos tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la temperatura de incubación, sin embargo, aunque el análisis indico diferencias significativas el efecto fue realmente bajo  $r = 0.131$

Temperatura de la arena: los análisis indicaron que la temperatura de la arena no tuvo efecto alguno sobre la temperatura de incubación en los nidos. El valor fue inverso y no significativo  $r = - 0.01$

Ubicación del nido: los resultados indicaron que los nidos ubicados en la supraplaya (promedio de temperatura 30.10°C) fueron más calientes que los ubicados en la mesoplaya (promedio de temperatura 29.99°C).

### **Discusión y Conclusiones**

- Registro de la temperatura de incubación, temperatura de la arena y humedad en las playas de anidación.

Durante el muestreo realizado hacia finales de la temporada de anidación, durante la temporada de nortes, Mezcalitos fue la playa con los valores más altos en cuanto a la temperatura de incubación con 30.83°C ± 0.95, seguido de Punta Morena con 30.55°C ± 1.07 y en último lugar Punta Chiqueros con 29.76°C ± 0.95. Este mismo patrón se observa en cuanto a la temperatura en la arena ya que Mezcalitos registro 29.44°C ± 1.32, seguido de Punta Morena con 29.0°C ± 1.02 y en último lugar Punta Chiqueros con 29.01°C ± 0.96. Por lo tanto, las variaciones en la temperatura y humedad que experimentaron los nidos a lo largo de la costa dependieron en primera estancia del tamaño de grano predominante en cada playa. Esta diferencia física en el sustrato confiere un mayor nivel de porosidad y permeabilidad conforme aumenta el tamaño de grano, ya que junto con el aumento del espacio intersticial entre partículas (Ackerman 1997, Bilinski *et al.* 2001, Ackerman 1980 y Packard *et al.* 1977). Por lo tanto, la arena de Mezcalitos al ser altamente permeable registró los niveles más altos de humedad al permitir la filtración del agua, pero a la vez su alta porosidad permitió el paso del aire entre las partículas evitando la concentración de la humedad y el descenso en la temperatura.

- Éxito de eclosión durante la temporada de anidación.

Las diferencias en el tamaño de grano tuvieron influencia en los nidos incubados bajo condiciones ambientales adversas. En este año registró uno de los valores más altos de precipitación en los últimos 40 años. Es decir, a final de la temporada de anidación la reducción

en el éxito de eclosión en los nidos incubados únicamente en Punta Chiqueros se debió a la baja porosidad en este tamaño de grano, ya que el espacio intersticial entre las partículas es muy reducido. Por lo tanto, en presencia de un exceso de agua los espacios se saturaron rápidamente. Lo cual promovió que se conserva la humedad en la arena y a su vez descendiera la temperatura en el nido. La saturación de los espacios intersticiales también dificultó el intercambio gaseoso entre los embriones y el ambiente (Ackerman 1997, Bilinski *et al.* 2001, Ackerman 1980 y Packard *et al.* 1977). Sin embargo, dentro de esta misma playa a principio de temporada en presencia de condiciones lluviosas no extremas se alcanzaron valores altos en el éxito de eclosión. Punta Morena (arena gruesa) y Mezcalitos (arena gruesa a muy gruesa) registraron altos porcentajes de eclosión a final de temporada. Esto se debió a que el espacio intersticial entre las partículas aumenta con el tamaño de grano haciéndola más porosa y permeable. Por lo tanto, aunque el agua logro filtrar con mayor facilidad, los espacios entre partículas no fueron saturados por el agua lo cual evito que descendiera la temperatura y promovio un buen intercambio gaseoso entre los embriones y el ambiente (Ackerman 1997, Bilinski *et al.* 2001, Ackerman 1980 y Packard *et al.* 1977). Por lo tanto, durante la época de los fenómenos hidrometeorológicos (i.e. huracanes, nortes) el tipo de arena que tendrá la capacidad de amortiguar los efectos negativos de estos en el éxito de eclosión llevando a buen término la incubación de las crías será la arena de mayor tamaño de grano, es decir, la arena gruesa. Sin embargo, aún falta evaluar el comportamiento de arenas gruesas bajo condiciones no adversas. Ya que podría esperarse que presentaran propiedades opuestas a las que se registran en temporada de nortes. Es decir este tamaño de grano podría presentar temperaturas demasiado altas y bajos niveles de humedad. Lo cual podría convertirla en la arena más inestable para incubar nidos a principio de la temporada de anidación.

- Efecto integral de las variables ambientales sobre las anidaciones durante la temporada de anidación.

Variable dependiente: *profundidad del nido* Anidación: *playa (zona)*

Los resultados del modelo indicaron que las tortugas seleccionan la profundidad de los nidos no entre zonas si no entre playas. Tal variación se debe principalmente a las diferencias en el tamaño de grano de las playas. Mortimer (1982) señalo que el tipo de grano es importante durante la construcción del nido, ya que conforme el tamaño de grano aumenta, es más difícil cavar a mayor profundidad debido a que la compactación en la arena es mejor en granos finos ya que conservan mayor humedad. Es por esta razón que en Mezcalitos la playa que presento arena muy gruesa los nidos fueron más superficiales con valores de profundidad promedio de 42 cm. El escenario fue completamente distinto al disminuir el tamaño de grano. Es decir, en Punta Morena playa con arena gruesa y Punta Chiqueros playa con arena media la profundidad

aumento con un registro un promedio en profundidad de 71cm y 81.5cm, respectivamente, por lo tanto la reducción en el tamaño de grano permitió a las hembras ovipositar los nidos a mayor profundidad.

Variable dependiente: *profundidad del nido* Anidación: *tipo de arena (zona y playa)*

En este estudio se evidencia que las tortugas marinas que anidaron en Isla Cozumel variaron la profundidad de los nidos dependiendo del tamaño de arena presente entre playas y no dentro de una misma. De igual manera no se registro variación en la profundidad entre las zonas de distintas playas. Es decir, en este estudio la variación en el tamaño de las partículas dentro de cada playa es generalmente estable, por lo que la profundidad dentro de una misma playa y entre las zonas de las diferentes playas no presento variaciones.

Variable dependiente: *temperatura de incubación* Anidación: *zona*

La temperatura de incubación de los nidos ubicados en supraplaya fue mayor que la registrada en los nidos ubicados en mesoplaya. Esta conducta térmica se debio a que los nidos ubicados en supraplaya se encontraron más alejados de la línea de marea y por lo tanto del manto freático. Lo cual los ubico lejos de las principales fuentes de humedad en la costa. Por lo tanto, las temperaturas de incubación registradas en la supraplaya fueron más altas y mostraron mayor estabilidad.

Variable dependiente: *temperatura de incubación* Anidación: *época de incubación (tamaño de grano, playa y zona)*

Como se mencionó anteriormente la variación en la temperatura de incubación entre las playas a final de la temporada de anidación fue debida al exceso de agua en el sustrato. El aumento en la precipitación en arenas de menor tamaño de grano favoreció bajas temperaturas, debido a que el espacio intersticial entre partículas es reducido y fácilmente saturado de agua. Lo cual evita la perdida de humedad, favorece la disminución de la temperatura y dificulta el intercambio gaseoso de los embriones con el ambiente.

Las diferencias en las temperaturas de incubación entre los nidos ubicados en las diferentes playas fue influenciada a su vez por la profundidad en los nidos, la cual dependió del tamaño de grano, ya que la profundidad aumenta conforme disminuye el tamaño de grano. Como se mencionó en el capítulo 2. Los nidos monitoreados en Punta Chiqueros presentaron los valores más altos con una profundidad promedio de 68.7 cm durante julio-agosto y de 86.6 cm durante septiembre-octubre. Por otra parte la profundidad fue menor en Punta Morena con un tamaño de grano grueso y Mezcalitos con un tamaño de grano muy grueso, con valores de 78 y 42 cm, respectivamente. A pesar de que los nidos se encontraron más superficiales y con esto expuestos a un mayor contacto con el agua, la porosidad en este tamaño de grano permitió la pérdida del

exceso de humedad y el buen intercambio gaseoso. Por lo tanto, las variaciones milimétricas en el tamaño de grano y la intensidad de las variaciones ambientales tienen una gran influencia en el perfil térmico de los nidos a lo largo de la temporada de anidación.

#### Análisis individual de las variables ambientales sobre las anidaciones.

Como se pudo observar en el último análisis los resultados presentaron un bajo peso estadístico. Por lo tanto analizar los datos de manera individual no es la mejor manera de procesarlos y evaluar la influencia de la interacción de las variables ambientales en las anidaciones. En base a lo anterior sugiero que el mejor análisis para este tipo de datos fue bajo el análisis de MANOVA de tipo III ya que los datos presentaron una naturaleza aleatoria y actúan en conjunto y no de forma individual sobre las anidaciones. Debido a que las diferencias en la temperatura de incubación no solo son producto de una variable aislada, sino de la suma de todos los factores ambientales que influyen a lo largo del periodo de incubación.

#### Estrategias de las tortugas marinas.

La severidad del riesgo para las poblaciones regionales de tortugas marinas por el cambio climático y fluctuación de las variaciones ambientales dependerá en gran medida de su habilidad para adaptarse a las condiciones cambiantes.

Las tortugas marinas pueden responder de tres maneras a la presión selectiva de las condiciones ambientales cambiantes: dispersarse a hábitats adecuados en otros sitios, permanecer y ajustarse por mecanismos de plasticidad fenotípica o adaptarse durante el tiempo por medio de cambios genéticos por selección natural (Gienapp y Visser 2006), una combinación de estas respuestas también es factible. Es probable que la plasticidad fenotípica sea clave en cualquier respuesta adaptativa pues proporciona el potencial para los organismos de responder rápida y efectivamente a las condiciones cambiantes (McCleery *et al.* 2008). Muchas de las respuestas de las especies al cambio climático ya han sido atribuidas a plasticidad fenotípica (Emerson *et al.* 2009).

Por lo tanto las tortugas marinas pueden exhibir cambios espaciales al utilizar diferentes áreas en playas de anidación actuales, escogiendo diferentes playas de anidación o expandiendo su ámbito para incluir playas en límites térmicos más bajos de su distribución actual. Los cambios temporales también son posibles. Las tortugas marinas pueden compensar el efecto de temperaturas cambiantes anidando más temprano o más tarde, o extendiendo la temporada de anidación en ambas direcciones. Si las hembras pueden cambiar los lugares y/o el tiempo de anidación para compensar el aumento en la temperatura, los impactos negativos podrían aminorarse. La respuesta puede variar entre especie dependiendo de la fidelidad al sitio de

anidación y flexibilidad de comportamiento. Mientras que los hábitats adicionales adecuados térmicamente podrían promover una dispersión a latitudes más altas y nuevas áreas de anidación o forrajeo, esto asume que los hábitats son adecuados en otras maneras, ya sea que las playas pueden proporcionar sustratos adecuados para anidación o, para sitios de forrajeo y que las especies presa también sean capaces de trasladarse con los cambios en temperatura.

Un importante paso en el entendimiento de cómo responderán las tortugas marinas al cambio climático es descifrar los límites de la plasticidad fenotípica en las poblaciones de tortugas marinas. La plasticidad en temperatura pivotal es una pregunta central en la determinación de los impactos de la temperatura en las proporciones sexuales, aunque parece que esto está relativamente conservado (Hawkes *et al.* 2009).

Aunque las tortugas marinas han sobrevivido grandes fluctuaciones climáticas durante su historia evolutiva, es poco probable que su plasticidad proporcione una solución de largo plazo si se alcanza un límite más allá del cual su capacidad adaptativa pueda mitigar (Gienapp *et al.* 2008). La rápida tasa de cambio climático actual es preocupante, así como el hecho de que hay múltiples factores estresantes sobre las tortugas marinas y sus hábitats por actividades humanas (Spotila *et al.* 2000).

Por lo tanto la vulnerabilidad de las poblaciones de tortugas marinas al cambio climático en áreas específicas depende no sólo de la respuesta de las tortugas al cambio climático, sino también de la acción humana. Aunque existen trabajos como el que registra Fish *et al.* 2009 donde se registran los aumentos regionales proyectados en temperatura y los cambios en precipitación para la región del Gran Caribe, las condiciones exactas y tiempo de los cambios que enfrentamos no son seguras, sabemos que los cambios en temperatura y precipitación ocurrirán y probablemente afectarán las condiciones futuras de anidación, que deberán ser tomadas en consideración para planificar su manejo.

La adaptación al cambio climático en este contexto es diferente de la adaptación biológica de las tortugas marinas discutida arriba, involucra la aceptación de que algunos cambios en el clima son inevitables y la toma de acciones para mitigar los impactos negativos de esos cambios. Estas medidas de mitigación no son actividades para reducir emisiones, sino más bien acciones tomadas a un nivel local para proteger especies, hábitats o comunidades de los impactos del cambio climático.

Hay muchas acciones que pueden ser utilizadas para reducir la vulnerabilidad de las tortugas marinas y sus hábitats. Se ha registrado que las costas de muchos países del Caribe están bajo intensa presión por el desarrollo costero, tales cambios pueden reducir las condiciones de idoneidad de estas playas para las tortugas marinas. Las medidas que restrinjan el desarrollo al lado de la playa o que impongan regulaciones de distanciamiento que limiten qué tan cerca están los edificios a la línea de marea alta, pueden ser beneficiosas en el mantenimiento de áreas adecuadas de anidación y en el advenimiento de un aumento en el nivel del mar.

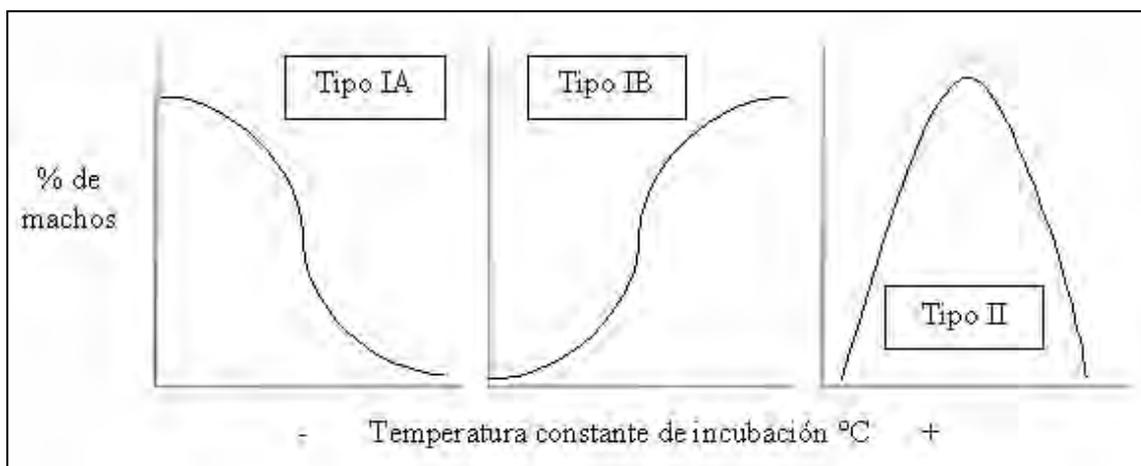
La adaptación al cambio climático puede involucrar el manejo directo de tortugas marinas y sus hábitats, por ejemplo proporcionando áreas sombreadas artificialmente o restaurando la vegetación natural para sombreado, o moviendo nidos a sitios más frescos en la playa o a criaderos considerando los límites térmicos que permiten una incubación exitosa. Al final, la decisión de implementar cualquier medida de adaptación en particular dependerá de circunstancias locales y de lo adecuado de esa acción para las condiciones específicas logísticas y de la sociedad. Como mínimo, sería prudente maximizar el potencial de las tortugas marinas para adaptarse naturalmente, asegurándose de que haya un ámbito de condiciones de anidación disponibles, en términos de diferentes playas y condiciones adecuadas en las playas utilizadas actualmente, evitando la eliminación de la vegetación natural y manejando playas de manera que se minimice la necesidad de nutrir las playas. Junto con los cambios en temperatura y precipitación, una amenaza adicional del cambio climático a las áreas de anidación viene el aumento en el nivel del mar, particularmente en áreas desarrolladas.

## CAPÍTULO 4

### Influencia del calor metabólico sobre la proporción sexual y el porcentaje de eclosión durante la temporada

#### Introducción

En reptiles se han descrito tres tipos de DST: Tipo IA o MF (representativo en tortugas marinas), Tipo IB o FM y Tipo II o FMF (Salame-Mendez y Villalpando 1998) (Figura 40). La proporción sexual en las crías de un nido es determinada por la temperatura a la cual el nido es incubado (Spotila 2004, Davenport 1997). Existe un período termosensible (PTS) el cual ocurre durante el tercio medio del desarrollo embrionario. En este tiempo la temperatura determinará el sexo. Las temperaturas mayores a la “temperatura pivotal” producirán hembras y aquellas temperaturas menores producirán machos. En la temperatura pivotal, se produce una proporción sexual de 1:1. Para la mayoría de las especies de tortugas marinas estudiadas hasta la fecha, pareciera que la temperatura pivotal está cerca de los 28°C y 30°C (Ugalde 1986, Davenport 1997, Godfrey 1997, Hays 2004, Mrosovsky *et al.* 1992). Para el caso de *Chelonia mydas* se han registrado temperaturas pivotaes de 29.4°C (Godfrey 1997) y 29.2°C (Godfrey y Mrosovsky 2006).



**Figura 40.** Tipos de DST reportados en reptiles.

Sin embargo, el significado evolutivo de DST, así como las implicaciones de conservación especialmente en el caso de las tortugas marinas y terrestres sigue siendo un gran misterio.

Una de las maneras en que la variación de la temperatura puede afectar a las tortugas marinas es durante su desarrollo embrionario. La incubación exitosa de los nidos es posible dentro de límites térmicos específicos. Para *Dermochelys coriacea* la temperatura letal se encuentra menor a 25°C y mayor a 35°C (Ugalde 1986, Ackerman 1997), en *Chelonia mydas* la temperatura

letal se ha registrado menor a 20°C y mayor a 38°C, mientras que la temperatura de éxito oscila entre los 27 y 33°C a diferencia de *Caretta caretta* donde la temperatura letal se ha registrado menor a 24°C y mayor a 35°C, mientras que la temperatura de éxito oscila entre los 26 y 34°C (Mrosovsky e Yntema 1980, Dimond 1985, Bustard y Greenham 1968 y Miller y Limpus 1981).

El actual cambio climático genera preocupación ya que con el aumento de las temperaturas las proporciones sexuales podían verse sesgadas hacia hembras. El sesgo hacia las hembras se ha reportado para tortugas marinas en numerosos lugares. Wibbels *et al.* (1999) encontraron este sesgo en neonatos de *Eretmochelys imbricata* en la Isla Buck y un estudio en Bahía con la misma especie estimó que más del 90% de los neonatos eran hembras (Godfrey *et al.* 1999). También se han demostrado sesgos hacia hembras en *Caretta caretta* (Chu *et al.* 2008, Oz *et al.* 2004) y en tortugas planas (*Natator depressus*) (Blamires y Guinea 1997). Por otro lado las proporciones sexuales pueden variar entre estaciones (Mrosovsky *et al.* 1984) y de un año a otro en una misma playa. Diferentes localidades de anidación de la misma especie también pueden producir proporciones sexuales variantes. Binckley *et al.* (1998) encontraron proporciones sexuales en *Dermochelys coriacea* en Playa Grande, Costa Rica, de 74.3 a 100% de hembras, entre 1993 y 1995. Al comparar estos resultados con los datos obtenidos en Surinam se encontró que Costa Rica presentó el sesgo más fuerte en los últimos 25 años.

Varios estudios se han llevado a cabo para tratar de determinar cambios en las proporciones sexuales de neonatos en el tiempo. Hays *et al.* (2003) utilizaron la relación entre temperatura de aire y nido en la Isla Ascensión para predecir las temperaturas de los nidos en los últimos 150 años. Se observó un calentamiento progresivo de la arena en las islas. Ellos determinaron que hubo una producción de 99.4% de hembras para los nidos estudiados durante 1998 y 1999. La investigación en Pasture Bay, Antigua, demostró que las temperaturas del aire han aumentado 0.7°C en los últimos 35 años. Este estudio indicó no sólo un aumento en el porcentaje de hembras de *Eretmochelys imbricata* sino también la producción de machos más baja de todos los tiempos en el 2003 (Glen y Mrosovsky 2004). La relación predicha entre los cambios en la temperatura del nido y las proporciones sexuales de neonatos también ha sido examinada. Hawkes *et al.* 2007 concluyeron que un aumento de 1°C en las temperaturas en Carolina del Norte llevaría a una ultra-feminización de los neonatos y un aumento de 3°C provocaría niveles extremos de mortalidad. Aunque las consecuencias precisas de las temperaturas en aumento no sean bien entendidas, es probable que tengan impactos negativos en las poblaciones de tortugas marinas.

## Objetivo

- Inferir la proporción sexual de los nidos estudiados y la influencia del índice de calor metabólico sobre la proporción de sexo en las crías.

## Metodología

### Estimación de la proporción sexual

Para obtener la proporción sexual en los nidos se realizó un análisis de máxima verosimilitud propuesto por Girodout (1999) y Godfrey *et al.* (2003) mediante el software TSD versión 4.0.3, disponible en la siguiente dirección de red:

<http://www.esu-psud.fr/epc/conservation/TSD/index.html>

Este programa proporciona un método estandarizado para describir y estudiar la DST en reptiles, mediante cinco modelos matemáticos (Hill, Hill\*, A-Logistic, Weibull\*, and Weibull). Para utilizar el software fueron necesarios los siguientes parámetros obtenidos de datos de incubación artificial a temperatura constante en *Chelonia mydas*:

°C = temperatura de incubación constante.

N = número total de huevos de esta temperatura de incubación

M = número de crías macho

F = número de crías hembras

La información disponible fue recabada de las publicaciones hechas por Godfrey y Mrosovsky 2006 y Godfrey 1997 (Tabla 16) y analizada bajo los cinco modelos matemáticos disponibles en el programa. El mejor modelo para el conjunto de datos fue el que presento un menor índice de AIC (Akaike Information Criterion, esta variable mide la bondad de ajuste en los datos).

Finalmente, una vez analizados los datos se selecciono el mejor modelo para estimar las proporciones sexuales en los nidos monitoreados en isla Cozumel. Este cálculo se realizó en función de la temperatura de incubación durante el periodo termosensible (PTS) estimado para cada nido.

**Tabla 16.** Proporción sexual a temperatura constante para *Chelonia mydas*.

Publicación	Temperatura de incubación constante (°C)	Número de huevos (N)	Número de crías machos (M)	Número de crías hembras (F)
Godfrey 1997	27.6	20	20	0
	28.2	19	17	2
	28.5	18	12	6
	29.4	15	8	7
Godfrey y Mrosovsky 2006	30.2	9	2	7
	27.6	20	20	0
	28.2	12	11	1
	28.4	11	9	2
	28.7	14	9	5
	29.4	15	8	7
	30	4	2	2
	30.6	5	0	5

Cálculo del índice de calor metabólico (I.C.M) y su efecto sobre la proporción sexual.

Para evaluar la influencia del calentamiento en los nidos producto del desarrollo embrionario durante el PTS se estimó el I.C.M. Este índice indica el valor de temperatura que se incrementa en cada nido producto del calor generado por el desarrollo embrionario. Para obtener esta información se debe restar al valor obtenido de la temperatura de incubación durante el PTS el valor de la temperatura registrada en la arena para el mismo periodo (Hays *et al.* 2001).

$$\text{I.C.M} = \text{temperatura de incubación en el PTS} - \text{temperatura de la arena en el PTS}$$

Una vez obtenido el I.C.M generado durante el PTS se midió su impacto sobre la proporción sexual mediante la aproximación hecha por Broderick *et al.* (2000). En la cual al promedio de temperatura en la arena registrado durante el PTS se le sumo el I.C.M obtenido para cada nido. Este valor se comparo contra el valor de temperatura pivotal para la serie de datos generado por el software TSD versión 4.0.3 (Girodont 1999). Esta comparación permitió observar el impacto del I.C.M sobre la proporción sexual en los nidos.

### Variación térmica de la arena

- En presencia de la temporada de anidación

Para analizar la variación térmica de las playas de anidación a lo largo de la temporada de anidación se usaron los datos de temperatura registrados por los sensores ubicados a un metro de distancia de cada nido. Posteriormente se calculó el promedio de temperatura quincenal de julio a octubre, periodo en el cual se tuvieron los sensores dentro de los nidos monitoreados en las diferentes playas. Esto permitió registrar la conducta térmica de las playas de anidación durante la temporada.

- Registro de la variación térmica en un ciclo anual

Para registrar la variación térmica en un ciclo anual se colocaron 3 sensores térmicos, uno por cada playa de anidación durante febrero a mayo, lo cual permitió registrar que ocurre en el periodo de ausencia de anidación. Los sensores fueron colocados en la zona de transición entre la mesoplaya y la supraplaya, ya que *Chelonia mydas* anida en un 98% dentro de estas zonas de playa y esporádicamente en zona de infraplaya. Los sensores fueron ubicados a 70 cm, valor promedio de profundidad para los nidos de esta especie. De estos datos se obtuvo la media mensual, misma que fue comparada contra la media mensual de los meses durante la temporada de anidación obtenidos de los sensores térmicos ubicados a un metro de distancia de los nidos monitoreados.

### Relación entre el éxito de eclosión y la temperatura durante la temporada de anidación.

Finalmente se analizaron los valores de temperatura registrados cada hora por los tres sensores térmicos colocados dentro de cada nido durante el periodo de incubación. Esto permitió analizar detalladamente la influencia de las variaciones térmicas durante el periodo de incubación así como la influencia que puede generar la variabilidad en el tamaño de grano en las diferentes playas de anidación y su efecto sobre el porcentaje de eclosión.

## **Resultados**

### Estimación de la proporción sexual.

El modelo matemático que registro el menor índice de AIC fue el de Weibull (AIC=36.48387). Este modelo reveló que la temperatura pivotal o PFM (por sus siglas en inglés) para el conjunto de datos a temperatura de incubación constante en *Chelonia mydas* fue de 29.26°C. Así como también la intensidad de la transición de temperaturas masculinizantes a feminizantes o SMF (por sus siglas en inglés) con un valor de -0.0319164°C. Es decir esta variable está relacionada con el RTT (Rango Transitorio de Temperatura) durante la transición hacia hembras en temperaturas que producen principalmente machos. Lo cual quiere decir que con cada aumento

de 0.0319164°C por encima de la temperatura pivotal la proporción de hembras aumentara progresivamente. Las especies con DST tipo IA como las tortugas marinas presentan valores de SMF negativos, pero su forma es simétrica alrededor del valor de temperatura pivotal. Aun se trabaja en una forma modificada en la logística de la ecuación para considerar la posibilidad de asimetría alrededor del valor de la temperatura pivotal (Godfrey *et al.* 2003). Los cálculos de proporción sexual obtenidos bajo el modelo de Weibull utilizando la temperatura de incubación durante el PTS estimado se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Proporción sexual estimada para los nidos monitoreados en Cozumel durante la temporada de anidación 2011, usando el modelo de Weibull. Temperatura PTS: promedio de temperatura de incubación durante el periodo termosensible; DE: Desviación estándar.

Temperatura PTS	% de hembras	Promedio (DE)	Playa/ Tipo de arena	Época de incubación
30.3	79.22	78.27 (5.09)	P. Chiqueros arena media	julio - agosto
30.02	73.23			
30.27	78.64			
30.38	80.7			
31	89.23			
30.23	77.85			
30.29	79.03			
30.36	80.34			
30.03	73.47			
29.93	71.01			
30.06	74.17	72.37 (7.30)	P. Chiqueros arena media	septiembre - octubre
30.45	81.91			
29.8	67.55			
29.74	65.85			
31.33	92.15	89.89 (4.24)	Mezcalitos arena gruesa a muy gruesa	
30.65	85			
31.38	92.52			
30.81	87.1	83.09 (6.19)	P. Morena arena gruesa	
30.14	75.96			
30.74	86.22			

Los resultados revelan que en cada una de las diferentes playas de anidación en Isla Cozumel la proporción sexual esta sesgada hacia hembras durante toda la temporada. Sin embargo, los nidos incubados en arenas medias (Punta Chiqueros) tienen tendencia a presentar un menor porcentaje de hembras, en especial a finales de la temporada de anidación durante la época de nortes a principios del invierno. Mientras que conforme aumenta el tamaño de grano (Punta Morena y Mezcalitos) la producción de hembras será en mayor.

Como se menciona en el capítulo 3, a mitad de temporada anido un mayor número de tortugas que al inicio o al final de ésta. El objetivo de combinar la información de la proporción de sexos en diferentes períodos con los datos del cambio temporal en la densidad de las anidaciones durante la temporada permite tener una mejor comprensión sobre la cantidad de hembras producidas entre la temporada de lluvias y nortes. En la tabla 18 se puede observar que el total de nidos registrados fue de 2712. El mayor número de estas anidaciones ocurrió en julio y agosto con 1337 y 737 nidos registrados, respectivamente, para ambos meses el promedio del porcentaje de hembras estimado fue de 78.27%. Mientras que para el mes de septiembre el porcentaje de hembras calculado fue mayor con un 81.78%. Sin embargo el número de nidos en este mes disminuyó drásticamente. Por lo tanto aunque el porcentaje de hembras calculado fue mayor en septiembre, el número de hembras producidas fue menor ya que los nidos ovipositados corresponden al 1.48%. Por otro lado aunque en julio y agosto el porcentaje de hembras calculado fue menor, la cantidad de hembras producidas fue mucho mayor debido a que en estos meses ocurrió el 76.48% de los nidos puestos a lo largo de los seis meses que duró la temporada de anidación.

**Tabla 18.** Porcentaje de nidos y hembras calculados para la temporada de anidación 2011.

Periodos de tiempo	Número de nidos	Porcentaje de nidos	Porcentaje de hembras
mayo	1	0.04%	
junio	597	22.01%	
julio	1337	49.30%	78.27%
agosto	737	27.18%	78.27%
septiembre	40	1.47%	81.78%
TOTAL	2712		

#### Cálculo del índice de calor metabólico y su efecto sobre la proporción sexual.

El cálculo del índice de calor metabólico se muestra en la Tabla 19, se puede observar que los nidos aumentaron en promedio su temperatura  $0.78^{\circ}\text{C} \pm 0.28$  durante el periodo termosensible. La influencia de este aumento sobre la proporción sexual confirma el sesgo hacia la producción de hembras obtenido por el modelo matemático de Weibull. Debido a que la temperatura en la arena registrada durante el periodo termosensible registro un promedio de  $29.61^{\circ}\text{C} \pm 0.37$ , el cual se encuentra por encima del valor de temperatura pivotal calculado para *Chelonia mydas* en este trabajo ( $29.26^{\circ}\text{C}$ ). Por lo tanto, al sumar el I.C.M de cada nido al valor registrado en la temperatura de la arena durante el periodo termosensible se obtuvo un promedio de  $30.40^{\circ}\text{C} \pm 0.46$ . Este valor se encuentra muy por encima de la temperatura pivotal registrada en este estudio ( $29.26^{\circ}\text{C}$ ). Lo anterior evidencia que la conducta térmica en las playas de anidación de tortugas marinas tiene un fuerte potencial sobre la proporción sexual (Tabla 20). Por otro lado se

realizó un análisis de correlación entre el índice de calor metabólico y el número de huevos fértiles en cada nidada. Los resultados indicaron que el índice de calor metabólico no está influenciado por el número de huevos fértiles en este estudio ( $r=0.49$  y  $r^2 = 0.24$ ;  $p = 0.05$ ).

**Tabla 19.** Influencia e índice de calor metabólico durante la temporada de anidación.

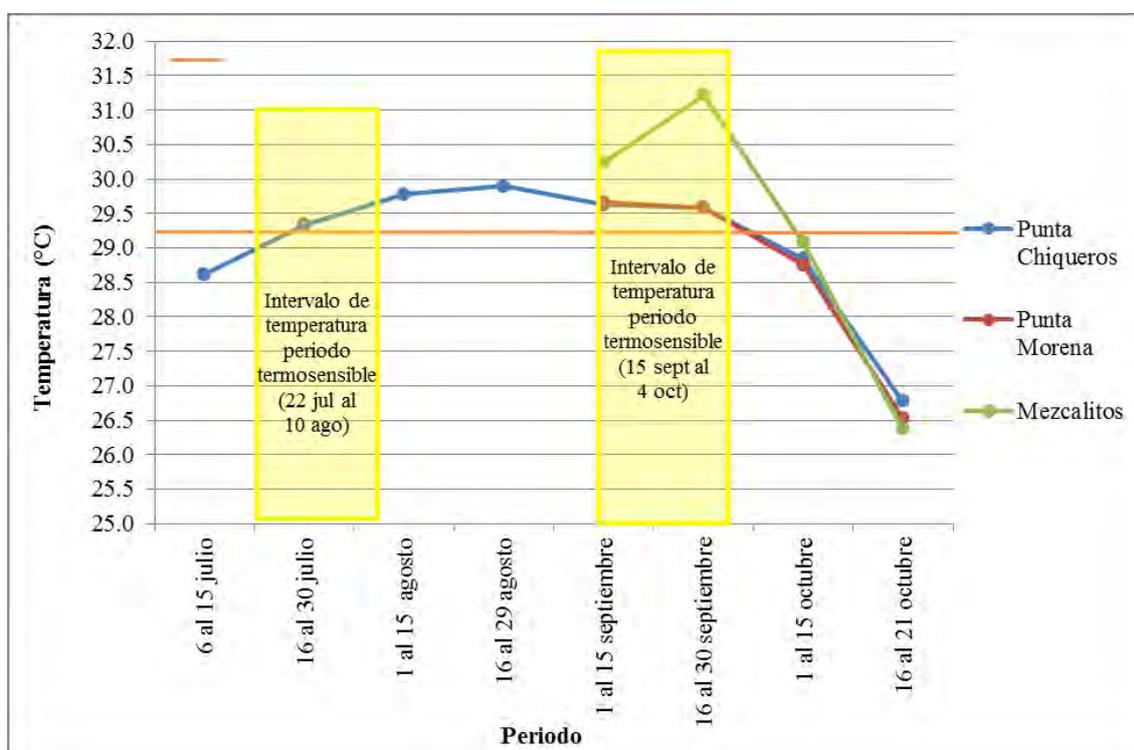
Playa	Época de incubación	Índice de Calor Metabólico (I.C.M)	Temperatura en la arena periodo termosensible	Temperatura en la arena + I.C.M
Chiqueros	julio-agosto	0.84	29.46	30.3
Chiqueros	julio-agosto	0.65	29.37	30.02
Chiqueros	julio-agosto	0.52	29.75	30.27
Chiqueros	julio-agosto	1.22	29.16	30.38
Chiqueros	julio-agosto	0.99	30.01	31
Chiqueros	julio-agosto	0.89	29.34	30.23
Chiqueros	julio-agosto	1.06	29.23	30.29
Chiqueros	julio-agosto	0.78	29.58	30.36
Chiqueros	julio-agosto	0.47	29.56	30.03
Chiqueros	julio-agosto	0.57	29.36	29.93
Chiqueros	septiembre-octubre	0.61	29.46	30.07
Chiqueros	septiembre-octubre	0.74	29.71	30.45
Chiqueros	septiembre-octubre	0.53	29.26	29.79
Chiqueros	septiembre-octubre	0.03	29.71	29.74
Mezcalitos	septiembre-octubre	0.91	30.42	31.33
Mezcalitos	septiembre-octubre	1.03	29.62	30.65
Mezcalitos	septiembre-octubre	0.81	30.57	31.38
Morena	septiembre-octubre	1.25	29.56	30.81
Morena	septiembre-octubre	0.8	29.34	30.14
Morena	septiembre-octubre	0.91	29.82	30.73
	<b>Promedio</b>	<b>0.78</b>	<b>29.61</b>	<b>30.40</b>
	<b>Desviación Estándar</b>	<b>0.28</b>	<b>0.37</b>	<b>0.46</b>

## Variación térmica en la arena

- Durante la temporada de anidación

Los análisis registraron que la proporción sexual varía durante la temporada de anidación entre las playas, favoreciendo una mayor producción de machos en Punta Chiqueros a principios de temporada en julio y hacia finales en octubre donde la temperatura de la arena registró valores por debajo de la temperatura pivotal para la especie calculada en este estudio (29.26°C). Mientras que la producción de hembras se podrá ver favorecida en todas las playas en un mayor lapso de tiempo desde finales de julio hasta mediados de octubre (Figura 41).

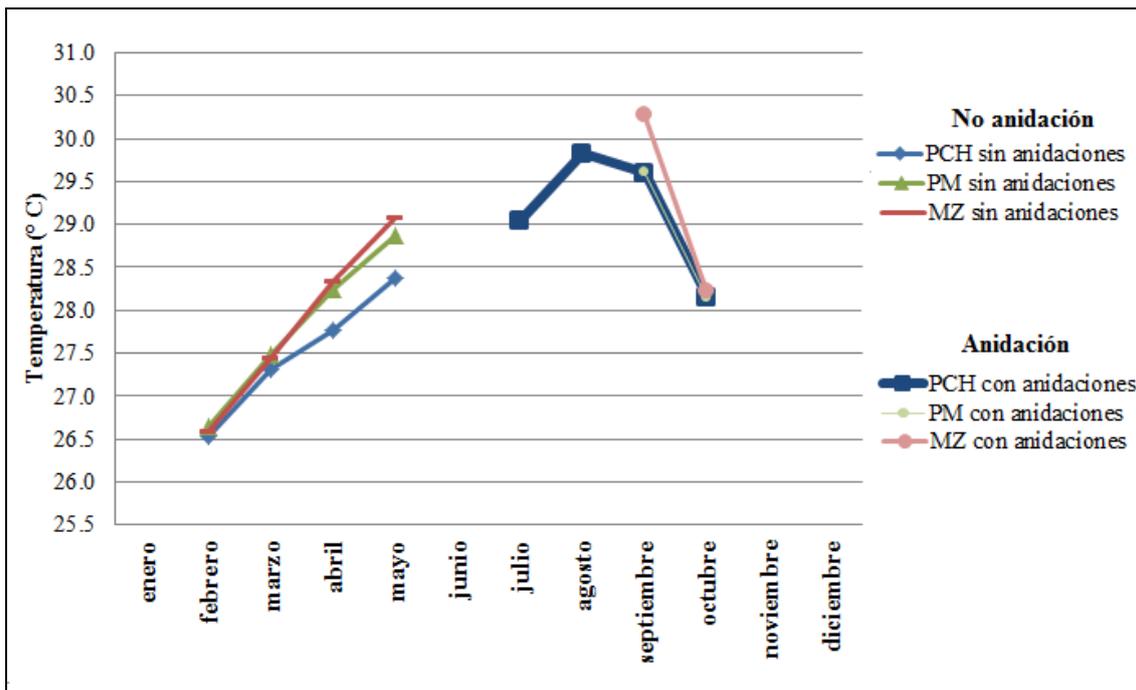
Los nidos ovipositados en julio que fueron monitoreados con sensores térmicos experimentaron un periodo termosensible que abarcó del 22 julio al 10 agosto, en donde la media en la temperatura de la arena superó el valor de la temperatura pivotal. Mientras que los nidos monitoreados con sensores térmicos ovipositados en septiembre experimentaron un periodo termosensible que abarcó del 15 septiembre al 4 de octubre, en este periodo la temperatura de la arena también sobrepasó el valor de la temperatura pivotal. En ambos casos las condiciones térmicas de las playas de anidación sesgaron la proporción sexual hacia la producción de hembras (Figura 41).



**Figura 41.** Variación térmica en las playas de anidación y periodo termosensible de los nidos monitoreados (las columnas en amarillo indican la duración del periodo termosensible).

- Durante un ciclo anual

*Chelonia mydas* arriba formalmente a las playas a partir del mes de julio hasta octubre. Aunque pueden llegar a anidar esporádicamente a finales del mes de mayo y durante el mes de noviembre. La Figura 42 muestra que la temperatura mínima registrada en ausencia de anidación fue de 26.54 °C en la temporada invernal durante el mes de febrero en las 3 playas de anidación. La temperatura aumenta de forma exponencial mes con mes hasta alcanzar una máxima en primavera para el mes de mayo cuando comienzan a registrarse arribos con 28.37°C en Punta Chiqueros, 28.87°C en Punta Morena y 29.07°C en Mezcalitos. La temperatura continúa en incremento hasta el mes de septiembre donde se registraron los máximos valores de temperatura con 29.6°C en Punta Chiqueros, 29.62°C en Punta Morena y 30.27°C en Mezcalitos. Se espera que la temperatura descienda gradualmente conforme se acerca el invierno, sin embargo en el 2011 el descenso abrupto de temperatura debido al aumento en precipitación generado por la tormenta tropical Rina ocasionó un descenso de temperatura de 1.45°C en Punta Chiqueros, 1.48°C en Punta Morena y 2.05°C en Mezcalitos.



**Figura 42.** Registro de la variación térmica de la arena en presencia y ausencia de anidaciones año 2011.

Relación entre el éxito de eclosión y la temperatura durante la temporada de anidación.

Como se ha mencionado en estos dos últimos capítulos el éxito de eclosión en Punta Chiqueros descendió hacia final de temporada. Curiosamente fue la única playa que presento esta conducta ya que Punta Morena y Mezcalitos registraron valores altos en el porcentaje de eclosión en la misma época (Tabla 20). En base a los datos obtenidos se analizó detalladamente que ocurre con la temperatura de incubación en los nidos de Punta Chiqueros con la finalidad de determinar si fue el descenso de la temperatura lo que provocó la muerte de los embriones.

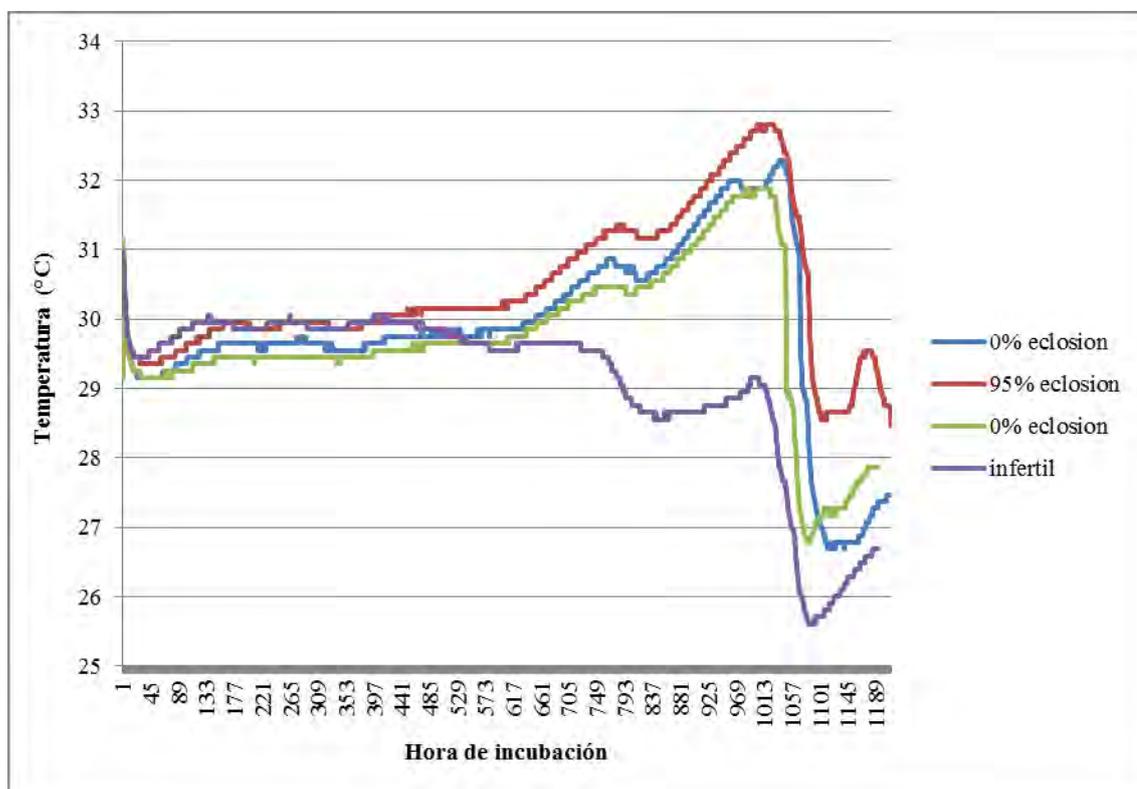
**Tabla 20.** Promedio de la temperatura incubación, temperatura de la arena durante el periodo termosensible y porcentaje de eclosión en cada nido monitoreado durante la temporada de anidación en PCH (Punta Chiqueros), PM (Punta Morena) y MZ (Mezcalitos) los números sombreados indican la baja eclosión a final de temporada en PCH.

julio-agosto				septiembre-octubre			
Playa	Promedio temperatura incubación periodo termosensible (D.E)	Promedio temperatura arena periodo termosensible (D.E)	% Éxito de eclosión	Playa	Promedio temperatura incubación periodo termosensible (D.E)	Promedio temperatura arena periodo termosensible (D.E)	% Éxito de eclosión
PCH	31.31(±0.07)	29.27(±0.02)	96.03	PCH	29.86(±0.03)	29(±0.02)	0
PCH	31.33(±0.07)	29.12(±0.01)	99.36	PCH	30.41(±0.02)	29.18(±0.02)	95.5
PCH	30.30(±0.03)	29.32(±0.01)	65.38	PCH	29.70(±0.03)	29.83(±0.02)	0
PCH	31.11(±0.06)	29.71(±0.01)	100	PCH	29.11(±0.04)	29.10(±0.03)	0
PCH	30.90(±0.05)	29.36(±0.01)	98.4	MZ	30.99(±0.02)	29.73(±0.03)	88.29
PCH	30.90(±0.07)	29.35(±0.02)	96.19	MZ	30.53(±0.02)	29.02(±0.03)	97.94
PCH	31.00(±0.06)	29.45(±0.02)	76.47	MZ	31.07(±0.03)	29.75(±0.04)	94.59
PCH	31.12(±0.06)	29.47(±0.02)	99.25	PM	30.86(±0.03)	29.15(±0.02)	94.79
PCH	30.82(±0.07)	29.50(±0.02)	98.21	PM	30.04(±0.01)	28.73(±0.02)	78.95
PCH	31.93(±0.06)	30.02(±0.02)	97.44	PM	30.84(±0.03)	29.21(±0.03)	98.17

- Descenso de temperatura en los nidos

En la Figura 43 se puede observar un descenso brusco de temperatura para los 4 nidos entre las horas 1005 y 1125 aproximadamente en los cuatro nidos monitoreados en Punta Chiqueros. Los datos correspondientes a cada nido se muestran a continuación:

- Nido rojo (95% eclosión): un descenso de 32.70°C hasta 28.55°C entre la hora 1031 y 1112, es decir un descenso de 4.15°C en 81 horas (equivalente a 3.77 días) o 0.051 °C/hora.
- Nido azul (embriones desarrollados sin eclosionar): un descenso de 32.09°C hasta 26.78°C entre la hora 1053 y 1125, es decir un descenso de 5.31°C en 72 horas (equivalente 3 días) o 0.073 °C/hora.
- Nido verde (embriones desarrollados sin eclosionar): un descenso de 31.78°C hasta 26.78°C entre la hora 1023 y 1084, es decir un descenso de 5°C en 61 horas (equivalente 2.54 días) o 0.081 °C/hora.
- Nido morado (huevos sin embrión): un descenso de 29.05°C hasta 25.61°C entre la hora 1005 y 1091, es decir un descenso de 3.44°C en 86 horas (i.e. 3.58 días) o 0.04 °C/hora.



**Figura 43.** Perfil térmico de la temperatura de incubación y porcentaje de eclosión en los nidos incubados en Punta Chiqueros a final de temporada.

Como se puede observar el descenso de temperaturas en los nidos azul y verde los cuales presentaron embriones totalmente desarrollados sin eclosionar es mayor por 1.16°C y 0.86°C respectivamente que lo registrado en el nido rojo (nido con 95% de eclosión). Además, la temperatura del nido rojo alcanzó un valor mínimo en la temperatura de incubación de 28.55°C. Mientras que los nidos que no lograron eclosionar alcanzaron un valor en la temperatura de incubación inferior que lo registrado en el nido rojo con 26.78°C.

Es decir 1.77°C por debajo de la temperatura mínima registrada en el nido con un 95% de eclosión (nido rojo). Los registros mínimos y máximos de incubación fueron comparados con la temperatura de incubación letal y de éxito (ya sea alta o baja) registrada en algunas especies de tortugas marinas por diversos autores. En la Tabla 21 se observa las temperaturas críticas constantes (°C) reportadas durante la incubación de huevos de dos especies de tortugas marinas.

**Tabla 21.** Límites térmicos reportados para *Caretta caretta* y *Chelonia mydas*. (Yntema y Mrosovsky 1980, Dimond 1985, Bustard y Greenham 1968 y Miller y Limpus 1981).

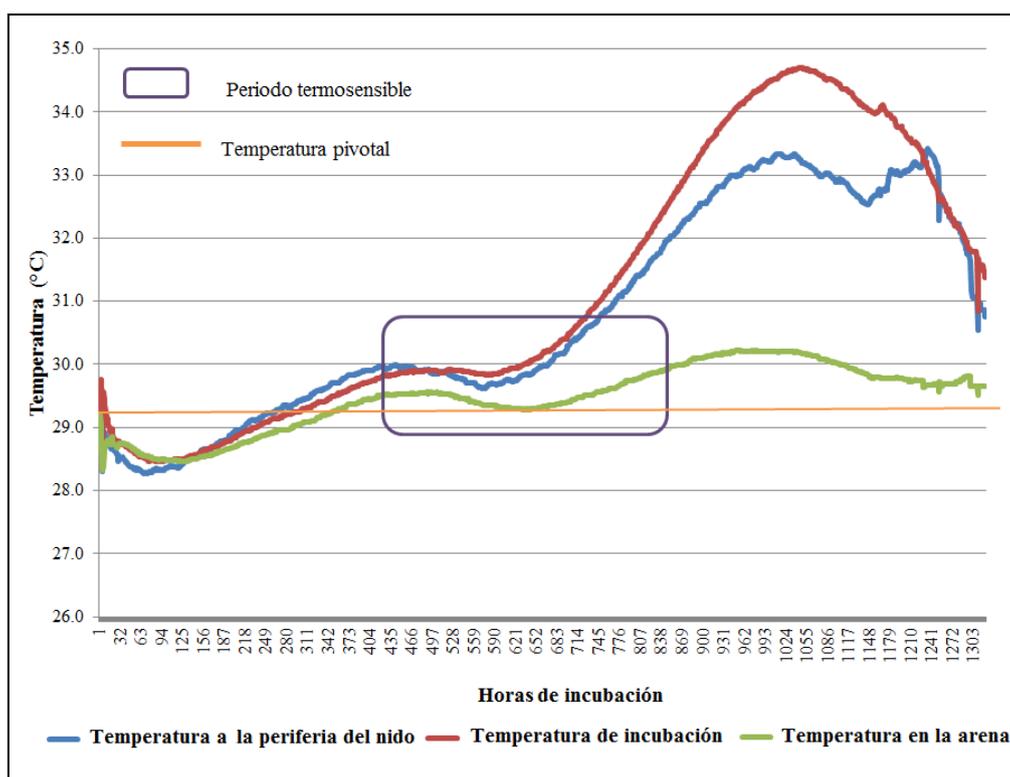
Especie	Temperatura letal		Temperatura de éxito	
	baja	alta	baja	Alta
<i>Caretta caretta</i>	< 24	>35	26	34
<i>Chelonia mydas</i>	<b>&lt;20</b>	<b>&gt;38</b>	<b>27</b>	<b>33</b>

En base a los estudios antes mencionados, podemos confirmar que tanto el nido verde y azul que a finales de la temporada de anidación registraron un éxito de eclosión de 0% y un mínimo en la temperatura de incubación de 26.78°C. Este valor se encuentra cercano al valor térmico en el cual se registra un bajo éxito de eclosión para *Chelonia mydas* (27°C) (Tabla 21). A diferencia del nido con 95% de eclosión el cual alcanzó una temperatura mínima de 28.55°C. Sin embargo, a pesar de las diferencias en temperaturas de incubación entre los nidos ninguno alcanzó los niveles de temperatura letal para la especie. Por lo tanto la temperatura no es la única variable que ocasionó la muerte de las crías en Punta Chiqueros a finales de temporada.

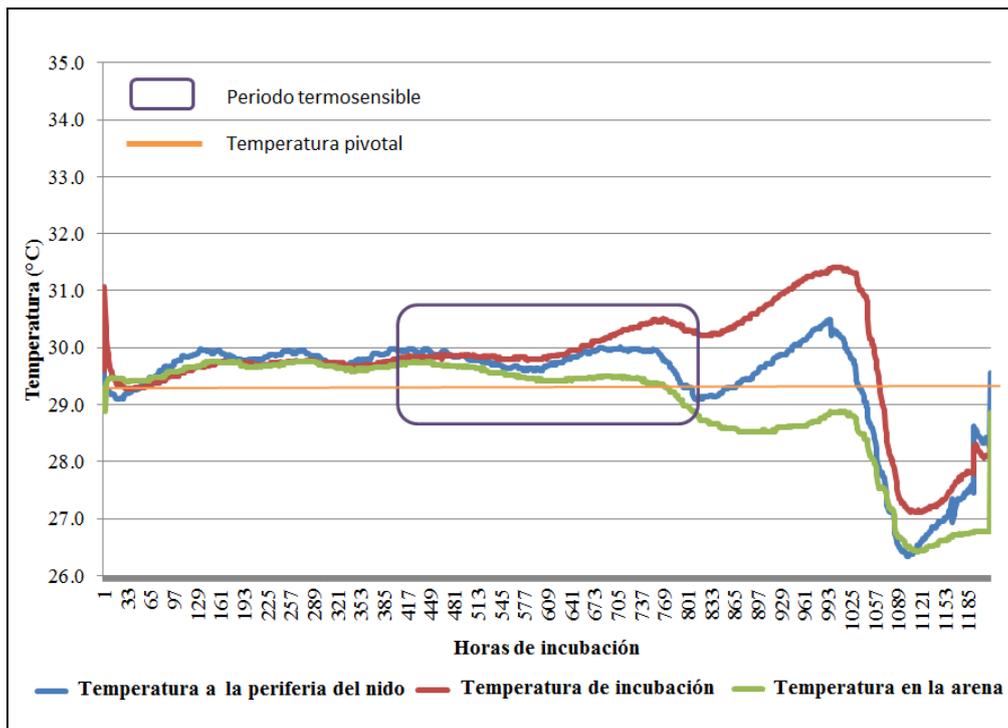
En el caso del nido morado los valores de temperatura de incubación máxima y mínima se encontraron muy por debajo de lo registrado en los demás nidos, incluso de los nidos que no llegaron a eclosionar (verde y azul). Lo anterior se debió a que este nido fue infértil careciendo de una fuente de calor al no presentar embriones en desarrollo. Lo cual generó que alcanzara una temperatura máxima de 29.05°C contra 32.70°C, 32.09°C y 31.78°C reportados en los demás nidos. Y un valor de temperatura mínima de 25.708°C contra 28.55°C, 26.781°C y 26.879°C registrados en los demás nidos.

## Análisis del perfil térmico en Punta Chiqueros durante la temporada de anidación.

A principio de temporada el perfil térmico de Punta Chiqueros alcanzo un registro máximo de temperatura de incubación de 34.66°C, mientras que para final de temporada registro un máximo de 31.35°C. Es decir la temperatura de incubación a final de temporada descendió 3.31°C. La temperatura a la periferia del nido descendió de 33.38 °C a principio de temporada hasta 30.34°C a final de temporada. Es decir la temperatura a la periferia del nido descendió 3.04°C. Mientras que la temperatura de la arena descendió de 30.21°C a principio de temporada hasta 29.75°C a final de temporada. Es decir la temperatura en la arena descendió 0.46°C. Los resultados indicaron que el descenso en la temperatura producto del aumento de lluvia en la temporada de nortes no es la variable que provoco la muerte de los embriones ya que no se llega a los limites de temperatura letal (< 20°C y >38°C) registrados para la especie (Bustard y Greenham 1968 y Miller y Limpus 1981). (Figura 44 y 45).



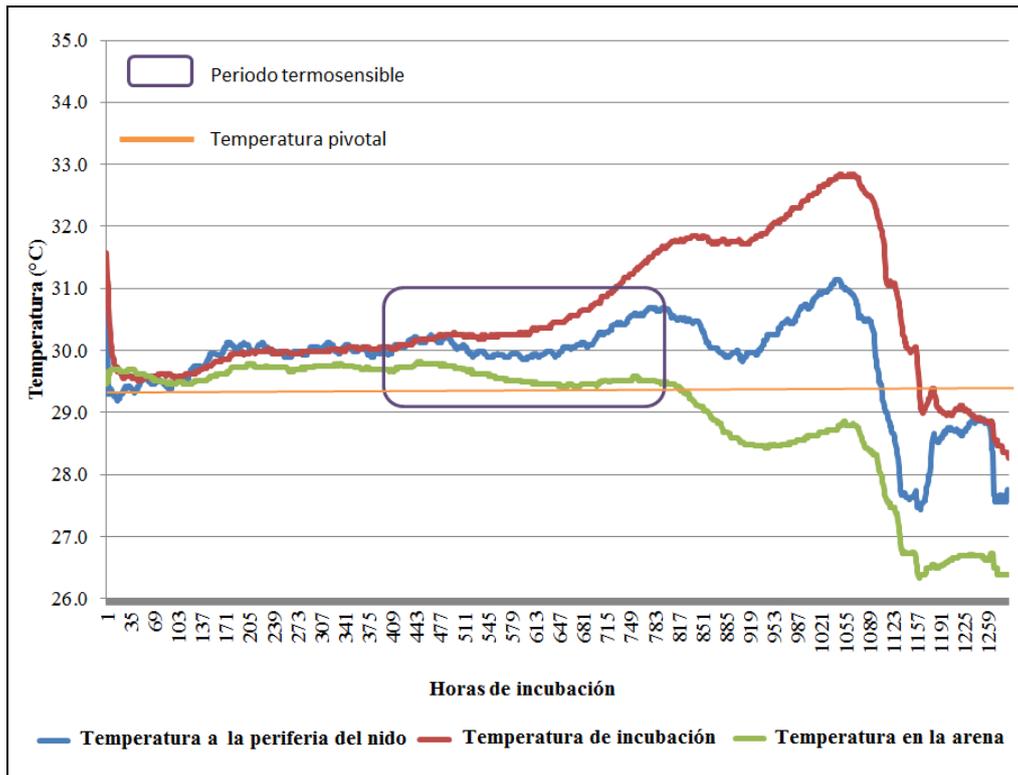
**Figura 44.** Registro de la variación térmica en Punta Chiqueros a principio de la temporada de anidación.



**Figura 45.** Registro de la variación térmica en Punta Chiqueros a final de la temporada de anidación.

#### Análisis del perfil térmico en Punta Morena a final de temporada.

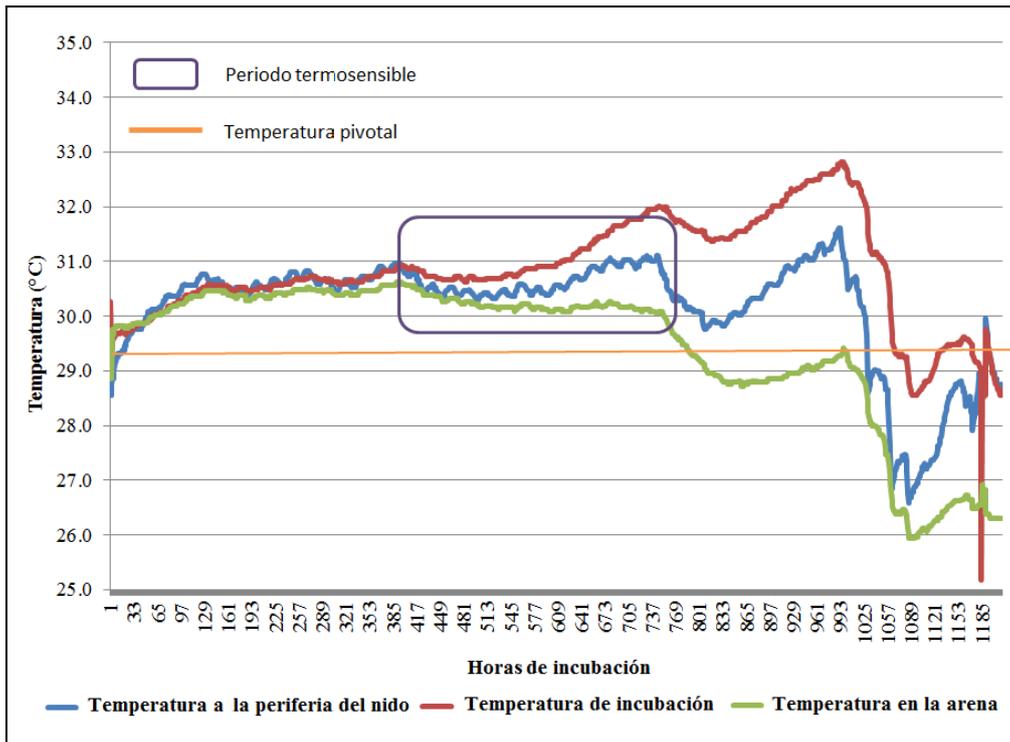
Punta Morena alcanzó un registro máximo de temperatura de incubación a final de temporada de 32.84°C. La temperatura a la periferia del nido a final de temporada registró un máximo de 30.94°C. Mientras que la temperatura de la arena a final de temporada registró un máximo de 29.72°C. Estos valores se compararon contra los registrados en Punta Chiqueros a final de temporada, ya que esta fue la playa con los registros más bajos de temperatura y eclosión. Los resultados mostraron que la temperatura de incubación en Punta Morena fue 1.49°C más alta que en Punta Chiqueros. En cuanto a la temperatura registrada a la periferia del nido en Punta Morena la temperatura fue 0.6 °C más alta que en Punta Chiqueros. Mientras que la temperatura de la arena registrada a la periferia en Punta Morena no mostró mucha variación con 0.03°C más que en Punta Chiqueros (Figura 46). Por lo tanto el aumento de lluvia en la temporada de nortes no afectó la temperatura de la arena ya que esta registró valores similares a los registrados en Punta Chiqueros, así como tampoco afectó el porcentaje de eclosión ya que Punta Morena registró valores altos de eclosión a diferencia de Punta Chiqueros a final de temporada.



**Figura 46.** Registro de la variación térmica en Punta Morena a final de la temporada de anidación.

#### Análisis del perfil térmico en Mezcalitos a final de temporada.

Mezcalitos alcanzó un registro máximo de temperatura de incubación a final de temporada de 32.60°C. La temperatura a la periferia del nido a final de temporada registró un máximo de 31.37°C. Mientras que la temperatura de la arena a final de temporada registró un máximo de 30.56°C. Estos valores se compararon contra los registrados en Punta Chiqueros a final de temporada, ya que esta fue la playa con los registros más bajos de temperatura y eclosión. Los resultados indicaron que la temperatura de incubación en Mezcalitos fue 1.25°C más alta que en Punta Chiqueros. En cuanto a la temperatura registrada a la periferia del nido en Mezcalitos la temperatura fue 1.03°C más alta que en Punta Chiqueros. Mientras que la temperatura de la arena registrada en Mezcalitos fue 0.81°C más alta que en Punta Chiqueros (Figura 47). Por lo tanto el aumento de lluvia en la temporada de nortes no afectó la temperatura de la arena ya que este registro valores más altos que los registrados en Punta Chiqueros, así como tampoco afectó el porcentaje de eclosión ya que Mezcalitos y Punta Morena registraron valores altos de eclosión que Punta Chiqueros a final de temporada.



**Figura 47.** Registro de la variación térmica en Mezcalitos a final de la temporada de anidación.

Una prueba de correlación entre la temperatura de incubación y la temperatura de la arena indico una asociación fuerte para los nidos monitoreados a principio de la temporada de anidación (julio a agosto). A diferencia de los valores de correlación para los nidos monitoreados a finales de temporada (septiembre a octubre) donde los resultados mostraron niveles bajos de asociación entre ambas variables. Esto fue debido a que las diferencias entre la temperatura de la arena y la temperatura de incubación fueron menores a finales de temporada con un promedio de 1.07°C que lo registrado a principios con un promedio 1.61°C. Por lo tanto como se ha podido confirmar el exceso de lluvia no es la única variable que genero un descenso abrupto en la temperatura del sustrato, más bien limita el incremento en la temperatura de incubación, es decir “amortigua el efecto del calor metabólico” (Tabla 22).

**Tabla 22.** Correlación entre la temperatura de la arena y la temperatura de incubación en cada nido monitoreado durante la temporada de anidación en PCH (Punta Chiqueros), PM (Punta Morena) y MZ (Mezcalitos).

Playa	Periodo	r	n	g.l.	t	p	% Eclosión	Estado
PCH	jul-ago	0.8943	2596	2594	101.79	<0.001	76.47	eclosionado
PCH	jul-ago	0.8891	2587	2585	99	<0.001	100	eclosionado
PCH	jul-ago	0.8558	2497	2495	83	<0.001	97.44	eclosionado
PCH	jul-ago	0.9925	2492	2490	404.28	<0.001	96.03	eclosionado
PCH	jul-ago	0.9331	2452	2450	128	<0.001	98.21	eclosionado
PCH	jul-ago	0.9303	2494	2492	127	<0.001	98.4	eclosionado
PCH	jul-ago	0.9182	2491	2489	115.65	<0.001	99.36	eclosionado
PCH	jul-ago	0.8468	2374	2372	77.52	<0.001	96.19	eclosionado
PCH	jul-ago	0.8275	2496	2494	74	<0.001	99.25	eclosionado
PCH	jul-ago	0.9292	2606	2604	128.35	<0.001	65.38	eclosionado
PCH	sept-oct	0.4093	2426	2424	22	<0.001	0.0	fase embrionaria
PCH	sept-oct	0.2513	2426	2424	12.78	<0.001	95.5	eclosionado
PCH	sept-oct	0.396	2384	2382	21	<0.001	0.0	fase embrionaria
PCH	sept-oct	0.9949	2384	2382	483	<0.001	0.0	huevos sin desarrollo
PM	sept-oct	0.0966	2528	2526	5	<0.001	94.79	eclosionado
PM	sept-oct	0.329	2570	2568	18	<0.001	78.95	eclosionado
PM	sept-oct	0.0071	2522	2520	-0.359	0,719	98.17	eclosionado
MZ	sept-oct	0.5661	2342	2340	33	<0.001	88.29	eclosionado
MZ	sept-oct	0.058	2424	2422	3	0,004	97.94	eclosionado
MZ	sept-oct	0.4297	2376	2374	23	<0.001	94.59	eclosionado

## Discusión y conclusiones

### Estimación de la proporción sexual.

Los resultados obtenidos de la producción de sexos evidenciaron que Isla Cozumel tiene una fuerte tendencia hacia la producción de hembras a lo largo de toda la temporada de anidación. Sin embargo, las diferencias en el tamaño de grano y época de incubación representan un papel importante. Es decir, aunque la arena tiene un fuerte potencial térmico al registrar valores superiores a la temperatura pivotal calculada para este estudio (29.26°C), es el tamaño de grano el que marca la intensidad del sesgo. Punta Chiqueros la playa con menor tamaño de grano (arenas medias) es la playa donde la producción de hembras fue menor (78.27% ±5.09). Este

patrón se intensificó hacia final de temporada, al disminuir un 6% más el porcentaje de hembras ( $73.37\% \pm 7.30$ ) debido al descenso de temperatura en la temporada de nortes. Sin embargo, en este mismo periodo de tiempo las playas con mayor tamaño de grano a diferencia de Punta Chiqueros registraron un mayor porcentaje de hembras. En Punta Morena (arena gruesa) se registró un  $83.09\% \pm 6.19$  y en Mezcalitos la playa con el mayor tamaño de grano (arena gruesa a muy gruesa) se registró el porcentaje más alto con  $89.89\% \pm 4.24$ . Por lo tanto el sesgo hacia la producción de hembras incrementará conforme aumente el tamaño de grano. Esto se debe a que las arenas gruesas presentan un mayor espacio intersticial entre sus granos haciéndolas más porosas lo cual favorece la aireación e impide que la temperatura en los nidos descienda producto del exceso de humedad. Es por esto que Punta Chiqueros la playa con arenas medias y menor permeabilidad el tamaño intersticial entre los granos es reducido, lo cual impide la aireación y la pérdida de humedad favoreciendo la disminución de la temperatura en los nidos. Si a esto aumentamos un exceso de humedad en el sustrato producto de la depresión tropical Rina a finales de temporada el resultado serán mayores niveles de humedad y el descenso en la temperatura del nido favoreciendo la producción de machos. Sin embargo, aunque el sesgo hacia la producción de hembras incrementará conforme aumente el tamaño de grano, el análisis de la proporción sexual durante la temporada de anidación en base al porcentaje de nidos ovipositados en cada mes reveló que el impacto del aumento en la proporción de hembras estará sujeto al porcentaje de nidos ovipositados en cada periodo de tiempo. Tal es el caso de lo ocurrido en la temporada de anidación 2011 en donde aunque el porcentaje de hembras calculado fue mayor durante septiembre-octubre la cantidad de nidos ovipositados en este periodo fue de 1.47% por lo tanto el número de hembras producido fue mínimo.

En conclusión en arenas medias a finas se favorecerá la producción de machos, y en presencia de el incremento de fenómenos hidrometeorológicos la proporción de machos aumentará. Mientras que en arenas gruesas a muy gruesas, al presentar un mayor espacio intersticial entre sus granos se favorecerá el paso del aire y con esto la pérdida del exceso de humedad producto del incremento en precipitación. Evitando el descenso de temperatura en los nidos, lo cual propiciara la producción de hembras. El verdadero impacto del sesgo en la proporción de sexos producto de las variaciones ambientales se verá influenciado en base al número de huevos ovipositados en los distintos periodos de la temporada de anidación.

#### Cálculo e influencia del índice de calor metabólico y su efecto en la proporción sexual.

Trabajos anteriores han reportado que a lo largo de una misma temporada de anidación las proporciones sexuales esperadas varían así como entre diferentes años. En Costa Rica la proporción sexual de *Chelonia mydas* fue estimada en un 67 % hembras en 1980, 10 % en 1986 y 40% en 1988 (Spotila *et al.* 1987 y Horikoshi 1992). En la Guyana Francesa la

proporción sexual de *Dermochelys coriacea* varió de 0 % a 87.5 % en los años 1981 y 1983 a 1985 (Rimblot Baly *et al.* 1987). Como se ha mencionado anteriormente en este estudio los valores promedio en la temperatura de la arena a lo largo de la temporada de anidación se encontraron la mayor parte del tiempo sobre el valor de temperatura pivotal para la especie calculado en este estudio (29.26°C). La conducta térmica en las playas de anidación, es decir los máximos y mínimos en los valores de temperatura que se puedan registrar producto de factores geográficos y físicos como tamaño de grano, humedad, sumado a el aumento de temperatura provocado por el desarrollo de los embriones o I.C.M tendran un fuerte potencial sobre la proporción sexual de las crías. Ya que si la suma de estos factores sobrepasaran el valor de temperatura pivotal tal y como paso en este estudio, la producción sexual se verá sesgada hacia hembras. El registro de la variación quincenal de la temperatura en la arena mostro que solo en un periodo corto de tiempo al inicio y final de la temporada de anidación los valores de temperatura en la arena descendieron por debajo de la temperatura pivotal. El I.C.M en nidos incubados en este periodo de tiempo no sesgara la producción de sexos hacia hembras, al contrario, la proporción de machos seria favorecida.

#### Variación térmica de la arena

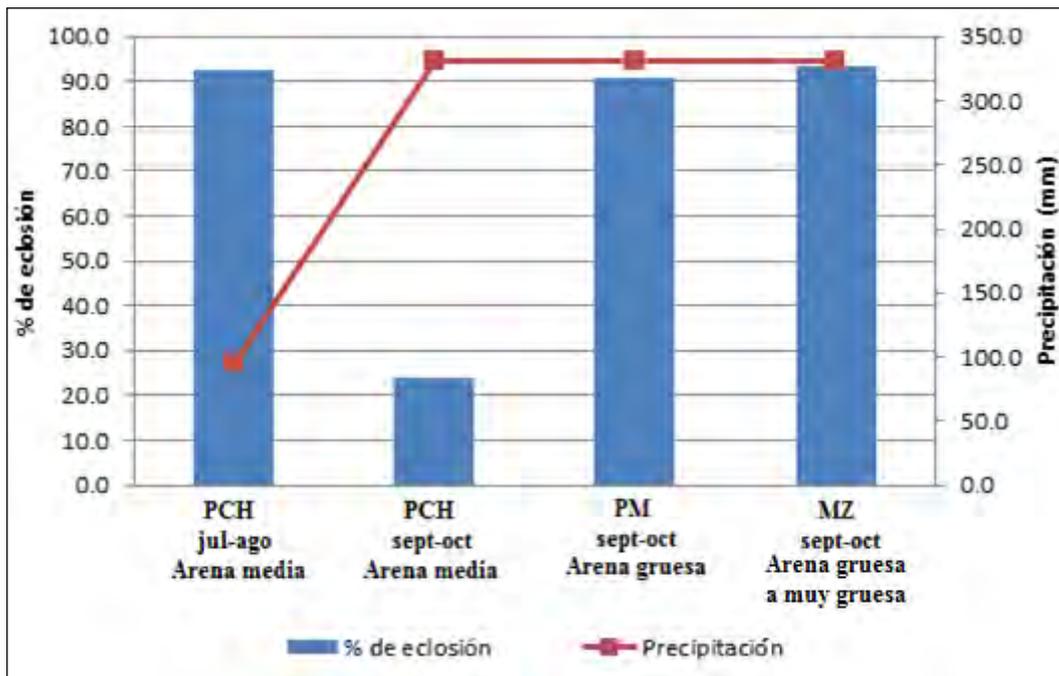
Según lo publicado por Bustard y Greenham 1968 y Miller y Limpus 1981, los límites térmicos de incubación se encuentran entre los 27°C (baja eclosión) y 33°C (alta eclosión). En Cozumel la anidación ocurrió durante verano-otoño (julio a octubre) donde la temperatura del sustrato alcanzo temperaturas desde los 29.05°C hasta los 30.27°C y se ausento durante invierno-primavera (febrero a mayo) cuando la variación de la temperatura en la arena oscila desde los 26,54°C a los 29.07°C. En este periodo las temperaturas en la arena se encontraron por debajo del límite térmico minimo durante febrero con 26.54°C hasta 26.58°C y sobre la temperatura de bajo éxito de eclosión con 27.31°C hasta 28.33 durante marzo y abril. Por lo tanto se puede concluir que el ciclo reproductor en tortugas marinas está íntimamente sincronizado con las variaciones térmicas que experimentan las áreas de anidación. Ya que *Chelonia mydas* anido cuando las condiciones térmicas registraron intervalos que favorecieron la incubación exitosa de los huevos.

Es importante aclarar que el efecto negativo en el porcentaje de eclosión producto de eventos hidrometeorológicos no solo afectará a las nidadas puestas hacia fin de temporada, ya que la temporada de huracanes en el Atlántico coincide con la temporada de anidación de tortugas marinas por lo tanto la presencia de anomalías puede ocurrir de manera aleatoria no solo durante el otoño (septiembre, octubre y noviembre) si no también durante el verano (junio, julio, agosto), como ocurrió en el 2004 con el paso del huracán Iván en el mes de junio por el estado

de Quintana Roo, según los datos históricos registrados en la estación meteorológica de la base aérea militar en Cozumel.

### Relación entre el éxito de eclosión y la temperatura de la arena durante la temporada de anidación.

El efecto negativo del aumento de precipitación producto de la depresión tropical Rina, así como el descenso en la temperatura de la arena y en la temperatura de incubación a final de temporada se presentó únicamente en los nidos incubados en arenas medias (Punta Chiqueros). Por lo tanto, si bien es cierto que los nidos con un 0% de eclosión en Punta Chiqueros registraron un mínimo en la temperatura de incubación de 26.78°C, ligeramente por debajo del valor térmico mínimo en el cual se registra un bajo éxito de eclosión (27°C) según Miller y Limpus (1981). Los nidos no estuvieron expuestos al intervalo de temperatura letal registrado para la especie (<20°C y >38°C) (Bustard y Greenham 1968). Por lo tanto no fue solamente la disminución en la temperatura de incubación lo que causó la muerte de las crías. Las diferencias en el tamaño de grano así como las variaciones ambientales tienen un fuerte impacto en la supervivencia de las crías. Es decir el año 2011 presentó anomalías en los patrones de precipitación al alcanzar 591mm de lluvia durante el mes de octubre (ligeramente por debajo del máximo mensual histórico en Cozumel 667.4 mm). En conclusión las diferencias existentes en el tipo de grano influenciarán la temperatura de incubación así como el intercambio gaseoso entre los embriones y el ambiente. Lo anterior se verá reflejado en el porcentaje de eclosión. Por lo tanto las playas más adecuadas para amortiguar los efectos negativos en el porcentaje de eclosión producto del incremento en los fenómenos hidrometeorológicos serán las playas que presenten arenas gruesas a muy gruesas y no playas con arenas finas a medias tal y como se puede observar en la Figura 48.



**Figura 48.** Efecto de la precipitación sobre el éxito de eclosión en los diferentes tipos de sedimento PCH (Punta Chiqueros), PM (Punta Morena) y MZ (Mezcalitos).

### Estudio térmico de los nidos de *Chelonia mydas* en Isla Cozumel en el 2001

En el 2001 se realizó en Cozumel el primer estudio con sensores térmicos en nidos transplantados. Vázquez Luna (datos no publicados), realizó la colocación de sensores en nidos de corral y comparó el éxito de eclosión de 20 nidos *in situ* vs nidos de corral monitoreados con sensores. Los resultados obtenidos indicaron que el porcentaje de eclosión es menor en nidadas transplantadas con un 70% de eclosión que en nidos *in situ* con un 95.77 % de eclosión (n=20, 5 de *Chelonia mydas* y 15 de *Caretta caretta*).

El registro de la temperatura de la arena en las nidadas trasplantadas de *Chelonia mydas* en el 2001 mostró un comportamiento estacional directamente proporcional a la temperatura ambiental, observándose las temperaturas más altas en Junio y Julio (30.41°C y 30.59°C, respectivamente), lo cual coincidió con el pico de anidación de la especie. La temperatura descendió en agosto (29.8°C), y en septiembre, se registró la temperatura más baja 27.5°C, esto debido a que este fue el mes del año que presentó la mayor precipitación. Sin embargo diez años después en el 2011 el pico de anidación ocurrió en el mes de agosto periodo en el cual se registraron los valores más altos de temperatura, mientras que la temperatura mínima se registró en octubre debido a la presencia de la depresión tropical Rina en la Isla. Lo cual nos habla del desplazamiento de las temporadas de animación. Las temperaturas más calidas diez años

después se desfasaron de julio a agosto. Tal patrón puede estar siendo influenciado por los cambios estacionales producto del calentamiento global.

En cuanto a la proporción sexual y temperatura pivotal de *Chelonia mydas* en el 2001 se obtuvo el periodo termosensible de 10 nidadas trasplantadas de *C. mydas*. Se utilizó como valor de temperatura pivotal 28.26 °C propuesto por Ackerman (1997) y Mrosovsky *et al.* (1984) e intervalos transitorios de temperatura que indican que valores por arriba de los 30°C producirán 100% hembras y por debajo de 28°C la producción es de 100% machos. Los resultados indicaron que esta especie comienza a anidar a finales de mayo en donde se registro menos del 5% de las anidaciones totales por temporada; en mayo la temperatura de la arena fue de 28.5°C por lo que la producción de sexos estuvo cercana al 50%. En junio se presentó el 10% del total de las anidaciones; la temperatura de la arena fue de 30.41°C, por lo que en este mes la producción de sexos estuvo cercana al 70% de hembras, en este mes se registra una precipitación promedio de 190.0mm. Para julio las anidaciones llegaron a su pico observándose el 60% del total de las nidadas de la temporada; la temperatura de la arena aumento por encima de los 30.41°C, por lo que la producción de sexos estimada fue de 100% hembras. Para el mes de agosto las anidaciones disminuyeron a un 20%, la temperatura de la arena disminuyó (29.8°C), por lo que la producción de sexos estuvo cercana al 70% de hembras. En septiembre, las anidaciones fueron mínimas representando cerca del 5% del total, la temperatura ambiente disminuyó ya que se presentó una mayor precipitación y comenzó la temporada de huracanes. La temperatura de la arena también disminuyó presentándose el valor más bajo de la temporada 27.7°C, por lo que la proporción sexual calculada estuvo cercana a 100% machos.

En la Tabla 23 se puede observar la comparación de la proporción sexual calculada en el 2001 con el valor de temperatura pivotal propuesto para la especie por Ackerman (1997) y el valor de temperatura pivotal obtenido mediante el software propuesto por Girodant (2012) en el 2011, mediante los valores de temperatura registrados en los nidos durante el PTS. Los resultados indican que la proporción de hembras está aumentando hacia finales de temporada en lugar de disminuir ya que en estos meses empieza la temporada invernal. Por lo tanto esta podría ser una señal del efecto actual del calentamiento del planeta y sus efectos negativos sobre las proporciones sexuales en tortugas marinas. Sin embargo es importante estandarizar un método para la toma de lecturas de temperatura en las playas de anidación, así como reconocer un valor de temperatura pivotal único para la especie. Lo anterior permitirá hacer comparaciones verídicas de lo que ocurre térmicamente en las playas así como también mejorar los planes de manejo.

**Tabla 23.** Cálculo del porcentaje de hembras durante el año 2001 y 2011.

Mes	% Hembras T. pivotal 28.26°C en el 2001	% Hembras T. pivotal 29.26°C en el 2011
Mayo	50%	sin datos
Junio	100%	
Julio	100%	78.27%
Agosto	70%	
Septiembre	0%	
octubre	sin datos	81.78%

## CAPÍTULO 5

### **Recomendaciones en el manejo de nidadas para los campamentos tortugueros**

El conocimiento de la proporción sexual en tortugas marinas es un componente importante para cualquier plan de manejo. Con la información obtenida en este estudio pueden ser mejoradas las técnicas utilizadas en los programas de conservación. Por lo tanto antes de comenzar con el manejo de los nidos se recomienda considerar los siguientes pasos:

1. Identificar las principales playas de anidación de tortugas marinas y las que registren mayor abundancia. es decir, mayor numero de nidos por área.
  
2. Una vez identificadas las principales playas de anidación realizar los siguientes estudios:
  - a) Levantamiento de perfiles topográficos: conocer la dinámica costera de una playa de anidación es fundamental ya que indicara ocurren fenómenos erosivos (perdida de playa) y fenómenos de acreción (acumulación de arena en la playa) durante el periodo de anidación. La presencia de estos procesos durante los meses pico de anidación, pueden generar perdida de nidos e impactar negativamente el éxito reproductivo de la especie.
  - b) Análisis granulométrico: en este estudio se ha comprobado que a lo largo de una línea costera pueden presentarse una amplia gama ganulometrica, la cual tienen el potencial de afectar la eclosión y el microclima de los nidos. En este estudio se registro que el mejor tipo de arena para incubar huevos en presencia de anormalidades en los fenómenos hidrometeorológicos es la arena gruesa, ya que presenta mayor porosidad, permeabilidad y facilitan el intercambio gaseoso de los embriones con el ambiente.  
Por lo tanto es importante caracterizar el clima de las áreas de anidación, así como las propiedades físicas del sustrato tales como: humedad, tamaño de grano y conductividad térmica del sustrato para poder realizar mejoras en los planes de manejo que permitan responder ante anormalidades ambientales.
  
3. Monitorear que los valores de temperatura y humedad que alcanza el área donde se pretenden trasplantar los nidos alcancen los valores de las áreas de anidación. Una vez trasplantados se deben seguir monitoreando los valores de temperatura y humedad durante el periodo de

incubación. Esto permitirá evaluar la influencia del calor metabólico de los embriones sobre la proporción sexual de las crías.

4. La distancia entre nidos trasplantados no debe ser menor a un metro. Aumentar la distancia evitara que la temperatura de incubación entre nidadas aumente producto del calor metabólico generado por los embriones.
5. Se debe registrar detalladamente los porcentajes de eclosión a lo largo de la temporada de anidación y su relación con las variaciones ambientales. Es importante recordar que embriones muertos durante los primeros estadios indicaran que la incubación de las crías fue interrumpida en las primeras horas de desarrollo (Miller 1985). De igual manera se debe de registrar el porcentaje de embriones encontrados en estadios de desarrollo avanzados durante la temporada de anidación. Esto permitirá evaluar en que momento del periodo de incubación las variables ambientales a gran escala o en el microclima de los nidos tuvieron un efecto negativo sobre el éxito de eclosión de las crías.

# ANEXOS

## **ANEXO 1**

### **Fotos**



**Imagen 1.** Levantamiento de perfiles topográficos



**Imagen 2.** Registro de las variables microambientales en los nidos.



**Imagen 3.** Colocación de los sensores térmicos al momento de la oviposición



**Imagen 4.** Sensores térmicos utilizados en los nidos



**Imagen 5.** Ubicación de los sensores térmicos en los nidos.



**Imagen 6.** Registro del éxito de eclosión en los nidos.



**Imagen 7.** Disminución en el éxito de eclosión hacia final de temporada.



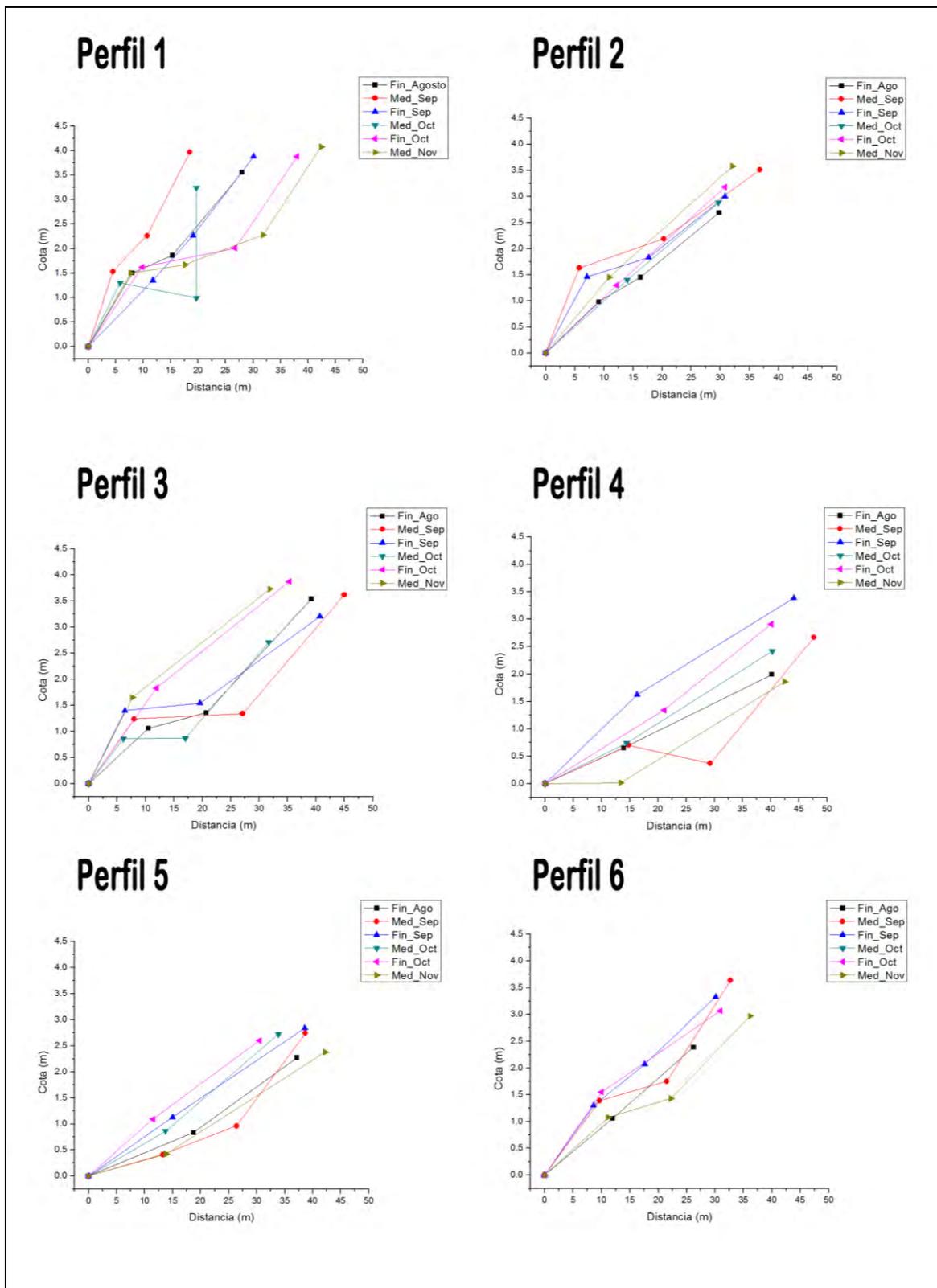
**Imagen 8.** Liberación de crías de *Chelonia mydas*.



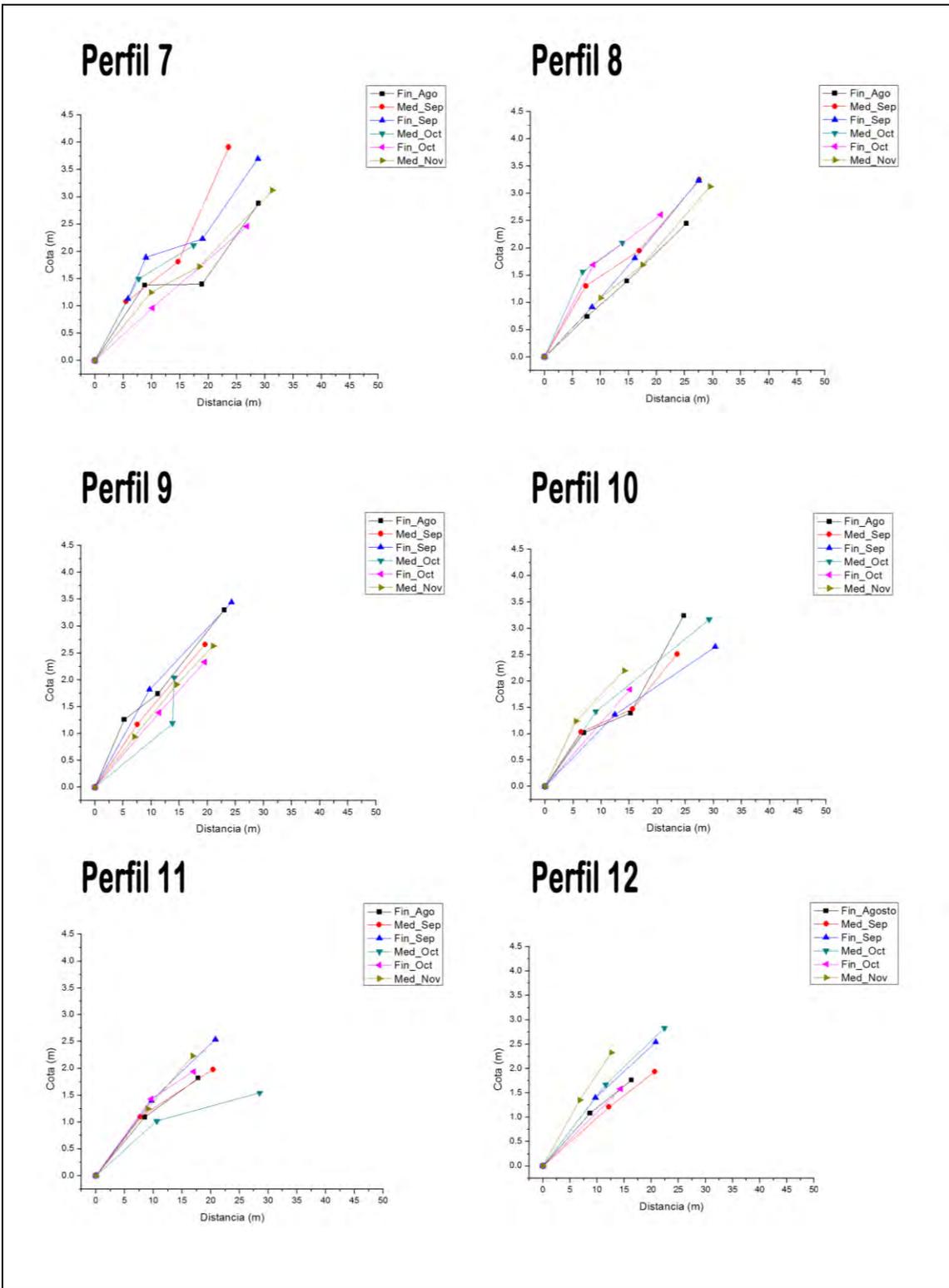
**Imagen 9.** Hembra de *Chelonia mydas* anidando.

## **ANEXO 2**

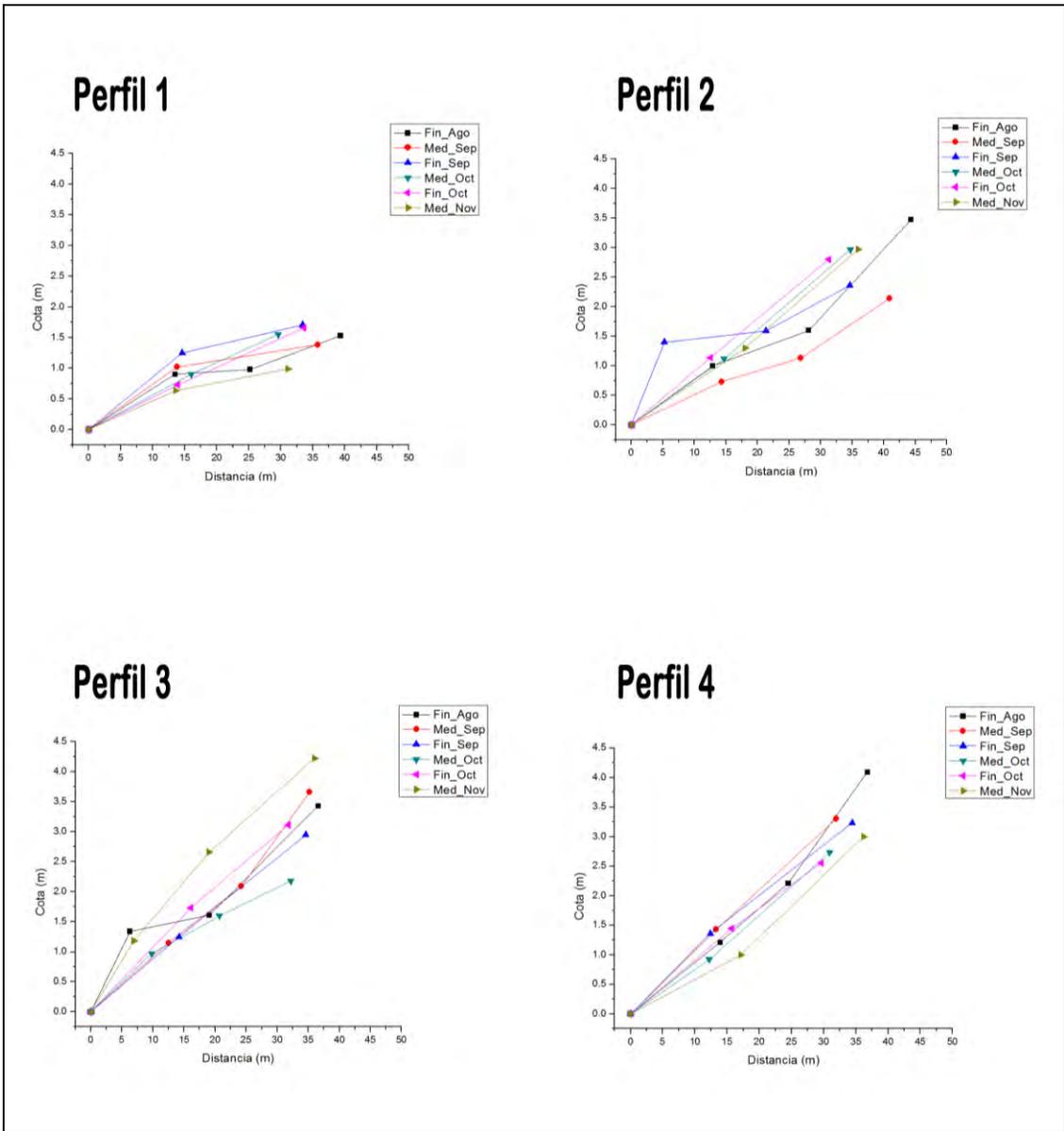
### **Perfiles topográficos de las playas de anidación**



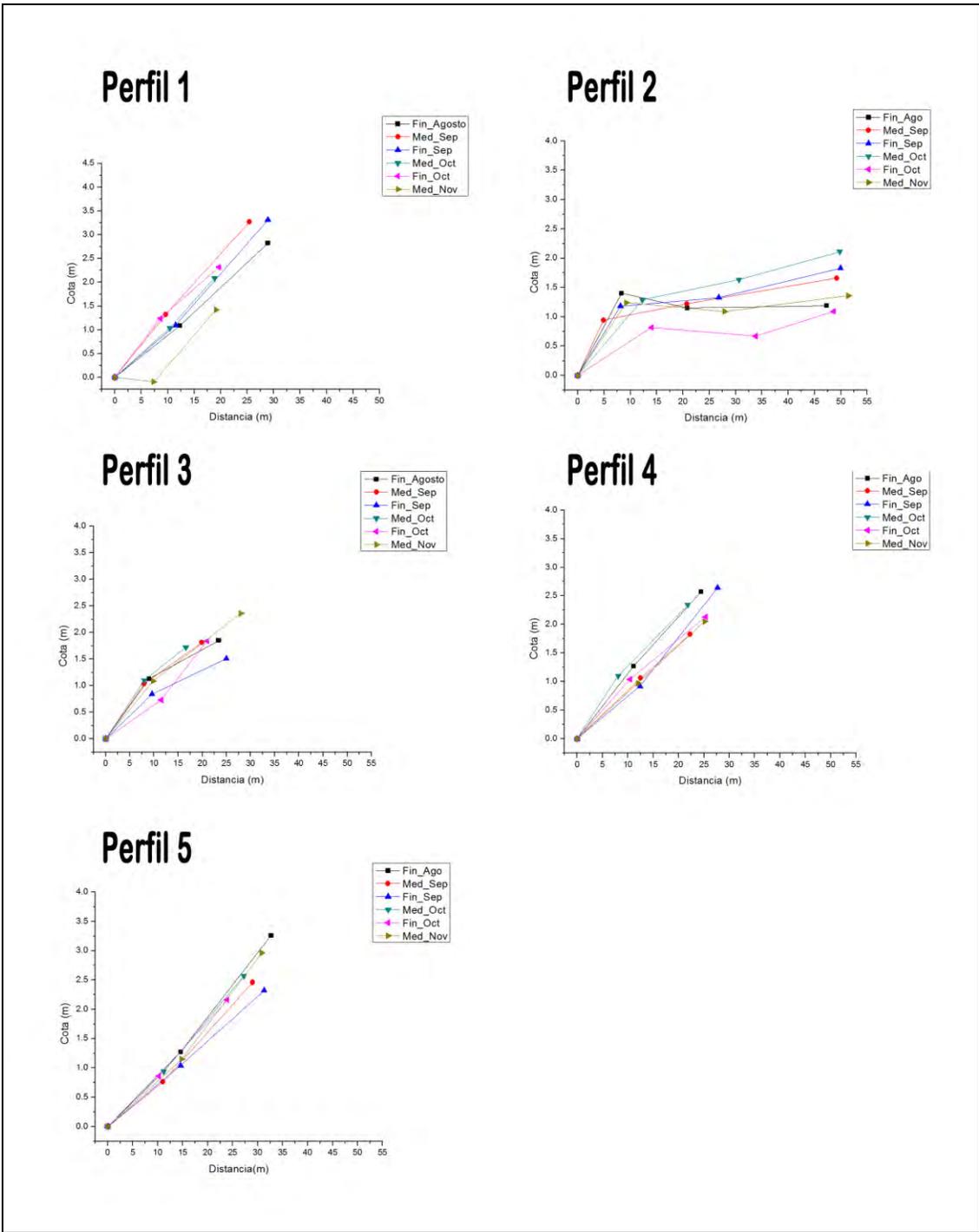
Perfiles topográficos en Punta Chiqueros.



Perfiles topográficos en Punta Chiqueros.



Perfiles Topográficos en Punta Morena



Perfiles Topograficos en Mezcalitos.

### **ANEXO 3**

#### **Tabla de MANOVA**

**variable dependiente: temperatura de incubación**

**Anidación: época de incubación (tamaño de grano, playa y zona)**

Prueba post hoc Tukey Unequal N HSD; variable: temperatura de incubación.

Las probabilidades de error aproximados de análisis post hoc: entre MSE = .00001, df = 6.0000

ZONA	PLAYA	ARENA	RANGO TEMP NIDO	EPOCA	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}
1	Mesoplaya	P. Chiqueros	Fina	5	Jul-Ago	1.4900	0.00342	0.05091	1	0.11284	0.1961	0.00691	0.95133	0.73638	0.97084	1	0.92303	0.99999
2	Mesoplaya	P. Chiqueros	Media	1	Sept-Oct	0.00342		0.18535	0.00263	0.00054	0.0483	0.99116	0.00859	0.01352	0.00167	0.00388	0.00936	0.00251
3	Mesoplaya	P. Chiqueros	Media	3	Sept-Oct	0.05091	0.18535		0.03438	0.00253	0.9437	0.50576	0.18949	0.34035	0.01723	0.05091	0.06122	0.03208
4	Mesoplaya	P. Chiqueros	Media	5	Jul-Ago	1	0.00263	0.03438		0.17345	0.1274	0.00512	0.80885	0.53422	0.99899	1	0.99992	0.75792
5	Mesoplaya	P. Chiqueros	Media	6	Jul-Ago	0.11284	0.00054	0.00253	0.17345		0.0062	0.00076	0.03179	0.01914	0.38422	0.11284	0.09301	0.02874
6	Mesoplaya	P. Morena	Gruesa	3	Sept-Oct	0.19611	0.04832	0.94369	0.12742	0.00616		0.13263	0.67107	0.91624	0.05812	0.19611	0.23864	0.72552
7	Supraplaya	P. Chiqueros	Media	2	Sept-Oct	0.00691	0.99116	0.50576	0.00512	0.00076	0.1326		0.01953	0.03248	0.00304	0.00691	0.00796	0.0215
8	Supraplaya	P. Chiqueros	Media	4	Jul-Ago	0.95133	0.00859	0.18949	0.80885	0.03179	0.6711	0.01953		0.99995	0.15527	0.95133	0.86928	0.42707
9	Supraplaya	P. Chiqueros	Media	4	Sept-Oct	0.73638	0.01352	0.34035	0.53422	0.01914	0.9162	0.03248	0.99995		0.25058	0.73638	0.82364	0.49962
10	Supraplaya	P. Chiqueros	Media	5	Jul-Ago	0.97084	0.00167	0.01723	0.99899	0.38422	0.0581	0.00304	0.15327	0.25058		0.97084	0.69332	0.992
11	Supraplaya	P. Chiqueros	Gruesa	5	Jul-Ago	1	0.00342	0.05091	1	0.11284	0.1961	0.00691	0.95133	0.73638	0.97084	1	0.92303	0.99999
12	Supraplaya	P. Morena	Gruesa	4	Sept-Oct	1	0.00388	0.06122	0.99992	0.09301	0.2386	0.00796	0.86928	0.82364	0.69332	1		0.96679
13	Supraplaya	Mezcalitos	Gruesa	4	Sept-Oct	0.92303	0.00936	0.21256	0.75792	0.02874	0.7253	0.0215	1	1	0.39792	0.92303	0.96679	0.72169
14	Supraplaya	Mezcalitos	Gruesa	5	Sept-Oct	0.99999	0.00251	0.03208	1	0.18758	0.1179	0.00486	0.42707	0.49962	0.992	0.99999	0.99388	0.72169

## **Bibliografía**

**Ackerman, R. A. 1980.** Physiological and ecological aspects of gas exchange by sea turtle eggs. *American Zoologist* 20:575–583pp.

**Ackerman, R. A. 1997.** The nest environment and embryonic development of sea turtles en: Lutz, P. L. y Musick, J. A. (eds), *The biology of sea turtles*. CRC Press, 83–106 pp.

**Ackerman, R. A. 1997.** The nest environment and the embryonic development of sea turtles. In *The biology of sea turtles* (Lutz, P. L., and Musick, J. A., eds) CRC Press, Boca Raton, FL. Vol. 1:83–106pp

**Ackerman, R. A., Seagrave, R. C., Dmi'el, R., y Ar, A. 1985.** Water and heat exchange between parchmentsheller reptile eggs and their surroundings. *Copeia* 703–711pp.

**Acuña, R. A. 1983.** El éxito del desarrollo de los huevos de la Tortuga marina *Lepidochelys olivacea* Eschscholtz en playa Ostional, Costa Rica. *BRENESIA* 21:371-385pp.

**Balazs, G. H. 1982.** Growth rates of immature green turtles in the Hawaiian Archipelago, pp. 117-125. In: K.A. Bjorndal (ed.), *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 583pp.

**Bilinski, J. J., Reina, R. D., Spotila, J. R., y Paladino, F. V. 2001.** The effects of nest environment on calcium mobilization by leatherback turtle embryos (*Dermodochelys coriacea*) during development. *Comp. Biochem. Physiol.* 130:151-162 pp.

**Binckley, C. A., Spotila, J. R., Wilson, K. S., y Paladino, F. V. 1998.** Sex determination and sex ratios of Pacific leatherback turtles, *Dermodochelys coriacea*. *Copeia* 2:291-300pp.

**Bjorndal, K. A. y Bolten, A. B. 1988.** Growth rates of immature green turtles, *Chelonia mydas*, on feeding grounds in the southern Bahamas. *Copeia* 3:555- 564pp.

**Bjorndal, K. A. y Carr, A. 1989.** Variation in clutch size and egg size in the green turtle nesting population at Tortuguero, Costa Rica. *Herpetologica* 45(2):181-189pp.

**Blamires, S. J., y Guinea, M. L. 1997.** Implications of nest site selection on egg predation at the sea turtle rookery at Fog Bay. In *Marine turtle conservation and management in northern Australia.*, Northern Territory University, Darwin *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 82:94-101pp.

**Bolongaro Crevenna Recaséns, A., Márquez García, A. Z., Torres Rodríguez, V. y García Vicario, A. 2010.** Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche, p. 73-96. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (ed.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. Semarnat-ine, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche.514 pp.

**Booth, D. T., y Astill, K. 2001.** Incubation temperature, energy expenditure and hatchling size in the green turtle (*Chelonia mydas*), a species with temperature-sensitive sex determination. *Australian Journal of Zoology* 49:389-396 pp.

**Booth, D.T., Burgess, E., McCosker, J., y Lanyon, J. M. 2004.** The influence of incubation temperature on post-hatching fitness characteristics of turtles. International Congress Series 226–233pp

**Broderick, A.C., Godley, B.J., Reece, S., y Downie, J.R . 2000.** Incubation periods and sex ratios of green turtles: highly female biased hatchling production in the eastern Mediterranean. Mar EcolProg Ser 202:273–281pp.

**Bull, J.J. 1999.** Sex ratio evolution when fitness varies. Heredity 46:9-26pp.

**Burgess, E. A., Booth, D. T., y Lanyon, J. M. 2006.** Swimming performance of hatchling green turtles is affected by incubation temperature. Coral Reefs 341-349 pp.

**Bustard, H. R., y Greenham, P. 1968.** Physical and chemical factors affecting hatching in the green turtle, *Chelonia mydas*. Ecology 49:269–276pp.

**Carr Jr, A. F. 1954.** The passing of the fleet. AIBS Bulletin 4:17-19pp.

**Carr, A. 1986.** New perspectives on the pelagic stage of sea turtle development. NOAA Tech. Memo. NMFSSEFC- 190. U.S. Dept. Commerce. 36pp.

**Carr, A. y Meylan, A. B. 1980.** Evidence of passive migration of green turtle hatchlings in Sargassum. Copeia 2:366-368pp.

**Carr, A., Carr, M. H., y Meylan, A. B. 1978.** The ecology and migrations of sea turtles, 7. The West Caribbean green turtle colony. Bulletin of the American Museum of Natural History 162(1):1-46pp.

**Carr, A., Meylan, J., Mortimer., Bjorndal, K. y Carr, T. 1982.** Surveys of sea turtle populations and habitats in the Western Atlantic. U. S. Department of Commerce NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFC-91. 91pp.

**Carranza-Edwards, A. y Caso-Chávez, M. 1994.** Zonificación del perfil de playa. GEOUNAM 2(2): 26-32pp.

**Chaloupka, M. 2001.** Historical trends, seasonality and spatial synchrony in green sea turtle egg production. Biological Conservation 101:263-279 pp.

**Chu, C. T., Booth, D. T., y Limpus, C. J. 2008.** Estimating the sex ratio of loggerhead turtle hatchlings at Mon Repos rookery (Australia) from nest temperatures. Australian Journal of Zoology 56:57-64pp.

**Ciofi, C. y Swingland, I. R. 1997.** Environmental sex determination in reptiles. – Appl. Anim. Behav. Sci. 51:251– 265pp.

**Davenport, J. 1997.** Temperature and the life-history strategies of sea turtles. Journal of Thermal Biology 22:479-488pp.

**Deeming, D.C. 2004.** Post-hatching phenotypic effects of incubation in reptiles en: D.C. Deeming (Ed.), Reptilian Incubation: Environment, Evolution and Behaviour, Nottingham University Press, Nottingham 229– 252pp.

**Dimond, M. T. 1985.** Some effects of temperature on turtle egg incubation, 35-39pp. In: Recent Advances in Development Biology of Animals (S. C. Goel and C. B. L. Srivastava, eds.). Indian Soc. Dev. Biol., Poona. M. T. Dimond, Dept. Biology, Trinity College, Washington D.C. 20017 USA.

**Dobbs, K. A., Miller, J. D., Limpus, C. J., y Landry, A. M., Jr. 1999.** Hawksbill turtle, *Eretmochelys imbricata*, nesting at Milman Island, Northern Great Barrier Reef, Australia in in US waters: a consideration. *Mar Fish Rev* 53:30–31pp

**Dodd, C.K. 1988.** Synopsis of the biological data on the loggerhead sea turtle. Biological Report 88:(14).

**Dow, W., Eckert, K., Palmer, M., y Kramer, P. 2007.** An Atlas of Sea Turtle Nesting Habitat for the Wider Caribbean Region. The Wider Caribbean Sea Turtle Conservation Network and The Nature Conservancy. WIDECAST Technical Report No. 6. Beaufort, North Carolina. 267pp.

**Eckert, K. L. 1995.** Draft General Guidelines and Criteria for Management of Threatened and Endangered Marine Turtles in the Wider Caribbean Region. UNEP (OCA)/ CAR WG.19/ INF.7. Prepared by WIDECAST and adopted by the Third Meeting of the Interim Scientific and Technical Advisory Committee to the SPAW Protocol. Kingston, 11-13 October 1995. United Nations Environment Programme, Kingston. 95pp.

**Emerson, K. J., Bradshaw, W. E., y Holzapfel, C. M. 2009.** Complications of Complexity: Integrating environmental, genetic and hormonal control of insect diapause. *Trends Genetics* 25:217-225pp.

**Fish, M.R., Lombana, A. y Drews, C. 2009.** Cambio climático y tortugas marinas en el Gran Caribe: proyecciones climáticas regionales. Informe de WWF, San José, 20 pp.

**Folk, R. L. 1969.** Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphills Eds. Austin. 159pp.

**Frazer, N. B. y Ehrhart, L. M. 1985.** Preliminary growth models for green, *Chelonia mydas*, and loggerhead, *Caretta caretta*, turtles in the wild. *Copeia* 1985(1):73-79pp.

**Frazer, N. B. y Ladner, R. C. 1986.** A growth curve for green sea turtles, *Chelonia mydas*, in the U.S. Virgin Islands, 1913-14. *Copeia* (3):798-802pp.

**Frazier, J. 1979.** Niche separation in Indian Ocean turtles. *American zoologist* 19, 955 pp.

**Fritts, T.H., Stinson, M.L., Marquez, R. 1982.** Status of sea turtle nesting in southern Baja California, Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 81:51 – 60pp.

**García-Vicario, A. 2008.** Impacto de la erosión costera de las playas del litoral de Campeche, México, sobre la anidación de las tortugas marinas. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. 90pp.

**Gienapp, P. y Visser, M. E. 2006.** Possible fitness consequences of experimentally advanced laying dates in great tits: differences between populations in different habitats. *Funct. Ecol.* 20:180–185pp.

**Gienapp, P., Teplitsky, C., Alho, J. S., Mills, J. A., y Merilä, J. 2008.** Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses. *Mol. Ecol.* 17:167–178pp.

**Girondot, M. 1999.** Statistical description of temperature-dependent sex determination using maximum likelihood. *Evolutionary Ecology Research*, 1:479–486pp.

**Girondot, M., y Fretey, J. 1996.** Leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, nesting in French Guiana, 1978- 995. *Chelonian Conservation and Biology* 2:204-208 pp.

**Glen, F., Broderick, A. C., Godley, B. J., y Hays, G. C. 2003.** Incubation environment affects phenotype of naturally incubated green turtle hatchlings. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 83:1183-1186pp.

**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* 10:2036-2045pp.

**Godfrey, M. H. 1997.** Sex ratios of sea turtle hatchlings: direct and indirect estimates. In Graduate Department of Zoology, PhD thesis, Graduate Department of Zoology, University of Toronto.

**Godfrey, M. H. y Mrosovsky, N. 1994.** Simple method of estimating mean incubation temperatures on sea turtle beaches. *Copeia* 1994:808-811pp.

**Godfrey, M. H., D'Amato, A. F., Marcovaldi, M. A., y Mrosovsky, N. 1999.** Pivotal temperature and predicted sex ratios for hatchling hawksbill turtles from Brazil. *Canadian Journal of Zoology- Revue Canadienne De Zoologie* 77:1465-1473pp.

**Godfrey, M. H., Delmas, V., y Girondot, M. 2003.** Assessment of patterns of temperature-dependent sex determination using maximum likelihood model selection. *Ecoscience* 10:265-272pp.

**Godfrey, M., y Mrosovsky, N. 2006.** Pivotal temperature for green sea turtles, *Chelonia mydas*, nesting in Suriname. *Herpetological Journal* 16:55-61pp.

**Groombridge, B. y Luxmoore, R. 1989.** The Green Turtle and Hawksbill (Reptilia: Cheloniidae): World Status, Exploitation and Trade. CITES Secretariat, Lausanne, Switzerland: CITES Secretariat, 601pp.

**Haro, A. y Harrison, E. 2006.** Report del Programa de Tortuga Verde 2007. San Pedro, Costa Rica. Caribbean Conservation Corporation. 16pp.

**Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H., y Godley, B. J. 2009.** Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research* 7:137-154pp.

**Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H., y Godley, B. J. 2009.** Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research* 7:137-154pp.

**Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H., y Godley, B. J. 2007.** Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population. *Global Change Biology* 13:923-932pp.

- Hays, G. C. 2004.** Good news for sea turtles. *Trends in Ecology & Evolution* 19:349-351pp.
- Hays, G. C., Ashworth, J. S., Barnsley, M. J., Broderick, A. C., Emery, D. R., Godley, B. J., Henwood, A., y Jone, E. L. 2001.** The importance of sand albedo for the thermal conditions on sea turtle nesting beaches. *Oikos* 93:87–94pp.
- Hays, G. C., Broderick, A. C., Glen, F., y Godley, B. J. 2003.** Climate change and sea turtles: a 150- year reconstruction of incubation temperatures at a major marine turtle rookery. *Global Change Biology* 9:642-646pp.
- Hays, G. C., Godley, B. J. y Broderick, A. C. 1999.** Long-term thermal conditions on the nesting beaches of green turtles on Ascension Island. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 185:297–299pp.
- Hays, G. C., Mackay, A., Adams, C. R., Mortimer, J. A., Speakman, J. R. 1995.** Nest site selection by sea turtles. *J. Mar. Biol. Ass. U K.*, 75:667–674pp.
- Hays, G.C y Speakman, J.R, 1993.** Nest placement by loggerhead turtles, *Caretta caretta*. *Animal Behaviour*, 45:47-53pp.
- Hewavisenthi, S., y Parmenter, C. J. 2002.** Incubation environment and nest success of the flatback turtle (*Natator depressus*) from a natural nesting beach. *Copeia* 302-312 pp.
- Hirth, H. F. 1997.** Synopsis of the Biological Data on the Green Turtle, *Chelonia mydas*. Biological Report 129pp.
- Horikoshi, K. 1992.** Sex ratios of green turtle hatchlings in Tortuguero, Costa Rica. 59–60pp. En M. Salmon and J. Wyneken, eds. Proceedings of the eleventh annual workshop on sea turtle biology and conservation, Jekyll Island, GA. 26 February–2 March. NOAA Tech. Mem. no. NMFS-SEFSC-302pp.
- Horrocks, J. A., y Vermeer, L. A. 1995.** Environmental correlates of nesting and hatching seasonality of hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) in Barbados. In Proceedings of the Twelfth Annual Workshop on Sea Turtle Biology and Conservation; NOAA Technical Memorandum NMFSSEFSC-361, 274 (Richardson, J. I., and Richardson, T. H., eds) 200-202 pp.
- Horrocks, J. A., Scott, N. McA. 1991.** Nest site location and nest success in the hawksbill turtle, *Eretmochelys imbricata*, in Barbados, West Indies. *Marine Ecology Progress Series* 69:1–8pp.
- Houghton, J. D. R., Myers, A. E., Lloyd, C., King, R. S., Isaacs, C., y Hays, G. C. 2007.** Protracted rainfall decreases temperature within leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) clutches in Grenada, West Indies: Ecological implications for a species displaying temperature dependent sex determination. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*: 345:71-77pp.
- IUCN/CSE, 1995.** Estrategia Mundial para la Conservación de las Tortugas Marinas. 24pp.
- Janzen, F.J. y Paukstis, G. L. 1991.** Environmental sex determination in reptiles: ecology, evolution and experimental design. – *Q. Rev. Biol.* 66:149–179pp.

**LeBlanc, A. M., y Wibbels, T. 2009.** Effect of daily water treatment on hatchling sex ratios in a turtle with temperature-dependent sex determination. *Journal of Experimental Zoology Part A-Ecological Genetics and Physiology* 311A, 68-72pp.

**Limpus, C. J. y Walter, D. G. 1980.** The growth of immature green turtles (*Chelonia mydas*) under natural conditions. *Herpetologica* 36(2):162-165pp.

**Limpus, C.J., Baker, V., y Miller, J.D. 1979.** Movement induced mortality of loggerhead eggs. *Herpetologica* 35(4):335-338pp.

**Lutcavage, M. E., Plotkin, P., Witherington, B., y Lutz, P. L. 1997.** Human impacts on sea turtle survival. In *The biology of sea turtles*. (Lutz, P. L., and Musick, J. A., eds) 387-410 pp

**Márquez, G. A. 2002.** Topohidrografía, Cartografía y Graficación. In: Granado-Barba, A., V. Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (eds). *Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica*. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 448pp.

**Márquez, G. A. Z., Pérez, V., Márquez, E., y Flores, Z. 2007.** Cambios en el tamaño de los sedimentos de las playas del litoral del Municipio de Solidaridad por efectos climáticos estacionales. *Revista de la Universidad del Caribe* 59-68pp.

**Márquez, M. R. 1996.** Las tortugas marinas y nuestro tiempo. *Ciencia/144*. SEP. CONACYT. Fondo de Cultura Económica. 197 pp.

**Matsuzawa, Y., Sato, K., Sakamoto, W., y Bjørndal, K. A. 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* 140:639-646pp.

**Maxwell J. A., Motara, M.A., y Frank, G. H. 1988.** A micro-environmental study of the effect of temperature on the sex ratios of the loggerhead turtle, *Caretta caretta*, from Tongaland, Natal. South Africa. *S. Afr. J. Zool.* 32(4):342-350pp.

**McCleery, R. H., Perrins, C. M., Sheldon, B. C. y Charmantier, A. 2008.** Age-specific reproduction in a long-lived species: the combined effects of senescence and individual quality. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 275:963-970pp.

**McGehee, M. A. 1990.** Effects of moisture on eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). *Herpetologica* 46:251-258 pp.

**Meylan, A. B., Bowen, B. W., y Avise, J. C. 1990.** A genetic test of the natal homing versus social facilitation models for green turtle migration. *Science* 248:724-727pp.

**Miller, J. D., y Limpus, C. J. 1981.** Incubation period. In „*Proceedings of the Melbourne Herpetological Symposium*“. (Eds C. B. Banks and A. A. Martin) 66–73pp.

**Miller, J.D. 1997.** Reproduction in Marine turtles. In: P.L. Lutz and J.A. Musick (Eds) *The biology of marine turtles*. CRC Press, Washington DC 51-81pp.

**Montaño-Ley, Y., Gutiérrez-Estrada, M., y Ramírez, J. 1988.** Análisis de funciones empíricas de eigen en perfiles de playa de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 15(2):121-128pp.

**Morreale, S. J., Ruiz, G. J., Spotila, J. R. y Standora, E. A. 1982.** Temperature-dependent sex determination – current practices threaten conservation of sea turtles. *Science* 216:1245–1247pp.

**Mortimer, J. A. 1976.** Observations on the feeding ecology of the green turtle, *Chelonia mydas*, in the western Caribbean. Masters thesis, University of Florida, Gainesville. 100pp.

**Mortimer, J. A. 1982.** Factors influencing beach selection by nesting sea turtles, p.45-51. In: K. A. Bjorndal (Editor) *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.

**Mortimer, J. A. 1990.** The influence of beach sand characteristics on the nesting behavior and clutch survival of green turtles (*Chelonia mydas*), *Copeia* 3:802–817pp.

**Mrosovsky, N. 1988.** Pivotal temperatures for loggerhead turtles from northern and southern nesting beaches. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 66 :661-669 pp.

**Mrosovsky, N. y Yntema, C. L. 1995.** Temperature Dependence of Sexual Differentiation in Sea Turtles: Implications for Conservation Practices. In: Bjorndal KA (ed) *Biology and conservation of sea turtles*, Revised edition edn. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C, 59–65pp.

**Mrosovsky, N., Bass, A., Corliss, L., Richardson, J. I., y Richardson, T. H. 1992.** Pivotal and beach temperatures for hawksbill turtles nesting in Antigua. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 70:1920-1925pp.

**Mrosovsky, N., Dutton, P. H., y Whitmore, C. P. 1984.** Sex ratios of two species of sea turtle nesting in Suriname. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 62:2227-2239pp.

**Mrosovsky, N., y Yntema, C.L. 1980.** Temperature dependence of sexual differentiation in sea turtles: implications for conservation practices. *Biological Conservation* 18:271-280pp.

**Oz, M., Erdogan, A., Kaska, Y., Dusen, S., Aslan, A., Sert, H., Yavuz, M., y Tunc, M. R. 2004.** Nest temperatures and sex-ratio estimates of loggerhead turtles at Patara beach on the southwestern coast of Turkey. *Can J. Zool* 82:94-101pp.

**Ozdemir, A., Turkozan, O., y Guclu, O. 2008** Embryonic mortality in loggerhead turtle (*Caretta caretta*) nests: a comparative study on Fethiye and Goksu Delta Beaches *Turkish Journal of Zoology* 32:287-292 pp.

**Ozdemir, B., y Turkozan, O. 2006.** Hatching success of original and hatchery nests of the green turtle, *Chelonia mydas*, in northern Cyprus. *Turkish Journal of Zoology* 30:377-381 pp.

**Packard, G. C., Tracy, M. J., y Roth, J. J. 1977.** The physiological ecology of reptilian eggs and embryos, and the evolution of viviparity within the Class Reptilia. *Biological Reviews* 52:71-105 pp.

**Packard, G. C., Tracy, M. J., y Roth, J. J. 1977.** The physiological ecology of reptilian eggs and embryos, and the evolution of viviparity within the Class Reptilia. *Biological Reviews* 52:71-105 pp.

**Packard, G.C., Packard, M.J., Boardman, J., y Ashen, M.D. 1981.** "Possible adaptive value of water exchange in flexible-shelled eggs of turtles," *Science* 213:471-473pp.

**Parmesan, C. 2006.** Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 37:637-669pp.

**Parsons, J. J. 1962.** *The Green Turtle and Man.* University of Florida Press, Gainesville. 126pp.

**Pieau, C. 1972.** Effets de la température sur le développement des glandes génitales chez les embryons de deux Chéloniens, *Emys orbicularis* L. et *Testudo graeca* L. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 274(D):719-722pp.

**Plotkin, P. 1995.** Independent vs. socially facilitated migrations of the olive ridley, *Lepidochelys olivacea*. *Marine Biology* 122:137-143 pp.

**Pritchard, P. C. H. y Mortimer, J. A. 1999.** Taxonomy, External Morphology, and Species Identification, 21- 38pp. In: Karen L. Eckert, Karen A. Bjorndal, F. Alberto Abreu G. and Marydele Donnelly (eds.), *Research and Management Techniques for the Conservation of Sea Turtles.* IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publ. No. 4. Washington, D.C.

**Rees, A. F., y Margaritoulis, D. 2004.** Beach temperatures, incubation durations and estimated hatchling sex ratio for loggerhead sea turtle nests in southern Kyparissia Bay, Greece. *Testudo* 6, 23-36pp.

**Richard, J. D., y Hughes, D. A. 1972.** Some observation of sea turtle nesting activity in Costa Rica. *Marine Biology* 16:297-309 pp.

**Rimblot-Baly, F., Lescure, J., Fretey, J., y Pieau, C. 1987.** Sensibilité à la température de la différenciation sexuelle chez la Tortue Luth, *Dermodochelys coriacea* (Vandelli, 1761); application des données de l'incubation artificielle à l'étude de la sex ratio dans la nature. *Ann. Sci. Nat. (Zoologie) Paris* 8:219-236pp.

**Roff, D. 2002.** *Life History Evolution.* Chapman and Hall, New York. 535pp.

**Rueda-Galindo, M. 2000.** Sedimentología y morfometría de las playas del Catrín y la Palma, Chiapas y su relación con el desove de tortuga. Informe técnico, Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, 25pp.

**Salame Méndez, A. y Villalpando Fierro, I. 1998.** Diferenciación sexual en vertebrados teorías e hipótesis. *Acta Zool. Mex. (n.s)* 73:89-110 pp.

**Salazar-Vallejo, S.I. 1998.** Calentamiento global y efectos costeros. *Ava. Cient.*, 25:10-20pp.

**Schaetzl, R. J., Anderson, S. 2005.** Genesis and Geomorphology, Cambridge University PressCambridge,UK 832 pp.

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

**Solé, G. 1994.** Migration of the *Chelonia mydas* population from Aves Island, pp. 283-286. In: K. A. Bjorndal, A. B. Bolten, D. A. Johnson and P. J. Eliazar (compilers), ProceedingsSwitzerland. 601pp.

**Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R. B., Berntsen, T., Bindoff, N. L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J. M., Hegerl, G. C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B. J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T. F., Whetton, P., R.A., W., and Wratt, D. 2007.** Climate change 2007: the synthesis report. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press. 996 pp.

**Solow, A. R., Bjorndal, K. A., y Bolten, A. B. 2002.** Annual variation in nesting numbers of marine turtles: the effect of sea surface temperature on re-migration intervals. Ecology Letters 5:742-746 pp.

**Spotila, J. R., Reina, R. D., Steyermark, A. C., Plotkin, P. T., y Paladino, F. V. 2000.** Pacific leatherback turtles face extinction. Nature 405:529-530pp

**Spotila, J. R. 2004.** A Complete Guide to Their Biology, Behavior, and Conservation. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Spotila, J. R., E. A. Standora, S. J. Morreale and G. J. Ruiz. 1987. Temperature dependent sex determination in the green turtle (*Chelonia mydas*): effects on the sex ratio on a natural nesting beach. Herpetologica 43:74-81pp.

**Spotila, J. R., Standora, E. A., Morreale, S. J. y Ruiz, G. J. 1983.** Temperature dependent sex determination in the green turtle (*Chelonia mydas*): Effects on the sex ratio on a natural nesting beach. Herpetologica 43(1):74-81pp.

**Spotila, J.R., Standora, E.A., Morreale SJ y Ruitz, G.J., 1987.** Temperature dependent sex determination in green turtle (*Chelonia mydas*): effects on the sex ratio on a natural nesting beach. J Herpetol 43:74–81pp.

**Stoneburner, D. L. y Richardson, J. I. 1981.** Observations on the role of temperature in loggerhead turtle nest site selection. Copeia, 1:238- 241pp.

**Ugalde, A. 1986.** La temperatura como factor determinante del sexo en la tortuga lora *Lepidochelys olivacea* Eschscholtz. Tesis de licenciatura en biología. Universidad de Costa Rica, Escuela de Biología San Jose. 51pp.

**Valenzuela, N. y Lance, V. Eds. 2004.** Temperature Dependent Sex Determination in Vertebrates. Smithsonian Books. Washington D.C 200pp.

**Wibbels, T. R., Hillis-Starr, Z. M., y Phillips, B. 1999.** Female-biased sex ratios of hatchling hawksbill sea from a Caribbean nesting beach. *Journal of Herpetology* 33:142-144pp.

**Witzell, W. N. 1983.** Synopsis of biological data on the hawksbill turtle *Eretmochelys imbricata* (Linnaeus, 1766). *FAO Fisheries Synopsis* 137:1-78pp.

**Yalcin-Ozdilek, S., Ozdilek, H. G., y Ozaner, F. S. 2007.** Possible influence of beach sand characteristics on green turtle nesting activity on Samandag Beach, Turkey. *Journal of Coastal Research* 23:1379-1390pp.

**Zurita, G. J., Herrera, R., y Prezas, B. 1993.** Tortugas Marinas del Caribe. *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO. 865pp.