

**Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, Baja California**



---

**Maestría en Ciencias  
en Ecología Marina**

---

**Modelos matemáticos para la estimación de la razón de sexos  
en la tortuga prieta *Chelonia mydas*, en la reserva de la  
biosfera de Bahía de los Ángeles, Baja California**

Tesis  
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Daisy Pineda Suazo**

Ensenada, Baja California, México  
2016

Tesis defendida por  
**Daisy Pineda Suazo**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dra. Ma. Elena Solana Arellano**  
Codirector de tesis

---

**Dr. Volker Koch**  
Codirector de tesis

**Dra. Mónica Hernández Rodríguez**

**Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera**



---

**Dra. María Lucila del Carmen Lares Reyes**  
Coordinadora del Posgrado en Ecología Marina

---

**Dra. Rufina Hernández Martínez**  
Directora de Estudios de Posgrado

*Daisy Pineda Suazo © 2016*

*Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.*

Resumen de la tesis que presenta **Daisy Pineda Suazo** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

**Modelos matemáticos para la estimación de la razón de sexos en la tortuga prieta *Chelonia mydas*, en la Reserva de la Biosfera de Bahía de Los Ángeles, Baja California.**

Resumen aprobado por:

---

**Dra. Ma. Elena Solana Arellano**  
Codirector de tesis

---

**Dr. Volker Koch**  
Codirector de tesis

La determinación de la proporción de sexos en tortugas marinas es un parámetro importante que permite estimar el crecimiento de la población y con ello desarrollar estrategias efectivas de conservación. Dicho conocimiento nos dará una percepción en los efectos a largo plazo de la razón de sexos en la ecología reproductiva de una población. Es por ello, que resulta de interés examinar este parámetro en adultos de tortuga *C. mydas* en Bahía de Los Ángeles principal sitio de alimentación para la especie dentro del Golfo de California. Para poder determinar la proporción sexual, es necesario tener un método preciso de sexado. Sin embargo, los métodos directos existentes para determinar sexos, suelen ser invasivos y muy costosos. Además, la información y los estudios para la determinación de sexos mediante el uso de medidas morfométricas y los caracteres sexuales secundarios es casi nula. Con el objetivo de solucionar dicha problemática se realizó el análisis de las bases de datos generadas de 1996 al 2012 en Bahía de los Ángeles y de 2009 al 2012 en Laguna Ojo de Liebre con el fin de obtener modelos alométricos que permitieran generar métodos precisos de determinación sexual en adultos y juveniles de *C. mydas* así mismo se realizó la calibración de dichos modelos con los perfiles hormonales (testosterona y estradiol) de los organismos sexados, para obtener estimaciones confiables de razón de sexos M:H. Obteniéndose como resultado que las variables LTC, LPreC y razón (LPC/ LPreC) son las medidas morfométricas que permiten una mejor determinación de sexo en adultos y juveniles de *C. mydas*. Además fue posible una mejor determinación de las razones de sexo (H:M) para BLA (2.23:1 ) y para LOL (2.64:1). Se concluye que hasta el momento, el uso de perfiles hormonales como técnica de sexado no es confiable debido a la falta de estudios pertinentes que permitan determinar los valores de referencia de testosterona y estradiol que definan el sexo de los organismos para cada área de agregación y forrajeo de cada una de las especies estudiadas en todas las estaciones del año.

**Palabras clave:** Razón de sexos, Bahía de los Ángeles, modelos alométricos, determinación sexual, perfiles hormonales.

Abstract of the thesis presented by **Daisy Pineda Suazo** as a partial requirement to obtain the **Master** of Science degree in Marine Ecology.

**Mathematical models for the estimation of sex ratio in the black turtle *Chelonia mydas*, in the Biosphere Reserve of Bahía de Los Angeles, Baja California.**

Abstract approved by:

---

Dra. Ma. Elena Solana Arellano  
**Codirector**

---

Dr. Volker Koch  
**Codirector**

Sex ratio determination in sea turtles is an important parameter that allows among other things, estimate population growth, which in turns help us to develop effective strategies of conservation. Besides, such knowledge will give us a clear perception of the long run effects of the sex ration on the reproductive ecology of a population. For this reason, is of interest of the study of this parameter in *C. mydas* adults in Bahía de Los Ángeles, which is the principal feeding area for this sea turtle specie in the California Gulf. In order to estimate sex proportion, it is necessary to count with a precise sexing method. Nevertheless, the exiting direct sexing methods are invasive and expensive. Also, the information and studies regarding sex determination using morphometric measurements and secondary sex characters are scares. To solve this problem, and using a data base from 1996 to 2012 for Bahía de los Ángeles and a small LOL data from 2009 to 2012 we obtained allometric models that allowed us to generate precise methods for sex determination in adults and sub adults of *C. mydas*, this models were calibrated with hormonal profiles (testosterone y estradiol) of sexed organisms, this with the aim of having more reliable sex ratio estimations (F: M). As a results we found that TTL, LPreC and the ratio (LPC/ LPreC) were the best morphometric measurements that permitted a better determination on adults and juvenile *C. mydas* sex. Besides it was possible to have a better determination of sex ratio (F: M) for BLA (2.23:1) and for LOL (2.64:1). We concluded that hormonal profiles as tool for sexing these organisms are not reliable due to the lack of information about the reference values of testosterone and estradiol that define the sex in aggregation areas for different species and in different seasons.

**Keywords:** Sex ratio, Bahía de los Ángeles, allometric models, sex determination, hormonal profiles.

## Dedicatoria

*A mi pedacito de cielo, mi hijo Armando quien me ha dado la mayor de las alegrías mostrándome lo que es el amor puro.*

*A mi amado esposo, por el apoyo infinito y por acompañarme en la realización de mis sueños.*

*A mi pequeño tesoro que juega felizmente en mi vientre y que desde ahí alegra mis días y me ha acompañado en la interminable agonía que es escribir una tesis.*

## **Agradecimientos**

A CICESE, por la oportunidad de ingresar a su programa de posgrado y realizar la Maestría en Ecología Marina.

A CONACYT, por el otorgamiento de la beca económica para llevar a cabo mis estudios de posgrado con número de becario 571192.

A la Dra. Ma Elena Solana Arellano y el Dr. Volker Koch, mis directores de tesis por el apoyo constante, el cariño, la comprensión y el profesionalismo que los caracteriza. Fue un verdadero reto el trabajar con algo completamente nuevo para mí (los modelos matemáticos) pero gracias a su apoyo Dra. Elena (mi madre postiza) logré superar los dolores de cabeza y juntos los tres hicimos de todo esto un trabajo de calidad.

A mi comité de tesis, Dr. Luis E. Calderón Aguilera y Dra. Mónica Hernández Rodríguez por su apoyo, tiempo y disponibilidad en la realización de la tesis.

Al Dr. Carlos Delgado Trejo por su apoyo en la realización y capacitación durante mi estancia realizada bajo su dirección.

A David Ramírez Delgado por el apoyo con los muestreos y la información facilitada para la realización de este proyecto.

A mi hermana y mejor amiga Ichi, por el gran apoyo siempre pero sobre todo cuando nació Armandito (al que por cierto mal criaste y todos sus berrinches y groserías serán tu culpa toda la eternidad).

Al mejor esposo que puede existir, Armando Zárate Galván. Gracias por ser tan buen compañero y excelente padre. TE AMO.

A mi mamá Yolanda Suazo González, por el apoyo brindado. Estoy segura que si algo durante mi crianza hubiera sido diferente yo hoy no sería la persona que soy. ¡GRACIAS POR TODO!

A mis amigas y compañeras de maestría Karina Chávez Martínez y Abigail Pañola Madrigal gracias por el apoyo brindado a lo largo de la maestría.

## Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	xi
<b>Capítulo 1</b>	
1. Introducción y antecedentes.....	1
1.1. Ciclo de vida de <i>Chelonia mydas</i> .....	3
1.2. Determinación de sexo y razón de sexos.....	6
1.3. Cambio global.....	7
1.4. Reproducción y control endocrino de la reproducción.....	9
1.5. Esteroides de la reproducción.....	11
1.6. Clasificación de sexos mediante caracteres secundarios en <i>Chelonia mydas</i> .....	14
1.7 Justificación.....	15
1.8 Hipótesis.....	16
1.9 Objetivos.....	16
<b>Capítulo 2</b>	
2. Metodología .....	18
2.1 Áreas de estudio.....	18
2.2 Toma de datos morfométricos.....	23
2.3 Análisis de datos.....	26
<b>Capítulo 3</b>	
3. Resultados.....	28

3.1. Estadísticas básicas.....	28
3.2. Análisis multivariado.....	29
3.3. Modelos alométricos.....	37
3.4. Laguna ojo de liebre (LOL).....	44
<b>Capítulo 4</b>	
4. Discusión.....	57
<b>Capítulo 5</b>	
5. Conclusiones.....	64
<b>Literatura citada.....</b>	<b>66</b>

## Lista de figuras

Figura		Página
1	Rango aproximado de distribución de <i>Chelonia mydas</i> . ( <a href="http://www.californiaherps.com/turtles/maps/xcmymasworldrangemap4.jpg">http://www.californiaherps.com/turtles/maps/xcmymasworldrangemap4.jpg</a> )....	3
2	Distribución y hábitat de <i>Chelonia mydas</i> en México. Fuente: PNCTM, 2009. <a href="http://www.conanp.gob.mx/sig/imgmapoteca/mapoteca.htm">http://www.conanp.gob.mx/sig/imgmapoteca/mapoteca.htm</a> . CONANP, 2008....	4
3	Esquema general del ciclo de vida de las tortugas marinas. Diseñado en base al patrón de ciclo de vida tipo II de Bolten (2003) y CIA (2006).....	5
4	Niveles de testosterona en tortugas marinas inmaduras <i>Kemps ridley</i> en el mar de Arama, Galveston, mostrando una clara dependencia de la temperatura a este estadio. (Tomado de la tesis de Morris, 1982 de la Universidad de Texas).....	11
5	Mapa de localización del área de estudio (Pacheco <i>et al.</i> , 2003).....	18
6	Bahía de Los Ángeles. Modificado de <a href="http://www.mexfish.com/bola/bola/bolaytmp/bolaytmp.htm">http://www.mexfish.com/bola/bola/bolaytmp/bolaytmp.htm</a> .....	19
7	Variabilidad del número de especies de las principales algas presentes en BLA con respecto a la temperatura, a lo largo de un año. (Pacheco <i>et al.</i> , 2003).....	21
8	Ubicación geográfica de la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur.....	23
9	Medidas morfométricas a tomar de la parte dorsal del caparazón (modificado de Pritchard y Mortier, 2000).....	25
10	Medidas morfométricas a tomar de la parte ventral del plastrón (modificado de Pritchard y Mortier, 2000).....	25
11	Muestra de las medidas morfométricas de la parte ventral del plastrón. Se resaltan los caracteres secundarios para la división por sexos, donde se ilustran las nuevas medidas propuestas sobre la cola (modificado de Pritchard y Mortier, 2000).....	25
12	Representación gráfica de cada uno de los individuos en los factores, factor 1 contra el factor 2, incluyendo en el modelo todos los organismos muestreados. Gráfico de cada uno de los individuos en los factores 1 constituido principalmente por LCC, LRC, ACC, ARC, LP, PC y factor 2 representado por LTC y LPreC.....	30
13	Gráfica de cada uno de los individuos en el factor 2 contra el factor 3 incluyendo en el modelo todos los organismos muestreados. Gráfica de cada uno de los individuos en los factores 2 contra 3. Estos factores logran separar a hembras (●) e inmaduros (●) de machos (●) pero hembras e inmaduros se mezclan. Se	31

	observa la presencia de valores extremos los cuales podrían deberse errores en las medidas morfo métricas o sexado.....	
14	Representación gráfica de cada uno de los individuos en el factor 1 representado por LCC, LRC, ACC, ARC, LP y PC contra el factor 3 representado por Razón, incluyendo en el modelo todos los organismos muestreados. Representación gráfica por individuo en los factores 1 contra el factor 3. Estos factores logran la separación de inmaduros y hembras únicamente. Tanto hembras como inmaduros presentan valores extremos debido a que probablemente fueron mal identificados en campo.....	31
15	Representación gráfica por individuo en los factores 1 contra el factor 2, incluyendo en el modelo solo machos e inmaduros. Representación gráfica por individuo en los factores 1 determinado por LCC, LRC, ACC, ARC, LP y PC contra el segundo factor el cual se encuentra definido por LTC, LPreC y LPC. Podemos observar una clara separación de ambos grupos ontogénico, sin embargo, se puede observar la presencia de tres machos en el grupo de los inmaduros posiblemente mal sexados.....	33
16	Representación gráfica por individuo en los factores 1 contra el factor 2, incluyendo en el modelo solo machos y hembras.....	34
17	Representación gráfica por individuo en los factores en los factores 2 contra el factor 3, incluyendo en el modelo solo machos y hembras.....	35
18	Representación gráfica por individuo en los factores 1 contra el factor 2 de inmaduros y hembras.....	36
19	Gráfica de la ecuación $LTC = \alpha [LCC]^{\beta}$ para los tres estadios ontogénicos.....	37
20	Gráfica de la ecuación $RAZON = \alpha [LTC]^{\beta}$ para los tres estadios ontogénicos.....	38
21	Gráfica de la ecuación $LPreC = \alpha [LCC]^{\beta}$ para los tres estadios ontogénicos.....	39
22	Gráfica del quinto modelo, $Razón = \alpha * LP^{\beta}$ .....	40
23	Gráfica del modelo número 5, $Razón = \alpha * LRC^{\beta}$ .....	41
24	Gráfica de los valores proyectados por el modelo: $LTC = 0.024LCC^{1.5}$ y los valores observados de LTC para los individuos clasificados como inmaduros.....	42
25	Gráfica de los valores proyectados por la ecuación del Razón $= 3.54 e^{20 [LCC]^{\beta}}$ y los valores observados de la de la Razón para los individuos sexados como hembras.....	43
26	Gráfica de los valores proyectados con el modelo $Razón = 2.18 [LTC]^{\beta}$ y los observados para la razón para los individuos clasificados como inmaduros.....	43
27	Grafica de cada individuo en el factor 1 contra el factor 2.....	47
28	Gráfica de cada individuo en los factores dos contra el cuarto factor.....	47

29	Gráfica de cada individuo en los factores 3 contra el factor 4.....	48
30	Gráfica de cada individuo en los factores 4 contra el factor 1.....	48
31	Gráficas de los 4 mejores modelos obtenidos a partir de los ACP.....	49
32	Gráfica de los valores proyectados y los observados para LP con el modelo 2) LP= $\alpha$ [LTC] $\hat{\beta}$ .....	51
33	Gráfica de los valores proyectados y los observados para PC con el modelo 3) PC= $\alpha$ [LRC] $\hat{\beta}$ .....	52
34	Gráfica de los valores proyectados y los observados para PC con el modelo 4) PC= $\alpha$ [LTC] $\hat{\beta}$ .....	52
35	Gráfica de los niveles hormonales de las 9 tortugas sangradas en febrero de 2016 en LOL. Los puntos rojos indican los dos organismos sexados como machos.....	61
36	Gráfica de los niveles hormonales de las 23 tortugas sangradas en julio de 2016 en BLA. Los puntos rojos indican los dos organismos sexados como machos.....	61
37	Niveles hormonas en tortugas que indican un aumento repentino en testosterona y disminución en niveles de estradiol. Al aumento de testosterona las TM empezaron su proceso de migración.....	62

## Lista de tablas

Tabla	Página
1 Resumen de las clases de talla y madurez de las tortugas capturadas en BLA de 1994 a 2004. Las áreas sombreadas indican un probable estado de madurez (adultos) con base en la talla media de anidación en la colonia más cercana. Las longitudes medias de caparazón al momento de la anidación son: tortuga prieta = 77.3 cm LRC (Michoacán, México; Figueroa et al. 1993), perica = 89.0 cm LRC (Japón; Uchida y Nishiwaki 1982), tortuga carey = 68.6 cm LRC (Samoa Americana; Witzell 1983), y tortuga golfina = 62.2 cm LRC (Sinaloa, México; Márquez 1990).....	2
2 Hormonas reproductivas y sus funciones.....	12
3 Concentración hormonal a lo largo del ciclo reproductivo en la tortuga de Galapagos ( <i>Chelonoides nigra</i> ).....	14
4 Tabla de descripción de las variables morfométricas que se tomaron (Pritchard y Mortier, 2000).....	24
5 Estadísticas básicas de medidas morfométricas de las 186 tortugas muestreadas de 1996 al 2012 en BLA. ....	28
6 Resultados del Análisis de Componentes Principales obtenidos al incluir todos los organismos del estudio (n=186), donde se presentan las variables morfométricas y los 3 factores, los cuales explican un 91.73% de la varianza de los datos.....	30
7 Resultados del Análisis de Componentes Principales obtenidos al incluir machos e inmaduros (n=127) solamente, donde se presentan las variables morfométricas y los 3 factores, los cuales explican un 83.17% de la varianza de los datos.....	32
8 Resultados del Análisis de Componentes Principales obtenidos al incluir machos y hembras (n=89), donde se presentan las variables morfométricas y los 3 factores, los cuales explican un 83.33% de la varianza de los datos.....	34
9 Resultados del cuarto Análisis de Componentes Principales obtenidos al incluir inmaduros y hembras (n=156), donde se presentan los 2 factores los cuales explican un 85.34% de la varianza de los datos.....	36
10 Intervalos de referencia preliminares para el LCC y LTC.....	38
11 Intervalos de referencia preliminares para el LTC y razón.....	39
12 Intervalos de referencia preliminares para LPreC y LCC.....	40
13 Intervalos de referencia preliminares para LP y razón.....	41
14 Intervalos de referencia preliminares para LRC y razón.....	42
15 Intervalos de referencia finales.....	44

16	Estadísticas básicas de las 65 tortugas muestreadas de 2009 al 2012 en LOL.....	45
17	Componentes principales de todos los organismos muestreados en Laguna ojo de liebre....	46
18	Intervalos de referencia preliminares para LTC y LP.....	50
19	Intervalos de referencia preliminares para LTC y PC.....	50
20	Intervalos de referencia finales.....	51
21	Estadísticas básicas de los 11 organismos sangrados en febrero de 2016 en LOL.....	53
22	Clasificación sexual de los 11 organismos muestreados en LOL de acuerdo a los tres métodos de clasificación.....	54
23	Media $\pm$ error estándar de la media (EEM) y (rango) las concentraciones de testosterona (pg / ml) de muestras de plasma (n = 96) obtenidas a partir de diferentes estados de madurez de las tortugas verdes hembra y macho (n = 69) que se alimentan en San D Diego Bay, CA. Nota: múltiples muestras de sangre fueron recolectadas de 19 tortugas capturadas en varias ocasiones y, por lo tanto, los resultados de estos muestreos adicionales se integran dentro del estado de madurez en el momento de la captura en función del tamaño [longitud recta del caparazón (LRC)] (Allen <i>et al.</i> 2015).....	54
24	Tabla de niveles hormonales de las 11 tortugas muestreadas en febrero de 2016 en LOL.....	55
25	Estadística descriptiva de las 23 tortugas muestreadas y sangradas en julio de 2016 en BLA.....	55
26	Sexo de los 23 organismos muestreados en julio en BLA.....	56
27	Tabla comparativa entre las medidas límites para cada clase ontológica.....	59



# Capítulo 1

---

## 1. Introducción y antecedentes

Existen siete especies de tortugas marinas en el mundo (IUCN, 2007): tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*), tortuga prieta, blanca o verde (*Chelonia mydas*), tortuga caguama o cabezona (*Caretta caretta*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), tortuga lora (*Lepidochelys kempii*), y la tortuga aplanada (*Natator depressus*), la cual es endémica de Australia y la única especie que no anida en costas mexicanas. Según el último informe de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) del 2016, las cinco especies que se encuentran en las costas del Pacífico mexicano, (Cliffton, *et al.*, 1995; Nichols, 2003a); tienen algún tipo de amenaza. *Dermochelys coriacea*, *Lepidochelys olivacea* y *Caretta caretta* están bajo la categoría “vulnerable”, *Eretmochelys imbricata* en “Peligro crítico”, mientras *Chelonia mydas* se clasifica “en peligro de extinción”. Por lo que, se encuentran incluidas en el Apéndice I de los acuerdos de la Convención Internacional para el Comercio de Especies en Peligro de Extinción de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (National Marine Fisheries Service and U.S. Fish and Wildlife Service, 1998), y en los Apéndice I y II de la Convención sobre la Conservación de las especies migratorias (CMS), establecida en 1983. En ámbitos de protección nacional, están incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría “en peligro de extinción” (D.O.F., 2010).

Las tallas mínimas de madurez sexual reportadas para tortugas marinas varían según el área, hábitat, el sexo y la especie. El largo recto de caparazón (LRC) es un indicador común de madurez sexual; para individuos de *C. mydas* se reporta un  $LRC \geq 77.3$  cm como la talla promedio para la madurez (Alvarado y Figueroa, 1991).

Las tortugas maduras realizan migraciones para reproducirse desplazándose desde las zonas costeras de alimentación a las playas de anidación donde nacieron. Estas migraciones son llevadas a cabo cada varios años tanto por las hembras como por los machos, y pueden atravesar amplias regiones pelágicas que frecuentemente se extienden miles de kilómetros (Nichols *et al.* 1999, 2000; Nichols, 2003<sup>a</sup>; Seminoff *et al.* 2002d). Durante periodos en los que no se están reproduciendo, los adultos, viven en zonas costeras de alimentación que frecuentemente coinciden con hábitats en los que se desarrollan las tortugas juveniles (Seminoff *et al.* 2007).

Durante 10 años (1994-2004) de monitoreo en Bahía de los Ángeles, *C. mydas* (Linnaeus, 1758) presentó un rango de tallas entre 45 y 100 cm de la longitud recta del caparazón, con una tasa media de crecimiento de 1.4 cm por año (Seminoff *et al.* 2002c y 2003<sup>a</sup>; tabla 1).

**Tabla 1.** Resumen de las clases de talla y madurez de las tortugas capturadas en BLA de 1994 a 2004. Las áreas sombreadas indican un probable estado de madurez (adultos) con base en la talla media de anidación en la colonia más cercana. Las longitudes medias de caparazón al momento de la anidación son: tortuga prieta = 77.3 cm LRC (Michoacán, México; Figueroa *et al.* 1993), perica = 89.0 cm LRC (Japón; Uchida y Nishiwaki 1982), tortuga Carey = 68.6 cm LRC (Samoa Americana; Witzell 1983), y tortuga golfina = 62.2 cm LRC (Sinaloa, México; Márquez, 1990).

ESPECIE	NO. TORTGAS	RANGO DE TALLAS	MEDIA - DESV. EST	ESTADIOS DE VIDA	DISTRIBUCIÓN DE TALLAS (ESCALA GRIS = PROBABLES ADULTOS)
Tortuga prieta	309	45.0 - 100.0 cm	73.6±0.65	Juveniles y adultos	
Tortuga perica	12	27.2 - 92.7	60.4±5.3	Juveniles y adultos	
Tortuga golfina	9	46.1 - 65.8	57.8±2.1	Juveniles y adultos	
Tortuga carey	7	34.4 - 55.2	39.7±3.2	Juveniles	

### 1.1 Ciclo de vida de *Chelonia mydas*

*Chelonia mydas* es una especie cosmopolita de aguas costeras continentales e insulares en el trópico y subtrópico (Márquez, 1990), su distribución está limitada por el desplazamiento estacional de las isothermas de 20°C hacia el norte y sur (Márquez, 2004) (figura 1).



**Figura 1.** Rango aproximado de distribución de *Chelonia mydas*. (<http://www.californiaherps.com/turtles/maps/xcmymasworldrangemap4.jpg>).

Existen dos grandes subpoblaciones en México, la del Atlántico también conocida como tortuga verde o blanca (Pritchard & Mortimer, 1999; Seminoff, 2004), y la del Pacífico conocida como tortuga prieta o *Chelonia mydas agassizii* (Bocourt, 1868; Carr, 1952). La primera habita en las costas de Europa, África y Norteamérica, la población del Pacífico Oriental se distribuye tanto en las costas continentales como en las islas, principalmente desde el centro de la península de Baja California, centro de México (de Michoacán al Istmo de Tehuantepec), el Salvador – Nicaragua, suroeste de Colombia, Ecuador, Islas Galápagos y norte de Perú; y en temporadas muy cálidas se les puede observar en el sur de Perú y Chile (Márquez, 1996; Gulko y Eckert, 2004; Amorocho y Reyna, 2007). Cada una de estas especies cuenta con sus propios hábitats de alimentación y anidación. En México, la tortuga prieta anida en las playas de Tamaulipas, Michoacán, Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo (Márquez, 1990). Las playas de anidación más importantes para la población del Atlántico en México se encuentran en Quintana Roo, donde se han registrado más de 10 000 anidaciones de tortuga verde en promedio al año; Quintana Roo es una de las cinco regiones del Gran Caribe con mayor número de nidos (Spotila, 2004). Para la población del Pacífico Oriental se han registrado anidaciones desde Baja California Sur y Sinaloa hasta Chiapas y con mayor abundancia en las playas de Colola y Maruata en Michoacán, las cuales fueron decretadas santuarios en 2002 (Alvarado y Delgado, 2005) y en las playas de las Islas Clarión y Socorro

del Archipiélago de Revillagigedo (CONANP, 2011), que representan la segunda zona con mayor anidación en el país para la tortuga verde del Pacífico (SEMARNAT, 2011; Márquez, 2002)(Ver figura 2).

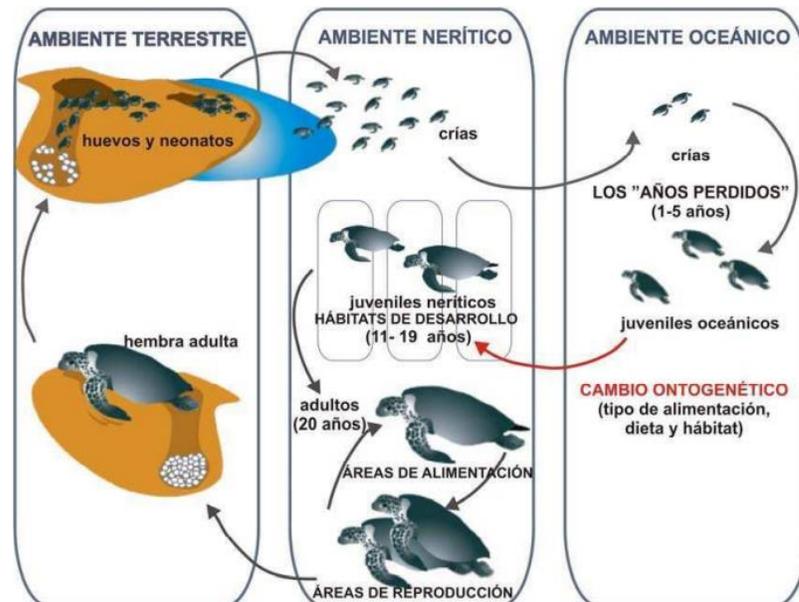


**Figura 2.** Distribución y hábitat de *Chelonia mydas* en México. Fuente: PNCTM, 2009. <http://www.conanp.gob.mx/sig/imgmapoteca/mapoteca.htm> CONANP, 2008.

*C. mydas* ocupa tres diferentes tipos de hábitat en las diferentes fases de su ciclo de vida: playas de anidación, zonas de convergencia en hábitats pelágicos, y zonas de alimentación bentónicas en aguas costeras someras. Durante su desarrollo en el huevo y hasta 48 horas después de la eclosión, su fuente de energía es el saco vitelino, el cual aprovecha hasta que puede alimentarse de manera independiente (Musick y Limpus, 1997). Su dieta es omnívora de neonato a juvenil, pero se vuelve esencialmente herbívora cuando los juveniles cambian del hábitat oceánico al nerítico-costero. Tras su nacimiento, los neonatos se adentran en el mar y se dirigen hacia zonas de convergencia en el océano abierto (Carr, 1986). Después de un periodo de desarrollo en el océano (Reich *et al.*, 2007), los ejemplares juveniles, de un tamaño aproximado de 20-40 cm de longitud curva del caparazón, abandonan el hábitat pelágico-oceánico y se incorporan a hábitats neríticos, cambiando su dieta y pasando a adquirir una alimentación bentónica (Bjorndal, 1980; Balazs, 1982; Musick y Limpus, 1997). Los juveniles se establecen en sitios cercanos a las costas y pueden estar en un área de pocos kilómetros durante períodos prolongados (Seminoff *et al.*, 2002b; Koch *et al.*, 2007). Estos hábitats incluyen generalmente pastos marinos con

algas y fanerógamas marinas, aunque las tortugas prietas también pueden encontrarse en arrecifes coralinos y fondos rocosos. Las áreas de alimentación de los juveniles y adultos se encuentran generalmente en aguas costeras con profundidades de 2 hasta 20 m (Formia, 2002). La temperatura del agua en estos hábitats suele estar en rangos entre 16° y 30°C (Limpus *et al.*, 1994; Formia, 2002). Es posible que juveniles y adultos salgan a la playa a tomar baños de sol, este comportamiento puede ser una forma de termorregulación, al incrementar la temperatura de su cuerpo hacen más eficientes algunos procesos metabólicos (Spotila *et al.*, 1997). Las principales zonas de alimentación en el océano Pacífico para esta especie abarcan desde la península de Baja California hasta las costas occidentales de América Central y América del Sur hasta el norte de Perú, incluyendo Islas oceánicas como la Isla del Coco (Costa Rica), la isla de Gorgona (Colombia) y el Archipiélago de las Isla Galápagos (Monzón-Argüello *et al.*, 2011).

Las tortugas hembras cuando llegan a la madurez sexual, realizan migraciones reproductivas que las llevan de sus zonas de alimentación a las playas de anidación donde nacieron. Estas migraciones son llevadas a cabo cada 2 a 4 años, y pueden desplazarse cientos o hasta miles de kilómetros (Nichols *et al.*, 2000; Nichols, 2003<sup>a</sup>; Seminoff *et al.*, 2002d). En el ciclo de vida de la tortuga prieta proveniente de las playas de anidación de Michoacán, BLA es un área de forrajeo de gran importancia, por su alta productividad biológica y la presencia de hábitat clave para la especie (Nichols *et al.*, 2000; Nichols, 2003a) (figura 3).



**Figura 3.** Esquema general del ciclo de vida de las tortugas marinas. Diseñado con base en el patrón de ciclo de vida tipo II de Bolten (2003) y CIA (2006).

## 1.2. Determinación de sexo y razón de sexos

En los organismos que se reproducen sexualmente, la proporción sexual es un factor importante para la determinación del crecimiento poblacional. Las tortugas marinas son en gran medida ectotérmicas, ya que necesitan el calor de su medio circundante como energía para poder llevar a cabo actividades diarias básicas como moverse de un lugar a otro y digerir sus alimentos (Seminoff *et al.*, 2007).

El sexo de las tortugas marinas como el de otros réptiles está determinado por la temperatura de incubación, por lo que se dice que el sexo es dependiente de la temperatura (SDT). Este es un tipo de determinación sexual ambiental, en que el sexo de cada individuo se define después de la fertilización, según la temperatura de incubación<sup>1</sup> de los huevos predominante durante un periodo termosensible el cual corresponde al segundo tercio del periodo de incubación en tortugas marinas (Yntema y Mrosovsky, 1982; Broderick *et al.*, 2001; Glen y Mrosovsky, 2004). La temperatura a la cual cada embrión tiene igual probabilidad de diferenciarse en macho o hembra es conocida como temperatura pivote (TP); teóricamente, un nido mantenido a TP aproximadamente 29.3 – 29.5° C para *C. mydas* (Godfrey and Mrosovsky, 2006; Godfrey, 1997; Spotila, *et al.*, 1987; Standora and Spotila, 1985; Rimblot *et al.* 1985), durante el periodo termo sensible produce una proporción de sexos de 1:1 (50% machos y 50% hembras). Dependiendo de las condiciones ambientales, las crías tardan entre 45 y 70 días en desarrollarse dentro del huevo. A temperaturas mayores (30°C o más) el desarrollo se acelera y también aumenta la proporción de hembras. Por otra parte a menores temperaturas (entre 22 y 27°C) el proceso es más lento y la proporción de machos es mayor (Mrosovsky e Yntema, 1980).

La determinación de la proporción de sexos en tortugas marinas es uno de los parámetros que se requieren para estimar el estatus y la dinámica de la población y con ello desarrollar estrategias efectivas de conservación (Eckert *et al.*, 2000). Conocer parámetros demográficos tales como tasas de crecimiento, sobrevivencia, reclutamiento, edad de primera reproducción, porcentaje de animales reproductivamente activos cada año, edad y duración de la historia de vida reproductiva y la proporción sexual de cada población es esencial para el desarrollo de modelos poblacionales (Owens, 1997). Los modelos poblacionales que describan los parámetros antes mencionados, son especialmente importantes para propósitos de conservación y manejo de especies clasificadas como amenazadas (Casale *et al.*, 2006), como es el caso de las tortugas marinas. La segregación de sexos determinada por la temperatura, permite predecir la proporción sexual en tortugas marinas (Godley *et al.*, 2001<sup>a</sup>; Abella *et al.*, 2007<sup>a</sup>), sin embargo se ha observado que las proporciones sexuales en esas especies no coinciden con las

---

<sup>1</sup> Temperatura del nido durante el periodo de incubación.

expectativas teóricas 1:1 (de acuerdo a la temperatura pivotal de incubación en la cual se produce una proporción igual de machos y hembras) (Godley *et al.*, 2001a; Mrosovsky *et al.*, 2002, Delgado, 2008; Abella, 2010; Marco, *et al.*, 2010 y Varo Cruz, 2010) y un aumento significativo de la producción de hembras provocando una razón de sexos acentuadamente sesgado en algunas poblaciones (Godley *et al.*, 2001a y Mrosovsky *et al.*, 2002). Este fenómeno de feminización puede tener implicaciones significativas en la dinámica de apareamiento y la estructura de las poblaciones (Orzack, 2002), lo que a mediano plazo puede ocasionar extinciones locales (Matsuzawa *et al.*, 2002).

Por otra parte, durante el desarrollo embrionario la temperatura del nido se correlaciona inversamente con la determinación del sexo (Yntema y Mrosovsky, 1980), con el tamaño y peso de los neonatos (Burgess *et al.*, 2006) y con el periodo de incubación (Miller, 1985) ya que la temperatura de incubación influencia la morfología y supervivencia de los neonatos y las temperaturas altas aceleran el desarrollo embrionario (Bull y Vogt, 1979); de igual manera guarda una correlación inversa con el éxito de eclosión (Mrosovsky, 1994; Broderick *et al.*, 2000; Hays *et al.*, 2001, 2003; Godley *et al.*, 2001a; Carthy *et al.*, 2003), el cual aunque dependiente de otros factores, como depredación, humedad, aparamiento, salinidad, entre otros parámetros (Miller *et al.*, 2003; Da Graça *et al.*, 2010), ocurre en un rango térmico determinado (tolerancia térmica embriogénica o TTE; Miller *et al.*, 2003).

### **1.3. Cambio global**

Las tortugas marinas dependen de los dominios costeros y oceánicos para su reproducción y alimentación (Spotila, 2004), la alteración de las condiciones térmicas por el cambio climático podría tener impactos negativos (Hawkes *et al.*, 2009). Tomando en cuenta que en estos organismos la determinación de sexo es dependiente de la temperatura, es razonable suponer que el calentamiento global, podría favorecer una mayor proporción de hembras en la población. Hawks *et al.* (2007) sostiene que el aumento de temperatura podría estar feminizando poblaciones de tortugas marinas y que de ser ciertos dichos pronósticos, el calentamiento global del planeta se perfila como un riesgo para estas especies. Más aun, estudios recientes revelan cambios ecológicos importantes de la fauna y flora tanto terrestre como marina debido al cambio climático (Whalter *et al.*, 2002; Parmesan y Yohe, 2003; McMahon y Hays, 2006).

Las estimaciones actuales predicen un incremento de 1.8 a 4°C en las temperaturas globales dentro del próximo siglo (IPCC, 2014), de ser así, temperaturas más altas pueden afectar a las tortugas marinas

durante el desarrollo embrionario ya que, una incubación exitosa de los nidos solo es posible dentro de límites térmicos específicos y es letal por debajo de los 23°C y sobre los 35°C (Ugalde, 1986; Ackerman, 1997; Mrosovsky, 1980). Existe preocupación de que un aumento en las temperaturas de las playas de anidación podría sesgar las proporciones sexuales significativamente hacia las hembras (Medellín *et al.*, 2009) y si las temperaturas son extremadamente altas, las implicaciones pueden ser mucho más serias, llevando a una mortalidad alta en nidos de algunas localidades. Un aumento de 2°C en la temperatura de la arena disminuiría drásticamente el número de machos de tortuga marina e incrementos mayores de 2°C, podrían suponer la pérdida de importantes áreas de anidación de tortugas marinas, al dejar de ser viable la incubación por acercarse al límite crítico o letal (Hawkes, 2009). Lo anterior podría llevar a una disminución en el tamaño de la población, aumentando así la vulnerabilidad de extinción de estas especies (Baker *et al.*, 2009).

Existen estudios que sugieren que el inicio de las temporadas de anidación se están adelantando como respuesta a un aumento de la temperatura superficial del agua causado por el cambio climático (Weishampel *et al.*, 2004 y Pike *et al.*, 2006). Un ejemplo de ello es lo documentado por Pike *et al.* (2006) quienes sugieren que las temporadas de anidación se están acortando en Florida. Otros autores hacen hincapié en fenómenos relacionados con el cambio climático, por ejemplo estudiando las relaciones entre el tiempo de llegada de las tortugas a las playas de anidación, la época y frecuencia de tormentas tropicales y huracanes, la destrucción de nidos etc. (Pike y Stiner, 2007); o haciendo predicciones del impacto que puede tener un aumento del nivel del mar en la pérdida de hábitat de playa para la anidación de las tortugas. En el Caribe, por ejemplo Fish *et al.* (2005) encontraron que un aumento de 0.5 m del nivel del mar podría tener como resultado una pérdida del 32% del hábitat de anidación de las tortugas marinas que allí se reproducen.

Recientes estudios demuestran que altas temperaturas superficiales del mar (TSM) reducen la duración de hibernación para las tortugas caguamas (*Caretta caretta*) permitiéndoles que estén activas más tiempo e incrementando su éxito de forrajeo (Hochscheid *et al.*, 2005, 2007; Broderick *et al.*, 2007; Hawkes *et al.*, 2007b). Sin embargo, el comportamiento reproductivo (periodo entre intento de anidaciones sucesivas, periodo entre estaciones de anidación sucesivas, numero de anidaciones, etc) es afectado por las altas TSM (Sato *et al.*, 1998; Hays *et al.*, 2002; Solow *et al.*, 2002; Mazaris *et al.*, 2004; Saba *et al.*, 2007). Además se ha teorizado que las condiciones climáticas afectan la disponibilidad de alimento lo cual incidirá indirectamente al desempeño reproductivo de los individuos. (Broderick *et al.*, 2001; Saba *et al.*, 2008).

#### 1.4 Reproducción y control endocrino de la reproducción

El sistema nervioso central desempeña un papel relevante en el control de la reproducción bajo dos aspectos fundamentales: en primer lugar es el encargado de integrar las señales externas (luz, temperatura, fotoperiodo, salinidad, nutrientes, factores sociales como presencia de otros individuos, densidad de población, proporción de sexos, etc.) e internas (hormonales) lo cual realiza mediante la captación de dichas señales a través de sistemas sensoriales específicos y, en segundo lugar, debe transmitir las señales a los efectores endocrinos, a través de una acción moduladora sobre la actividad de la hipófisis (Peter *et al.*, 1991; Kah *et al.*, 1993; Trudeau, 1997).

Los ciclos de la reproducción están regulados por estados fisiológicos y cambios ambientales. Para que la reproducción tenga éxito es preciso que se produzca una sincronización de los reproductores con las variaciones de los factores ambientales. Esta sincronización permitirá que una vez que los individuos alcancen la madurez sexual e inicien la reproducción, ésta se desarrolle de manera secuencial con muy pocas variaciones a lo largo de la vida. En algunas especies de vertebrados superiores, los días largos estimulan el desarrollo gonadal así que la época de reproducción ocurre generalmente en el verano, pero una vez terminada ésta el estímulo endógeno se modifica, y el animal se prepara para la inmediata migración hacia las zonas de alimentación (Kenneth *et al.*, 1993; Carrillo *et al.*, 1995; Márquez, 1996).

En la mayoría de los reptiles factores como el fotoperiodo, temperatura y la variación en las concentraciones de las gonadotropinas –FSH y LH– y andrógenos (testosterona) influyen directamente en los ciclos reproductivos (Callard *et al.*, 1976a; Licht, 1970; Licht y Crews, 1975; Licht y Tsui, 1975; Lipner *et al.*, 1974). Las tortugas marinas poseen una glándula pineal fotosensitiva bien desarrollada que produce melatonina la cual se ha demostrado que regula los ciclos reproductivos en muchas especies de vertebrados (Owens, 1997).

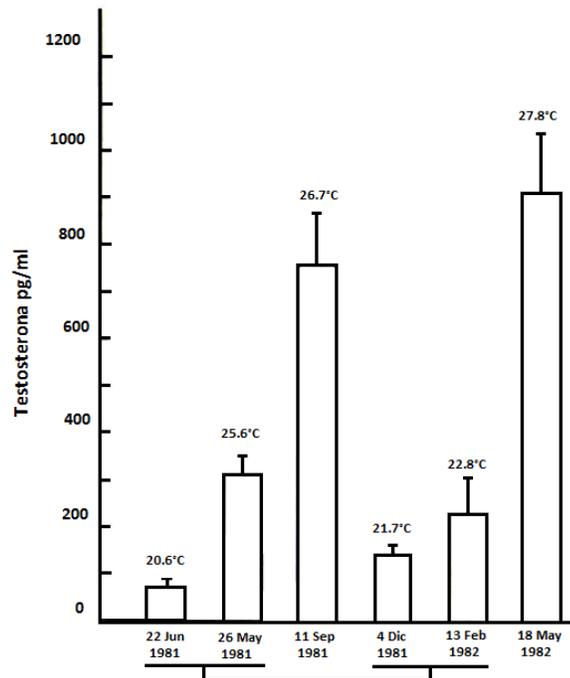
Los patrones reproductivos de las tortugas marinas están fuertemente condicionados y relacionados con las migraciones a las playas de anidación (Marco *et al.*, 2009). Los adultos realizan migraciones desde las áreas de alimentación a las playas de anidación para la reproducción cada 2 - 4 años, donde realizan varias puestas cada 12-15 días (Mazón-Argüello *et al.*, 2011). Esta secuencia cíclica no es definitiva, ya que en ocasiones se retrasa por un año o se suspende por periodos más largos, debido a escasez de alimento, cambios ambientales extraordinarios (v.gr: efecto de las corrientes cálidas producidas por el fenómeno de "El Niño") (Limpus y Nichols, 2000), enfermedades, etc. También es normal que estas irregularidades se presenten en el ciclo de individuos muy jóvenes o muy viejos, por lo que los mejores

reproductores son los individuos maduros, con varias temporadas de experiencia. A estas conclusiones han llegado Wood y colaboradores (1983) con las tortugas blanca y lora, cultivadas en el Caribe, en la granja de la isla Gran Caimán, donde no sólo el número total de huevos desovados por temporada va aumentando con la edad de los animales, sino que también se incrementa la fertilidad, es decir, la eficiencia en la reproducción aumenta rápidamente con el tiempo hasta un límite máximo, en el cual los adultos se conservan durante varias temporadas, para después declinar con el envejecimiento (Márquez, 1996).

El ciclo reproductivo presenta además del componente anual una componente mensual, quincenal o decenal y el momento del desove puede ser influido principalmente por las fases lunares, mareas, temperatura e incluso fuerza y dirección del viento. Además, por características morfológicas y fisiológicas, el desove no ocurre en una sola puesta, sino que las tortugas en cada temporada desovan de 2 a 5 o más ocasiones y la frecuencia y el número de estos desoves es una característica de la especie (Márquez, 1996). En el caso de las tortugas lora (*L. kempfi*) y golfina (*L. olivacea*), que son principalmente anuales y forman arribazones, el ciclo es lunar, de 28 días, generalmente durante los cuartos menguantes. Para las demás especies, que no son anuales, el ciclo principalmente es de 10 a 14 días, aunque en algunos casos, como por ejemplo en la tortuga laúd (*D. coriacea*), se observa un claro pico durante las lunas nuevas; además, en esta especie por lo general el número de puestas es mayor de tres y en ocasiones un mismo individuo desova más de siete veces en una sola temporada (Márquez, 1996).

De la fase pelágica de las tortugas marinas no se conoce nada sobre su comportamiento hormonal pero organismos en su fase post-pelágica muestran niveles de testosterona donde los machos muestran una estacionalidad aparentemente dependiente de la temperatura esto es, los niveles de testosterona están correlacionados con la temperatura. Según Limpus (1985) es posible que el pico en niveles de testosterona (figura 4) pueden inducir a los machos a moverse a mejores áreas de forrajeo en donde permanecerán hasta que inicien su migración reproductiva. Además, de acuerdo con Limpus (1985) durante la etapa de subadultos las tortugas marinas pasan de un periodo controlado por la temperatura a lo que se cree que sería un periodo controlado por el fotoperiodo.

Los niveles elevados de testosterona coinciden con la receptividad al apareamiento y esto dura solo unos pocos días, esto sugiere que la testosterona en realidad inicia el comportamiento reproductivo de las hembras el cual ocurre durante los meses de verano cuando, según Márquez (1996), los días largos estimulan el desarrollo gonadal.



**Figura 4.** Niveles de testosterona en tortugas marinas inmaduras *Kemps ridley* en el mar de Arama, Galveston, mostrando una clara dependencia de la temperatura en este estadio. (Tomado de la tesis de Morris, 1982 de la Universidad de Texas).

Mientras que las hembras aparentemente no tienen desarrollado ningún factor sexual secundario, en su estudio, Morris (1982) presenta una correlación positiva entre la temperatura ambiente y los niveles de testosterona en animales jóvenes reforzando la idea de que machos juveniles y subadultos con la edad segregan más testosterona. La gonadotropina y testosterona estimulan el cortejo de apareamiento en machos inmaduros. Así mismo, se cree que las uñas de las aletas y el ablandamiento de la cavidad del plastrón es controlado por la testosterona en machos.

### 1.5 Esteroides de la reproducción

Las hormonas andrógenas han demostrado ser de gran importancia en la expresión de las características sexuales secundarias en varias especies de quelonios (Dodd, 1960). En la pubertad en tortugas marinas macho la cola alargada se convierte virtualmente prensil. Además, la testosterona tiene un fuerte efecto estimulante sobre el comportamiento reproductivo (Dodd, 1960).

Los estrógenos en las hembras aumentan los niveles plasmáticos de unión al calcio (Dessauer, 1970). Además, los oviductos de reptiles responden notablemente a estrógenos exógenos (Callard *et al.*,

1972). El trabajo de campo realizado por Booth and Peters (1972) indica el comportamiento característico para *C. mydas*, antes, durante y después de distintos períodos de receptividad. Crews (1973) ha demostrado una correlación entre el momento de la ovulación y la receptividad para el apareamiento en *A. carolinensis* (especie de lagarto perteneciente a la familia Polychrotidae) y postula que la receptividad para el apareamiento está regulada por la liberación de los esteroides ováricos.

Existen evidencias que la tortuga prieta puede poseer dos gonadotropinas, la FSH, encargada de regular el crecimiento gonadal, y la LH, cuya función es regular la maduración final de los gametos así como la ovulación/espermación (Weltzien *et al.*, 2004) (ver tabla 2).

**Tabla 2.** Hormonas reproductivas y sus funciones.

HORMONA	EFECTOS		CITAS
	MACHOS	HEMBRAS	
<b>Testosterona</b>	Produce el desarrollo paulatino de los caracteres sexuales secundarios: elongación del apéndice impar, uñas del segundo dedo fuertemente curvas, ablandamiento de la línea media del plastrón, maduración de los túbulos seminíferos y comienzo de la espermatogénesis.	Incrementa el tamaño y el desarrollo de los ovarios y oviductos.	Wibbels <i>et al.</i> , 1990; Owens, 1997; Hamann <i>et al.</i> , 2003 y Wyneken, 2004
<b>Estrógenos</b>	N/A	Preparan a la hembra para la cópula y fertilización	Pough <i>et al.</i> , 2004.
<b>Progesterona</b>	N/A	Inhibe los ciclos de vitelogénesis y estimula la contractibilidad del oviducto.	Peñuela, 2004.
<b>Hormona foliculoestimulante (FSH)</b>	Promueve la espermatogénesis.	Tiene una acción estimuladora del desarrollo folicular temprano y de la preparación de las gónadas para las acciones posteriores de la LH, además de iniciar la secreción de los estrógenos.	Prieto-Gómez y Velázquez-Paniagua, 2002; Swanson, 1991 y Querat <i>et al.</i> , 2000.
<b>Luteinizante (LH)</b>	Favorece la secreción de andrógenos.	Regula los procesos de ovulación y secreción de progesterona en el ovario.	Suzuki <i>et al.</i> , 1988a, b, c, d.

N/A (No aplica).

Los esteroides consisten en un grupo de hormonas de naturaleza lipídica, derivadas del colesterol, con funciones fisiológicas diversas entre las que destacan el metabolismo de carbohidratos, balance de iones

y agua o la maduración sexual (Rodríguez, 2014). Los esteroides sexuales, también conocidos como esteroides gonadales, son hormonas esteroides que interactúan con los receptores androgénicos o estrogénicos de vertebrados (Guerriero, 2009) y son producidos por la corteza adrenal, los andrógenos, presentan una acción similar a la de los esteroides producidos en las gónadas masculinas (Accordi y Gallo, 1982). En machos, los niveles de testosterona producidos a partir de los andrógenos corticales tienen una importancia fisiológica insignificante en comparación con las cantidades de esta hormona producidas por los testículos. Sin embargo, en el caso de las hembras, la testosterona “cortical” representa la principal fuente de esteroides sexuales cuando disminuye la actividad gonadal (Accordi *et al.*, 1984). El término hormona sexual es casi siempre sinónimo de esteroide sexual. Las hormonas no esteroideas hormona luteinizante (LH), de la cual dependen los procesos de ovulación y secreción de esteroides gonadales, especialmente de progesterona en el ovario y de andrógenos en el testículo, la hormona foliculoestimulante (FSH), a la cual se le asigna una acción estimuladora del desarrollo folicular temprano y de la preparación de las gónadas para las acciones posteriores de la LH y hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) encargada de controlar la función de la hipófisis anterior induciendo la liberación de la FSH y la LH al torrente sanguíneo para llegar finalmente a las gónadas, generalmente no son consideradas hormonas sexuales, a pesar de que su participación en la reproducción (Suzuki *et al.*, 1988<sup>a</sup>, b, c, d; Swanson, 1991; Querat *et al.*, 2000).

El conocimiento sobre la endocrinología de los quelonios es exiguu, en especial de *Chelonia mydas* y aunque se han hecho estudios endocrinos en algunas especies de tortugas marinas no se conocen los valores hormonales para las especies presentes en México, específicamente en la población que se encuentra en Bahía de los Ángeles (Avendaño *et al.*, 2002).

Casares *et al.* (1999), describieron el comportamiento hormonal de la tortuga de Galápagos (*Chelonoides nigra*) a lo largo del ciclo reproductivo (tabla 3) el cual comprende las etapas de celo, temporada reproductiva y temporada de anidación.

**Tabla 3.** Concentración hormonal a lo largo del ciclo reproductivo en la tortuga de Galapagos (*Chelonoides nigra*).

	Valores de referencia		Celo / momento de la ovulación		Temporada reproductiva		Temporada de anidación	
	Hembras	Machos	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra
<b>Testosterona</b>	0.02-2.87 ng/ml	1-69 ng/ml	*****	*****	*****	*****	**	**
<b>Corticosterona</b>	VND*-2 ng/ml	0.3-2.9 ng/ml	*****	*****	*****	*****	**	**
<b>Estradiol</b>	21-345 pg/ml			*****		***		*
<b>Progesterona</b>	0.1-3.7 ng/ml							*****

Los asteriscos indican la presencia o ausencia de cada hormona (según sea el caso) donde un asterisco indica presencia casi nula y 5 asteriscos indican el pico máximo. VND\* Valores no detectables (modificado de Avendaño *et al.* 2002).

La concentración de testosterona (T) se ha estudiado en tortugas marinas inmaduras, principalmente tortuga caguama, con la finalidad de validar su uso para la determinación de la proporción sexual en poblaciones silvestres (Owens *et al.*, 1978; Wibbels *et al.*, 1987b; Bolten *et al.*, 1992; Gross *et al.*, 1995 y Braun-McNeill *et al.*, 2007).

Los estrógenos tienen un papel muy importante en la reproducción de las tortugas ya que regulan importantes procesos en las hembras, como el crecimiento y desarrollo del tracto reproductivo, el desarrollo de características sexuales secundarias y el ciclo estral. Alguna alteración en cualquiera de estos procesos puede causar severos efectos en la eficiencia reproductiva de un organismo (Palmer *et al.*, 1998).

### 1.6 Clasificación de sexos mediante caracteres secundarios en *Chelonia mydas*

En la actualidad, los estudios para la determinación de sexos mediante el uso de medidas morfométricas y la expresión de los caracteres sexuales secundarios es casi nula, a pesar de que algunos autores como Limpus (1994), Ross (1994) y Wibbels (2000) entre otros, hayan planteado criterios de clasificación de sexos mediante caracteres secundarios, todavía sigue resultando un tema de incertidumbre, por la falta de estudios comparativos robustos. Heithaus *et al.* (2005), realizaron la diferenciación sexual de los individuos de las especies *Chelonia mydas* y *Caretta caretta* mediante el uso de medidas morfométricas,

dichos autores clasificaron como machos a todo aquel individuo con longitudes de cola > 25 cm mientras que los individuos con colas cortas y LCC > 100 cm se le clasificó como probable hembra, argumentando que la mayoría de los machos deberían haber madurado y desarrollado largas colas. Se considera que los análisis previos al diseño de este documento, se realizaron de una manera incompleta ya que no cuentan con ningún tipo de calibración que dé robustez a su estudio en el que cabe resaltar se descubrieron individuos que fueron sexados como hembras, que resultaron ser machos, o individuos clasificados como sexo inmaduro que podrían ser machos con maduración tardía. Cabe señalar la importancia de las variables PC y LTC, como caracteres secundarios para la diferenciación sexual, así como la toma de las nuevas medidas en el modelo largo pre cloacal (LPreC) y largo post cloacal (LPC).

## 1.7 Justificación

La proporción sexual es un factor importante para la determinación de la dinámica poblacional, por lo que es necesario tener un método preciso de determinación de sexo que permita estimar la proporción sexual de tortugas marinas. Existen varios métodos directos para determinar sexos, en crías o neonatos mediante la disección y evaluación de las gónadas, en inmaduros, laparoscopia y medición de testosterona en muestras de sangre. Para los adultos, los machos desarrollan una cola larga y musculosa durante la pubertad, sin embargo se debe tener cuidado porque es posible confundir machos inmaduros por hembras pequeñas (Limpus y Reed, 1985) y machos tardíos por inmaduros. El sesgo principal para una toma de datos más uniforme, es decir, para obtener machos, hembras y juveniles en el mismo sitio es asociado al comportamiento en la ruta migratoria por lo que una manera de minimizar este sesgo es muestrear y sexar tortugas en las áreas de alimentación durante una temporada del año de no migración, con esto se estarían teniendo individuos más representativos de toda la población ya que se incluirían inmaduros y adultos (Bjorndal *et al.*, 2005). Es por ello, que resulta de interés examinar la proporción de sexos en adultos de tortuga prieta en Bahía de Los Ángeles principal sitio de alimentación para la especie dentro del Golfo de California.

## 1.8 Hipótesis

Es posible determinar el sexo de *C. mydas* mediante modelos matemáticos a partir de mediciones morfométricas y calibradas con perfiles hormonales (niveles de testosterona y estradiol).

Las medidas morfométricas largo pre cloacal y largo post cloacal mejoran el modelo propuesto por Solana-Arellano & Santacruz-López (2012) para *Chelonia mydas* para el área de estudio.

La razón de sexos para la especie *Chelonia mydas* en el área de estudio esta sesgada hacia las hembras.

## 1.9 Objetivos

### Objetivo General

Usar modelos alométricos para generar métodos precisos de determinación sexual en adultos y juveniles de *C. mydas* y calibrar dichos modelos con los perfiles hormonales de los organismos sexados, para obtener estimaciones confiables de la razón de sexos.

### Objetivos específicos

- Establecer mediante estadística multivariada las medidas morfométricas que se relacionan con los caracteres sexuales secundarios, incluyendo las dos nuevas mediciones (largo pre y post cloacal).
- Ajustar los modelos alométricos con las variables encontradas por métodos multivariados para la determinación de sexos de organismos inmaduros y adultos de *C. mydas*.
- Calibrar o corroborar el sexo de cada individuo determinado por el modelo por medio de su perfil hormonal.
- Determinar el sexo de *C. mydas* mediante modelos matemáticos a partir de mediciones morfométricas y calibrar con perfiles hormonales (niveles de testosterona y estradiol).

- Integrar las medidas morfométricas largo pre cloacal y largo post cloacal a los modelos matemáticos para el área de Bahía de los Ángeles para el sexado de esta especie.
- Determinar la razón de sexos para la especie *Chelonia mydas* en el área de estudio.

## Capítulo 2

### 2. Metodología

#### 2.1 Áreas de Estudio

##### Bahía de los Ángeles

Bahía de los Ángeles se encuentra en el estado de Baja California, situado en la costa oeste del golfo de California, a 540 Km de Ensenada ( $28^{\circ} 95' N$  y  $113^{\circ}55' O$ ) (Figura 4). Presenta un clima árido, altamente influenciado por la parte desértica de la península, con una precipitación media anual de  $60.5 \text{ mm a}^{-1}$  y una tasa de evaporación elevada (Cavazos, 2008). El área está dividida en Zona Peninsular y Zona Insular, las cuales constituyen la Reserva de la Biosfera de Bahía de Los Ángeles, Canal de Ballenas y Salsipuedes (D.O.F., 2007).

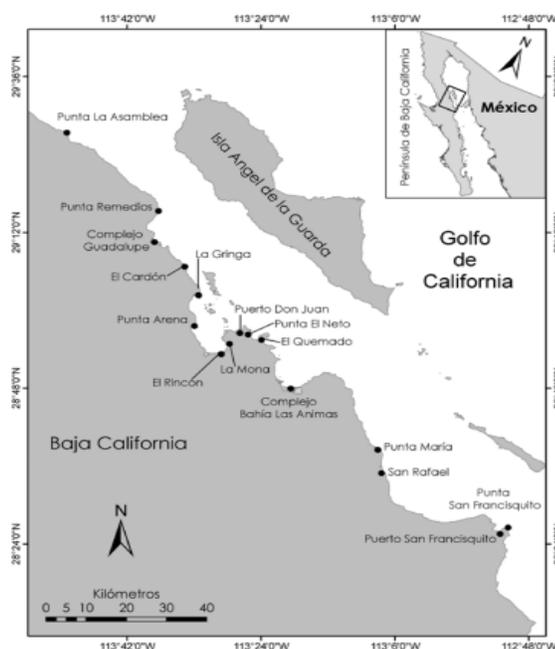
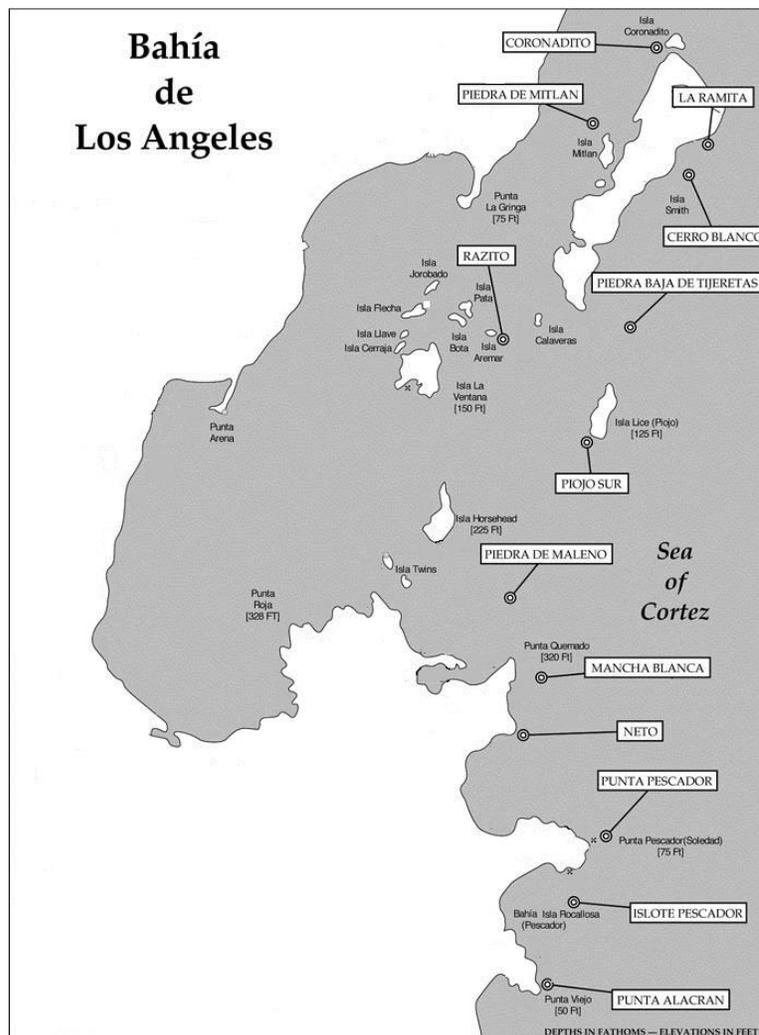


Figura 5. Mapa de localización del área de estudio (Pacheco *et al.*, 2003).

La Zona peninsular es considerada, desde el punto más al norte, Bahía de Guadalupe ( $29^{\circ}13'12''N$ ;  $113^{\circ}39'W$ ), hasta la región más sureña, Ensenada Blanca ( $28^{\circ}24'36''N$ ;  $112^{\circ}51'W$ ), aunque en el presente trabajo se aborda hasta punta El Alacrán ( $28^{\circ}53'23.3''N$ ;  $113^{\circ}22'3.1''W$ ). Esta se compone de una serie de bahías, las cuales presentan ambientes muy diversos, al disponer de fondos muy variables, desde rocosos de grava y cantos rodados, hasta arenas de grano fino-medio (Barnard y Grady, 1968; Pacheco *et*

al., 2008). La principal bahía y la que da nombre a la región, es Bahía de Los Ángeles, la cual tiene aproximadamente una extensión de 60 km<sup>2</sup>, con una profundidad hasta 40-50 m.



**Figura 6.** Bahía de Los Ángeles. Modificado de <http://www.mexfish.com/bola/bola/bolaytmp/bolaytmp.htm>.

La zona insular está compuesta por 17 islas, de las cuales, 10 se sitúan frente a la bahía principal, actuando como protección de la parte peninsular ante la dinámica marina que se da en mar abierto. Están constituidas por fondos muy variables, donde se alberga una gran diversidad tanto de invertebrados (esponjas, anémonas, bivalvos, estrellas de mar, poliquetos, platelmintos y gasterópodos), como de macroalgas. En determinados puntos, como Puerto Refugio, Canal Mejía o Isla Cabeza de Caballo, esta riqueza de organismos viene asociada a la presencia de mantos de rodolitos, los cuales actúan como un sistema arrecifal (Riosmena *et al.*, 1999; Steller *et al.*, 2009).

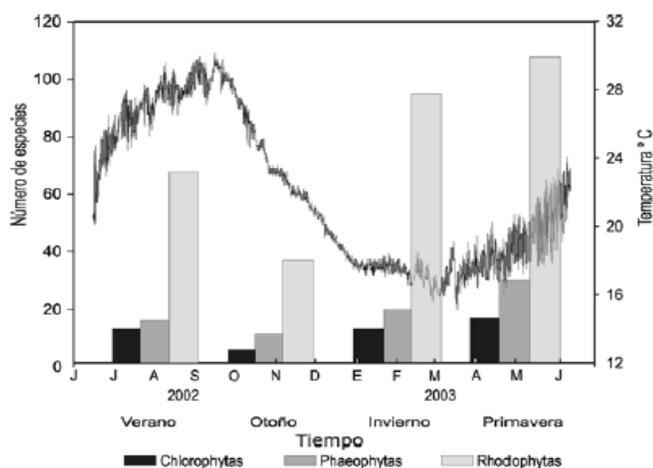
Oceanográficamente, la morfología de la costa, junto con el sistema de vientos y la batimetría, juegan un papel fundamental en la dinámica marina de la región (Cavazos, 2008). Los vientos adoptan mayor magnitud en la región del Canal de Ballenas, el cual se caracteriza por su extremo dinamismo oceanográfico, siendo influenciado a su vez por las corrientes de marea. Esto produce una alta mezcla en la columna de agua, presentando situaciones semejantes a las ocurridas en regiones de surgencias continuas (Amador *et al.*, 1991; Álvarez, 2008). La circulación marina dentro de la bahía se debe principalmente al esfuerzo del viento sobre la superficie del mar. En invierno, los vientos dominantes son los de componente nor-noroeste, generando una circulación prácticamente paralela a costa, de Norte a Sur. En verano, los vientos dominantes son los provenientes del este-sureste, ocasionando que la circulación se invierta, siendo desde el Sur al Norte de la bahía. Primavera y otoño, suponen regímenes intermedios de circulación, donde el patrón de vientos es variable tanto en dirección como intensidad (Amador *et al.*, 1991). En el extremo sur de la bahía (zona El Rincón), debido al flujo de agua continuo, se crea un giro de carácter anticiclónico, lo cual propicia la retención de nutrientes, y por ende, un aumento en la productividad (Hernández, 2011).

La temperatura superficial media anual del agua es de  $22.7 \pm 1.4$  °C, y presenta una marcada estacionalidad, pasando de las temperaturas más bajas en Enero-Febrero (14-15 °C), a las más altas entre julio-agosto (28-31 °C) (Seminoff, 2000; Hernández, 2011).

Por otra parte, el sistema marino y costero de BLA se caracteriza por una alta productividad que presenta una variabilidad estacional muy marcada (Cavazos, 2008). En primavera, la diversidad y abundancia de especies es mayor a lo encontrado para la estación de otoño, patrón característico de abundancia de especies de la costa oeste del Golfo de California. El cual se explica debido a que en invierno, el agua fría y rica en nutrientes que entra por la zona norte de la bahía, proviene del Canal de Ballenas, donde se dan fenómenos de surgencia con aguas altamente productivas. Además, una menor turbulencia y un progresivo aumento de la temperatura superficial del mar, favorece la aparición tanto de microalgas como de grandes parches de macroalgas, que son el soporte de hábitats costeros de la zona. Por el contrario, en otoño, la circulación se da de Sur a Norte, donde se recibe una masa de agua ecuatorial pobre en nutrientes, debido a los cambios en la temperatura del mar y a eventos de turbulencia eventuales (Álvarez *et al.*, 1978; Pacheco *et al.*, 1992; Pacheco y Zertuche, 1996a, b; Aguilar *et al.*, 2000). Las características oceanográficas de la región que propician tal variabilidad, han permitido la presencia de una alta proporción de endemismos en la zona (Espinoza, 1993). Además, áreas con alta turbulencia, donde se mantienen altos niveles de nutrientes suficientes para sustentar una elevada

productividad primaria, pueden funcionar como áreas de refugio para especies migratorias ante eventos de El Niño (Santamaría *et al.*, 1994; Heckel *et al.*, 2007; Seminoff *et al.*, 2007).

Las macroalgas más abundantes en la región son *Gracilariopsis lemaneiformis* y *Gracilaria robusta* (algas rojas), *Sargassum johnstoni* (alga parda), y *Ulva lactuca*, *Codium sp.*, y *Chaetomorpha sp.* (algas verdes). Su presencia está directamente relacionada con los cambios en la temperatura superficial del mar (Figura 6), por ello, tanto los sistemas costeros como insulares, experimentan cambios sustanciales a lo largo del año (Pacheco y Zertuche, 1996a, 1996b, 1996c; Seminoff, 2000). *Gracilariopsis lemaneiformis* forma extensas praderas en zonas someras a lo largo de toda la bahía, pero los principales puntos donde alcanza una mayor biomasa, son en la zona del Bajo y El Rincón (Pacheco *et al.*, 1999). Esta zonas suponen un hábitat primordial para la tortuga prieta (*Chelonia mydas*) en BLA, al ser uno de sus elementos principales en la dieta, junto con los “bosques” de invertebrados que se sitúan en aguas más profundas en el centro de la bahía (Seminoff *et al.*, 1999).



**Figura 7.** Variabilidad del número de especies de las principales algas presentes en BLA con respecto a la temperatura, a lo largo de un año. (Pacheco *et al.*, 2003a).

## Laguna Ojo de Liebre

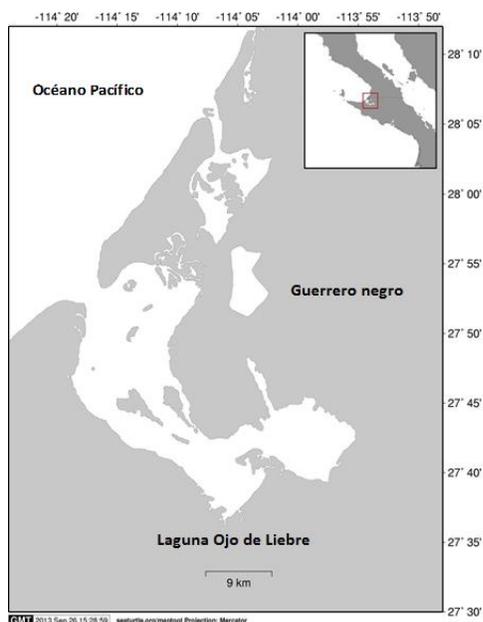
La laguna Ojo de Liebre forma parte del complejo lagunar que incluye a las Lagunas de Guerrero Negro y Manuela ubicado en la porción media occidental de la Península de Baja California. En 1972 fue decretada como Zona de Refugio para Ballenas y en el año 2000 se llevó a cabo su re-categorización y fue nombrada Reserva de la Biosfera (D.O.F., 2000). Es una laguna costera localizada entre los 27°59' y

27°54' N y los 113°55' y 114°31' W, la cual comprende una superficie de 36 mil ha, con una longitud de 40 km y un ancho promedio de 6 km (Figura 7).

En general la laguna es somera pero presenta una serie de canales interconectados con profundidades mayores a 20 m cerca de la boca; en su interior se encuentran 5 islas (Gutiérrez, 2000 y Bermúdez, 2003). Se encuentra ubicada sobre una base sedimentaria, de arena fina y media en los canales y arcilla y aluvión en la parte interna (Contreras, 1985). Se localizan barreras arenosas de batimetría variable, modificada por procesos costeros (corrientes de marea) (De la Cruz *et al.*, 1996). La laguna se conecta con la Bahía Sebastián Vizcaíno la cual la mantiene aislada de procesos costeros oceánicos importantes como las surgencias; la hidrodinámica está regida por los cambios del nivel de marea, los cuales varían entre 1 y 2.7 m. A causa de la batimetría irregular, existe desfase de las mareas de hasta 3 horas entre la boca y la parte final de la laguna (Álvarez y Granados, 1992).

La vegetación marina predominante es *Zostera marina* la cual forma grandes praderas con una amplia extensión, principalmente submareal (Cabello *et al.*, 2003). En dichas praderas también es posible encontrar *Ruppia marítima* las cuales se encuentran asociadas con una gran variedad de macroalgas, principalmente *Ulva lactuca* y *Enteromorpha spp.* La laguna se encuentra bordeada por vegetación costera muy variada junto con las fanerógamas marinas. La zona intermareal incluye plantas propias de marismas de clima cálido (*Spartina foliosa*) y en las zonas sub y supramareal, otras plantas halófitas como *Batis marítima*, *Limonium californicum*, *Salicornia pacifica* y *Suaeda maquinii* (Águila, 1998; Bermúdez, 2003).

El clima predominante es del tipo seco semiárido con temperatura media anual entre los 18 y 22° C, con régimen de lluvia intermedio, el porcentaje de lluvia invernal es menor a 36% y la oscilación térmica es extremosa (Salinas *et al.*, 1991). Se considera una laguna hiperhalina, porque no recibe aporte alguno de agua dulce y además se presenta un alto grado de evaporación por efecto del viento y la insolación. La temperatura media anual oscila entre los 18 y 22°C y la salinidad promedio máxima se registra durante el verano (32 a 41 ppm). Las variaciones en estos parámetros están influenciadas por el efecto de las mareas, presentándose valores más altos en la parte interna durante la marea baja (Acevedo, 1997; Bermúdez, 2003).



**Figura 8.** Ubicación geográfica de la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur.

## 2.2. Toma de datos morfométricos

La base de datos que disponía la CONANP era en formato digital. Se logró recabar más información para retroalimentar dicha base de datos. Se encontraron algunas inconsistencias tanto en las medidas de las variables morfométricas (medidas curvas de un individuo menores a sus medidas rectas), así como en las fechas de captura, los códigos de identificación y el sexo. Los datos que fueron claramente identificados como errores o datos incompletos fueron eliminados.

La captura de ejemplares de tortuga marina en zonas de alimentación se realizó con redes de enmalle de 100 m de longitud por 7 a 10 m de caída, con luz de malla de 50 centímetros, llamadas “caguameras” y construidas con menos plomo que una red de enmalle normal para permitir que las tortugas capturadas suban a la superficie a respirar. Se utilizaron embarcaciones tipo “panga” con motores fuera de borda con personal especializado y los permisos de captura de la DGVS.

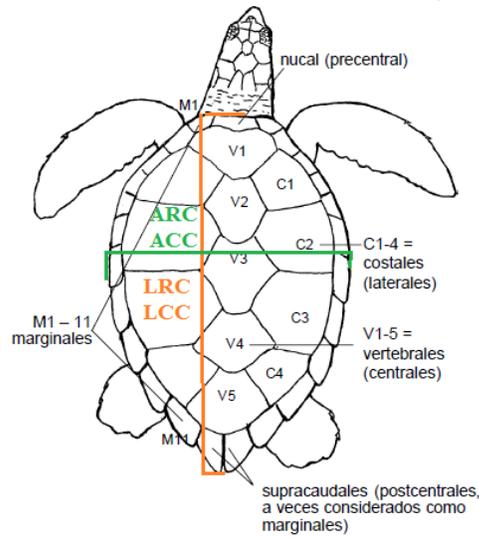
El tendido de las redes se realizó en sitios determinados por su importancia para la agregación de tortugas marinas, las redes fueron colocadas perpendicularmente a la línea de costa, a no menos de 200 m de ésta, las cuales se revisaron periódicamente cada 2 horas durante la duración total del monitoreo.

Las tortugas capturadas se retiraron de la red y se mantuvieron en la embarcación durante el monitoreo, para evitar la recaptura durante el mismo, por cada tortuga capturada se tomó la posición geográfica y la hora. Posteriormente se realizó la toma de datos morfométricos, fotoidentificación, marcaje, colecta de muestras biológicas (sangre, muestra de tejido queratinoso y ectoparásitos) y se procedió a la liberación. La colecta de sangre se realizó por punción venosa en el seno venoso cervical con sistema de tubos al vacío y las muestras sanguíneas obtenidas fueron enviadas al laboratorio GOVA-LAB en Ensenada Baja California para su procesamiento.

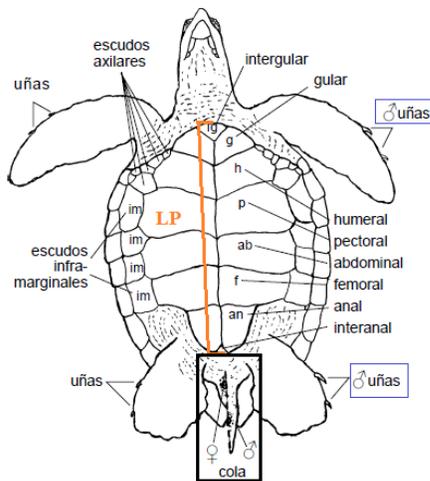
La marca metálica (ICONEL 681, National Band & Tag Company, Newport, KY), se colocó entre la primera y la segunda escama proximal de las aletas traseras. Se asignó también una clave conformada por el sitio de monitoreo, fecha y número consecutivo. Los datos morfométricos tomados fueron los siguientes (Tabla 4, figura 8, 9 y 10):

**Tabla 4.** Tabla de descripción de las variables morfométricas que se tomaron (Pritchard y Mortier, 2000).

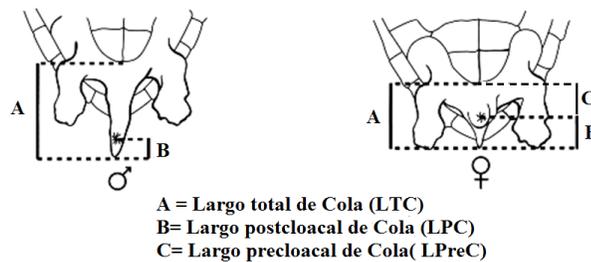
Abreviatura	Medida morfométrica	Descripción
<b>LRC</b>	Largo Recto del Caparazón (cm)	Medida recta desde el escudo nuczal (precentral) hasta el escudo supracaudal.
<b>LCC</b>	Largo Curvo del Caparazón (cm)	Medida curva desde el escudo nuczal (precentral) hasta el escudo supracaudal.
<b>ARC</b>	Ancho Recto del Caparazón (cm)	Medida recta de los escudos marginales de izquierdo-derecho (zona de mayor curvatura).
<b>ACC</b>	Ancho Curvo del Caparazón (cm)	Medida recta de los escudos marginales de izquierdo-derecho (zona de mayor curvatura).
<b>LP</b>	Largo del Plastrón (cm)	Medida por la sección central desde la placa intergular hasta la placa interanal.
<b>PC</b>	Profundidad de Caparazón (cm)	Medida transversal recta desde la zona de mayor curvatura a la zona central del plastrón.
<b>LTC</b>	Largo Total de Cola (cm)	Medida desde el final de la placa interanal o base de la cola, hasta la punta de la cola.
<b>LPreC</b>	Largo Pre-Cloacal (cm)	Medida desde la base de la cola hasta la cloaca (cm).
<b>LPC</b>	Largo Post-Cloacal	Medida desde el orificio de la cloaca hasta la punta de la cola.
<b>Razón</b>	Razón	Medida obtenida matemáticamente dividiendo el largo post cloacal entre el largo pre cloacal.
<b>P</b>	Peso ( kg)	



**Figura 9.** Medidas morfométricas a tomar de la parte dorsal del caparazón (modificado de Pritchard y Mortier, 2000).



**Figura 10.** Medidas morfométricas a tomar de la parte ventral del plastrón (modificado de Pritchard y Mortier, 2000).



**Figura 11.** Muestra de las mediciones morfométricas de la parte ventral del plastrón. Se resaltan los caracteres secundarios para la división por sexos, donde se ilustran las nuevas medidas propuestas sobre la cola (modificado de Pritchard y Mortier, 2000).

## 2.3 Análisis de datos

La base de datos final, se conformó con los registros de capturas de tortugas marinas en Bahía de los Ángeles de los años 1995 – 2016. De acuerdo a los objetivos, el análisis se dividió en análisis multivariados (ACP y CLUSTERS) y ajuste de modelos alométricos entre las variables importantes encontradas por métodos multivariados. Se utilizó el software STATISTICA 7.0 para el análisis estadístico de la base de datos.

### Estadística descriptiva

Se obtuvieron las estadísticas descriptivas básicas de los datos. Estas permiten tener una idea clara del comportamiento y distribución de las variables en estudio, así como posibles relaciones entre ellas. Se realizó un análisis de estadísticas básicas de las medidas morfométricas (LCC, LRC, ACC, ARC, LP, LTC, LPreC, LPCC, PC, P y razón) obtenidas a lo largo del periodo de muestreo (1995 – 2016).

### Análisis Multivariado

El análisis multivariado es el conjunto de métodos estadísticos cuya finalidad es analizar simultáneamente conjuntos de variables. Su razón de ser radica en un mejor entendimiento del fenómeno objeto de estudio obteniendo información que los métodos estadísticos univariantes y bivariantes son incapaces de conseguir. El propósito del análisis multivariado es reducir un gran número de variables en varios factores, que permitan dilucidar de manera coherente como intervienen dichas variables el objetivo de estudio. En este estudio el Análisis de Componentes Principales (ACP) y análisis Clústers, para las variables morfométricas y el objetivo es ver que variables morfométricas determina mejor el sexo en *C. mydas*. Se requiere el cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianzas y linealidad de las variables, por lo que se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas. Otro requisito es la alta correlación entre las variables por lo que se obtuvo la matriz de correlación, donde se consideraron correlaciones altas entre variables para valores del coeficiente de correlación  $> 0.5$ .

## **Análisis de componentes principales**

El análisis de componentes principales (ACP) es una herramienta estadística que tiene como finalidad caracterizar la variación existente en un conjunto de datos y explicar, en términos de factores nuevos o componentes, la relación existente entre un gran número de variables (ambientales o biológicas) correlacionadas y difíciles de interpretar. El objetivo principal del ACP es reducir la cantidad de variables, perdiendo la menor cantidad de información posible. Los componentes principales o factores son una combinación lineal de las variables originales, y además son independientes entre sí (Kleinbaum y Kupper, 1978; Horak y Cohen, 2010). En este estudio es encontrar las variables más importantes para identificar el sexo en *C. mydas*.

## **Modelos de regresión**

La idea central de la alometría es que existe un conjunto de teorías con las que se puede hacer predicciones de fenómenos biológicos de manera simple, cuantitativa y razonablemente precisas las cuales tienen grandes implicaciones ecológicas (Peters, 1993). Una vez determinadas las variables morfométricas que guarden una relación alométrica se ajustaran los modelos entre los caracteres sexuales más importantes en *C. mydas* y las variables encontradas. Esto ayudará a obtener cotas precisas para obtener el sexo en juveniles y adultos

Los modelos alométricos son representaciones del tipo

$$Y = K1 * X^{K2} \quad (1)$$

## Capítulo 3

### 3. Resultados

#### 3.1 Estadísticas básicas

En Bahía de los Ángeles (BLA) se capturaron un total de 186 tortugas prieta (*Chelonia mydas*) de 1996 al 2012 (datos proporcionados por la CONANP), de las cuales 97 fueron inmaduros, 30 machos y 59 hembras. El estadio ontogénico predominante durante todo el periodo de estudio fue de organismos inmaduros (52.15%), seguido de las hembras (31.72%) y en menor cantidad machos (16.13%). El individuo de mayor peso registrado fue de 145.5 kg y el menor de 11.6 kg. Las estadísticas básicas de las medidas morfométricas se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5.** Estadísticas básicas de medidas morfométricas de las 186 tortugas muestreadas de 1996 al 2012 en BLA. Todas las medidas morfométricas están dadas en centímetros.

JUVENILES N=97						
	LCC	LRC	ACC	ARC	LP	LTC
<b>MEDIA</b>	71.2 ± 7.93	66.5 ± 7.29	68.7 ± 7.49	53.7 ± 5.45	53.2 ± 6.2	15.0 ± 3.61
<b>MIN - MAX</b>	47.9 - 86.8	45.5 - 76.7	44.2 - 80.8	37.1 - 62.2	35.9 - 64.5	6.9 - 24.9
	LPreC	LPC	PC	P	RAZON	
<b>MEDIA</b>	10.7 ± 2.87	4.5 ± 1.20	26.0 ± 3.22	43.8 ± 13.55	0.4 ± 0.19	
<b>MIN - MAX</b>	3.2 - 20.0	2.5 - 8.0	17 - 32.1	11.6 - 71.4	0.2 - 1.9	
MACHOS N=30						
	LCC	LRC	ACC	ARC	LP	LTC
<b>MEDIA</b>	85.63 ± 8.25	81.2 ± 7.43	81.0 ± 6.16	63.6 ± 6.32	63.9 ± 5.42	35.3 ± 11.02
<b>MIN - MAX</b>	71.1 - 99.9	67.5 - 93.8	69 - 92.0	52.75 - 85.4	53.5 - 72.7	17.6 - 52.7
	LPreC	LPC	PC	P	RAZON	
<b>MEDIA</b>	27.0 ± 9.57	9.1 ± 2.27	30.2 ± 4.23	76.3 ± 19.43	0.4 ± 0.09	
<b>MIN - MAX</b>	12.5 - 48.7	4.0 - 14	19.8 - 38.9	44.1 - 115.5	0.2 - 0.7	
HEMBRAS N=59						
	LCC	LRC	ACC	ARC	LP	LTC
<b>MEDIA</b>	89.4 ± 5.63	83.5 ± 5.15	82.9 ± 5.67	63.3 ± 3.92	66.3 ± 4.08	19.9 ± 4.36
<b>MIN - MAX</b>	78.5 - 104.3	73.6 - 99.0	73.95 - 100.7	55.9 - 73.0	59.6 - 77.8	6.0 - 31.5
	LPreC	LPC	PC	P	RAZON	
<b>MEDIA</b>	14.2 ± 3.9	6.6 ± 2.24	32.3 ± 4.99	80.9 ± 17.95	0.6 ± 0.63	
<b>MIN - MAX</b>	1.2 - 23.7	4.4 - 17.3	19.8 - 55.9	56.4 - 145.5	0.2 - 4.3	

### 3.2 Análisis multivariado

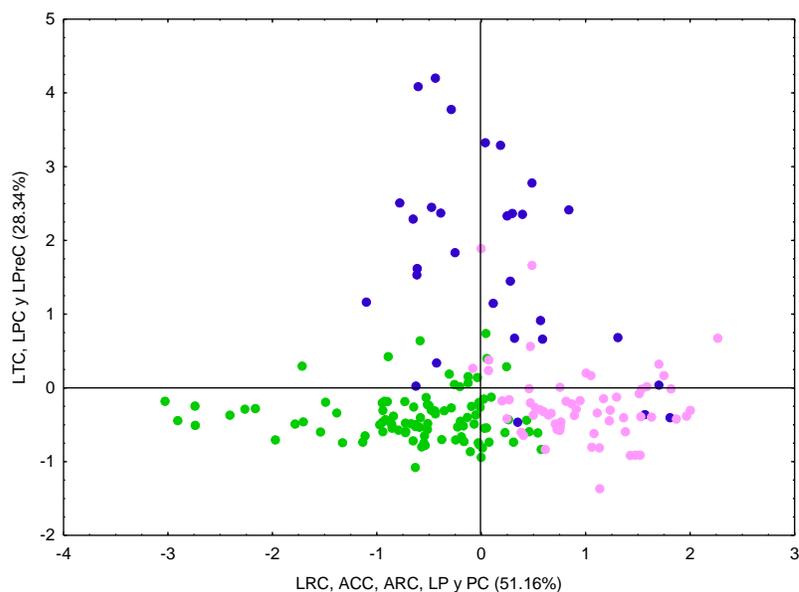
El análisis de componentes principales (ACP) ayudará a encontrar los caracteres sexuales secundarios más importantes para identificar el sexo en *Chelonia mydas*. Esto es, los caracteres que separa en hembras, machos e inmaduros.

Uno de los supuestos para poder realizar un ACP es que las correlaciones entre las variables sean altas, en este caso, se utilizaron como correlaciones altas las mayores a 0.50. Solo se consideraron componentes principales aquellos cuyos los valores del porcentaje de la varianza explicada fuera mayor al 10%. Las correlaciones entre variables mayores 0.70 se tomaron como significativas para la interpretación (Tabachnick and Fidell, 2001).

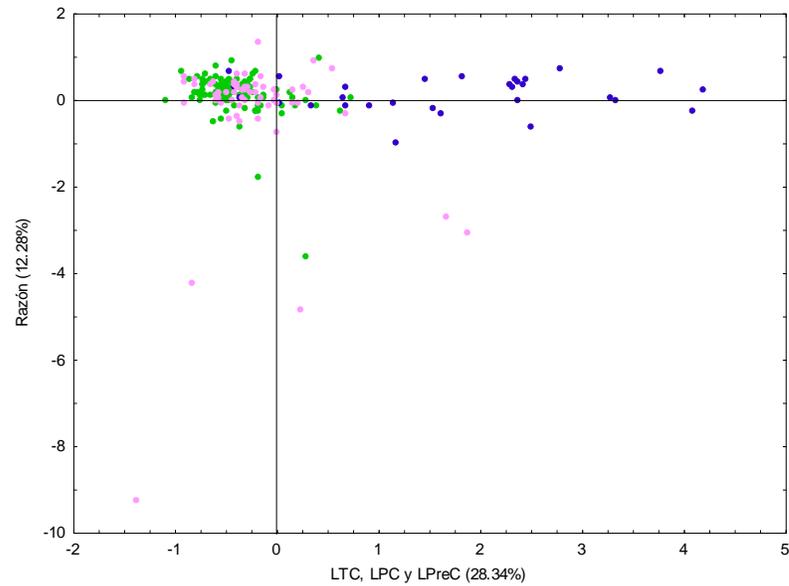
El primer ACP que se realizó, incluyó todos los estadios ontogénicos (n=186). En este análisis se obtuvieron 3 componentes o factores principales los cuales juntos explican el 91.78% de la variabilidad total de los datos. El primer factor explica el 51.16% de la variabilidad, y se encuentra representado principalmente por las medidas morfométricas: LCC, LRC, ACC, ARC, LP y PC. De igual manera, el segundo factor, el cual explica el 28.34% de la variabilidad y está definido por el LTC, LPC y LPreC. Finalmente, el tercer factor explica el 12.28% de la varianza y está representado por la razón de LPrec y LPC (tabla 6). Las Figuras 11, 12 y 13 son las representaciones graficas de cada uno de los organismos representados por los factores principales del análisis. Esto permite tener una idea más clara de cuáles son las medidas morfométricas que diferencian a los organismos entre hembras, machos o inmaduros.

**Tabla 6.** Resultados del Análisis de Componentes Principales obtenidos al incluir todos los organismos del estudio (n=186), donde se presentan las variables morfométricas y los 3 factores, los cuales explican un 91.73% de la varianza de los datos.

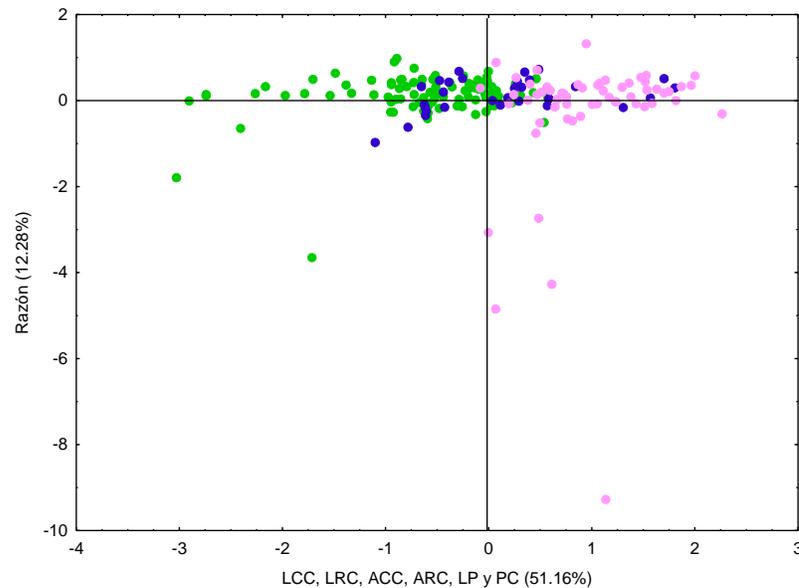
	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 3</b>
<b>LCC</b>	<b>0.934928</b>	0.291911	0.025343
<b>LRC</b>	<b>0.918676</b>	0.345084	0.026837
<b>ACC</b>	<b>0.919377</b>	0.304610	0.021488
<b>ARC</b>	<b>0.860867</b>	0.332963	0.082652
<b>LP</b>	<b>0.922631</b>	0.283680	0.022229
<b>LTC</b>	0.306765	<b>0.913929</b>	0.158331
<b>LPreC</b>	0.293841	<b>0.894612</b>	0.249207
<b>LPC</b>	0.329317	<b>0.831721</b>	-0.270065
<b>PC</b>	<b>0.819502</b>	0.075764	-0.336976
<b>RAZÓN</b>	-0.006326	-0.115964	<b>-0.972412</b>
<b>Expl.Var</b>	5.116171	2.834965	1.228395
<b>Prp.Totl</b>	<b>0.511617</b>	<b>0.283496</b>	<b>0.122839</b>



**Figura 12.** Representación gráfica de cada uno de los individuos en los factores factor 1 contra el factor 2, incluyendo en el modelo todos los organismos muestreados. Gráfico de cada uno de los individuos en los factores 1 constituido principalmente por LCC, LRC, ACC, ARC, LP, PC y factor 2 representado por LTC y LPreC. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).



**Figura 13.** Gráfica de cada uno de los individuos en el factor 2 contra el factor 3 incluyendo en el modelo todos los organismos muestreados. Gráfica de cada uno de los individuos en los factores 2 contra 3. Estos factores logran separar a hembras (●) e inmaduros (●) de machos (●) pero hembras e inmaduros se mezclan. Se observa la presencia de valores extremos los cuales podrían deberse a errores en las medidas morfo métricas o sexado.

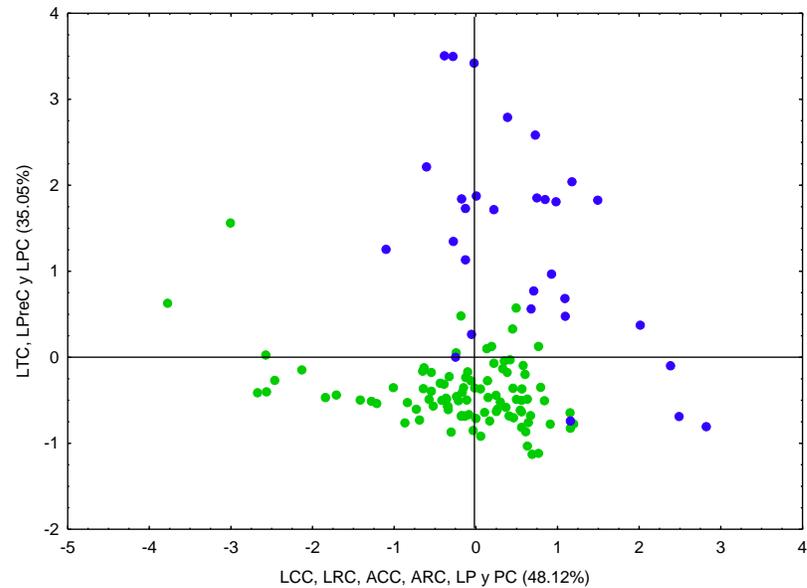


**Figura 14.** Representación gráfica de cada uno de los individuos en el factor 1 representado por LCC, LRC, ACC, ARC, LP y PC contra el factor 3 representado por Razón, incluyendo en el modelo todos los organismos muestreados. Representación gráfica por individuo en los factores 1 contra el factor 3. Estos factores logran la separación de inmaduros y hembras únicamente. Tanto hembras como inmaduros presentan valores extremos debido a que probablemente fueron mal identificados en campo. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

Con la finalidad de obtener resultados más precisos sobre las medidas morfométricas que permiten diferenciar a los organismos, se realizaron tres ACP adicionales excluyendo en cada ACP un grupo ontogénico a la vez (e. g. ACP incluyendo machos y hembras). El segundo ACP que se realizó incluyó únicamente a los organismos machos e inmaduros (n=127) del que se obtuvieron dos factores principales los cuales juntos describen el 83.17% de la variabilidad total de los datos. El primer factor explica el 48.12% de la variabilidad, y se encuentra representado por LCC, LRC, ACC, ARC, LP y PC. El segundo factor explica el 35.05% de la variabilidad y está representado por el LTC, LPreC y LPC (tabla 7).

**Tabla 7.** Resultados del Análisis de Componentes Principales al incluir machos e inmaduros (n=127) solamente, donde se presentan las variables morfométricas y los 3 factores, los cuales explican un 83.17% de la varianza de los datos.

	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
<b>LCC</b>	<b>0.852070</b>	0.459083
<b>LRC</b>	<b>0.824799</b>	0.517023
<b>ACC</b>	<b>0.865923</b>	0.424852
<b>ARC</b>	<b>0.792129</b>	0.426403
<b>LP</b>	<b>0.823401</b>	0.449943
<b>LTC</b>	0.378978	<b>0.896656</b>
<b>LPreC</b>	0.380780	<b>0.876087</b>
<b>LPC</b>	0.284495	<b>0.926057</b>
<b>PC</b>	<b>0.866481</b>	0.183593
<b>RAZÓN</b>	-0.479872	0.013225
<b>Expl.Var</b>	4.812219	3.505822
<b>Prp.Totl</b>	<b>0.481222</b>	<b>0.350582</b>

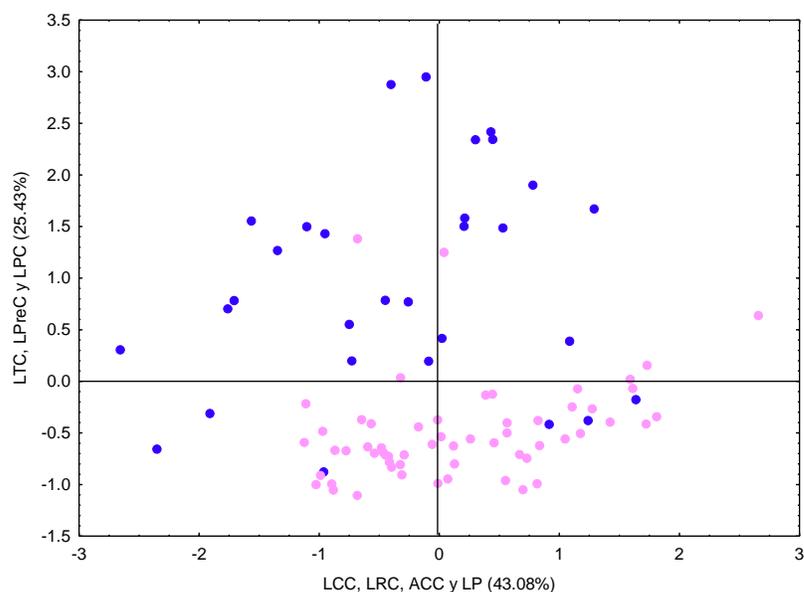


**Figura 15.** Representación gráfica por individuo en los factores 1 contra el factor 2, incluyendo en el modelo solo machos e inmaduros. Representación gráfica por individuo en los factores 1 determinado por LCC, LRC, ACC, ARC, LP y PC contra el segundo factor el cual se encuentra definido por LTC, LPreC y LPC. Se observa una clara separación de ambos grupos ontogénico, sin embargo, se tiene la presencia de tres machos en el grupo de los inmaduros posiblemente mal sexados. (Inmaduros (●), machos (●)).

El tercer ACP que se realizó incluyó únicamente a los organismos machos y hembras ( $n=89$ ) del cual se obtuvieron tres factores principales que describen el 83.33% de la variabilidad total de los datos. El primer factor explica el 43.08% de la variabilidad, y se encuentra constituido por LCC, LRC, ACC y LP. El factor 2 explica el 25.43% de la variabilidad y está representado por el LTC, LPreC y LPC. El factor 3 explica el 14.82% y lo caracterizan la PC y razón (tabla 8).

**Tabla 8.** Resultados del Análisis de Componentes Principales obtenidos al incluir machos y hembras (n=89), donde se presentan las variables morfométricas y los 3 factores, los cuales explican un 83.33% de la varianza de los datos.

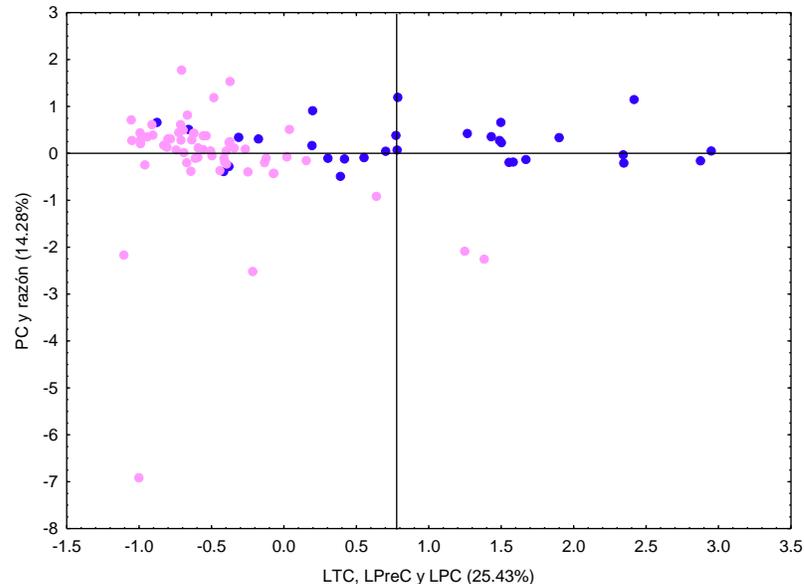
	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 3</b>
<b>LCC</b>	<b>0.955627</b>	0.009443	0.013008
<b>LRC</b>	<b>0.952386</b>	0.141072	0.037687
<b>ACC</b>	<b>0.899548</b>	0.108296	-0.070663
<b>ARC</b>	0.687728	0.172294	0.138909
<b>LP</b>	<b>0.960314</b>	0.004595	0.027387
<b>LTC</b>	0.106193	<b>0.932799</b>	0.217237
<b>LPreC</b>	0.143647	<b>0.905587</b>	0.276783
<b>LPC</b>	-0.048274	<b>0.860725</b>	-0.222730
<b>PC</b>	0.447160	-0.148708	<b>-0.715456</b>
<b>RAZÓN</b>	-0.222671	-0.171379	<b>-0.877588</b>
<b>Expl.Var</b>	4.308400	2.543961	1.482077
<b>Prp.Totl</b>	<b>0.430840</b>	<b>0.254396</b>	<b>0.148208</b>



**Figura 16.** Representación gráfica por individuo en los factores 1 contra el factor 2, incluyendo en el modelo solo machos y hembras. (Hembras (●), machos (●)).

La gráfica de machos y hembras en el factor 1 contra el factor 2 del tercer ACP logra la separación de hembras y machos. Se observan posibles individuos mal sexados. Hembras sexadas como machos y machos sexados como hembras.

Al graficar el primer factor contra el tercero no se observó la separación de machos y hembras, por esta razón no se incluye la gráfica.



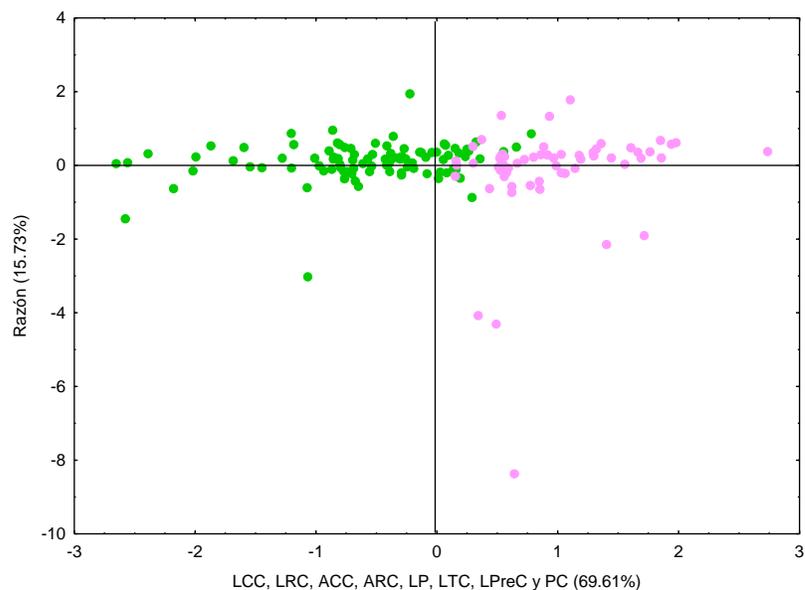
**Figura 17.** Representación gráfica por individuo en los factores 2 contra el factor 3, incluyendo en el modelo solo machos y hembras. (Hembras (●), machos (●)).

En esta gráfica se percibe la separación de machos y hembras, sin embargo los machos se observan dispersos a diferencia de las hembras. Al igual que en la figura 15 se denota la presencia de posibles organismos con errores en los datos morfométricos o mal sexados además de la presencia de puntos extremos esto probablemente debido a errores en las mediciones.

Finalmente se realizó un cuarto ACP en el cual se incluyó únicamente a los organismos inmaduros y hembras (n=156) del cual se obtuvieron 2 factores principales que explican el 85.34% de la variabilidad total de los datos. El primer factor que explica el 69.61% de la variabilidad, y se encuentra representado por LCC, LRC, ACC, ARC, LP, LTC, LPreC y PC. El segundo factor explica el 15.73% de la variabilidad y lo constituye la razón (tabla 9).

**Tabla 9.** Resultados del cuarto Análisis de Componentes Principales obtenidos al incluir inmaduros y hembras (n=156), donde se presentan los 2 factores los cuales explican un 85.34% de la varianza de los datos.

	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
<b>LCC</b>	<b>0.972986</b>	0.023678
<b>LRC</b>	<b>0.973733</b>	0.020764
<b>ACC</b>	<b>0.960576</b>	0.029400
<b>ARC</b>	<b>0.947303</b>	0.083397
<b>LP</b>	<b>0.949079</b>	0.006064
<b>LTC</b>	<b>0.806860</b>	0.385089
<b>LPreC</b>	<b>0.757750</b>	0.555870
<b>LPC</b>	0.677539	-0.266799
<b>PC</b>	<b>0.812916</b>	-0.345773
<b>RAZÓN</b>	0.029830	<b>-0.957415</b>
<b>Expl.Var</b>	6.961688	1.573517
<b>Prp.Totl</b>	<b>0.696169</b>	<b>0.157352</b>



**Figura 18.** Representación gráfica por individuo en los factores 1 contra el factor 2 de inmaduros y hembras. (Hembras (●), inmaduros (●)).

Las variables que representan estos factores logran la separación de hembras e inmaduros, las hembras al contrario de los inmaduros presentan valores positivos de LCC, LRC, ACC, ARC, LP, LTC, LPreC y PC, esto se verá expresado ecológicamente con un tamaño mayor de todas estas medidas a diferencia de los inmaduros.

### 3.3 Modelos alométricos

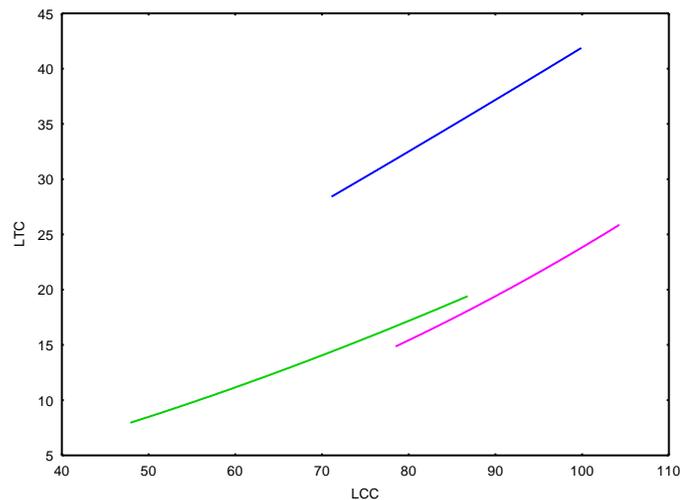
Posterior al análisis de las gráficas de los componentes principales se determinó utilizar únicamente las variables de aquellas gráficas donde se logró una separación entre categorías de edad como por ejemplo la Figura 5, posteriormente con las variables más representativas de esas gráficas se ajustaron modelos alométricos ( $Y = K1 * X^{K2}$ ) con el propósito de poder establecer intervalos más precisos para determinar de manera inambigua el sexo de organismos juveniles y adultos (machos – hembras) de *C. mydas*. A continuación se presentan los resultados de los modelos alométricos más robustos que se lograron obtener para diferenciar el sexo de los organismos y definir las cotas o intervalos de referencia de las medidas morfométricas. Algunos criterios que se tomaron en cuenta para definir dichas cotas fueron: los valores máximos y mínimos de cada variable, que las curvas no compartan dominio así como los puntos de intersección las curvas.

De la tabla 2 y figura 1 se tiene que una de las variables importantes fue el LTC, por lo que se ajustó el modelo 1)  $LTC = \alpha LCC^\beta$  para cada estadio ontogénico obteniéndose como resultado (ver figura 19):

$$LTC = 0.024LCC^{1.5} \text{ para inmaduros} \quad (2)$$

$$LTC = 0.22LCC^{1.14} \text{ para machos} \quad (3)$$

$$LTC = 0.003LCC^{1.95} \text{ para hembras} \quad (4)$$



**Figura 19.** Gráfica de la ecuación  $LTC = \alpha LCC^\beta$  para los tres estadios ontogénicos. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

Las curvas de machos, hembras e inmaduros no comparten dominio antes de los 70 cm de LCC por lo que el máximo de LCC para inmaduros será fijado en 70 cm. Se puede notar que machos y hembras comparte dominio pero no rango. Por lo tanto con la información de máximos y mínimos obtenidos en los muestreos se lograron establecer los intervalos de referencia preliminares para el LCC. Los valores de LTC se obtuvieron de los parámetros obtenidos para el modelo (1) (Tabla 10).

**Tabla 10.** Intervalos de referencia preliminares para el LCC y LTC. Las medidas están en cm.

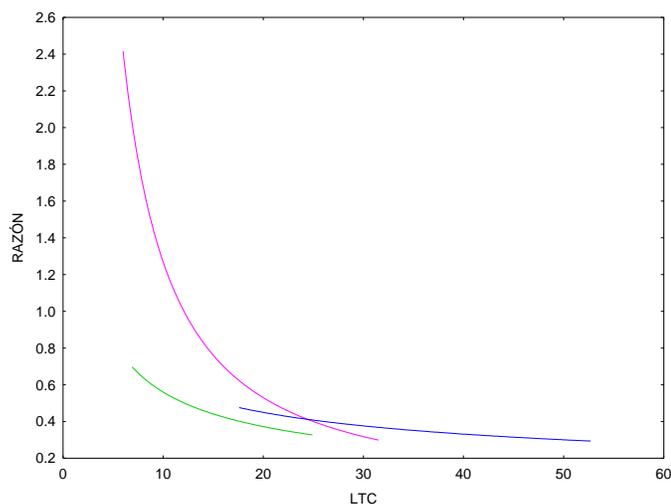
	LCC	LTC
Inmaduros	47.9 – 70	7 – 14
Machos	71.1 - 99.9	28.4 – 52.7
Hembras	88.5 -104	13.04 – 25

Debido a la importancia que se observó en los ACP de las variables razón y LTC para diferenciar a inmaduros, machos y hembras y de acuerdo a la tabla 9 y la figura 17, se propone el modelo 2)  $RAZON = \alpha LTC^\beta$  cuya representación para los tres estadios ontogénicos es (ver figura 20):

$$RAZON = 2.18LTC^{-0.59} \text{ para inmaduros} \quad (5)$$

$$RAZON = 1.68LTC^{-0.44} \text{ para machos} \quad (6)$$

$$RAZON = 23.09LTC^{-1.26} \text{ para hembras} \quad (7)$$



**Figura 20.** Gráfica de la ecuación  $RAZON = \alpha LTC^\beta$  para los tres estadios ontogénicos. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

Las curvas de individuos inmaduros, machos y hembras comparten su dominio para LTC por lo que se utilizaron mínimos y máximos para acotar los valores de inmaduros (ver tabla 11). Sabemos que los machos no deben traslaparse con inmaduros ni hembras por lo que el mínimo de cola de los machos se tomara como > de 25 y el máximo muestreado. Para hembras como comparten dominio con inmaduros tomaremos valores muestreados.

**Tabla 11.** Intervalos de referencia preliminares para el LTC y razón. Las medidas están en cm.

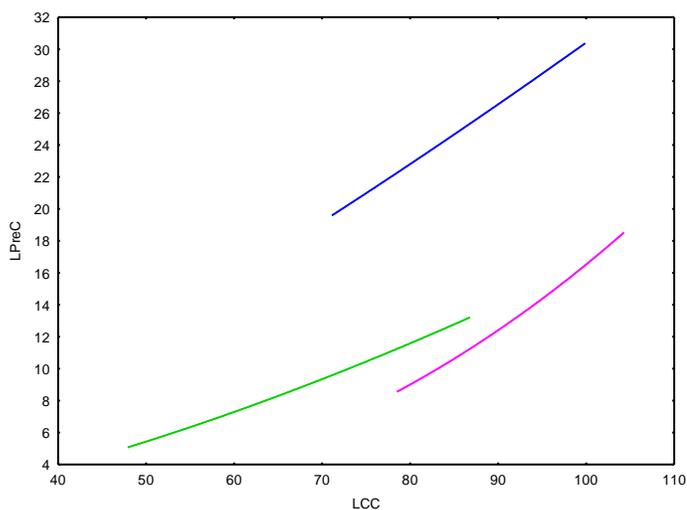
	LTC	Razón
Inmaduros	6.9-24	0.33-0.7
Machos	25-52	0.29 - 0.41
Hembras	6.0 – 31.5	0.30- 2.41

Otra de las variables importantes que se observó en el primer ACP fueron  $LPreC$  y  $LCC$  para diferenciar a inmaduros, machos y hembras por lo que se ajustó el modelo 3)  $LPreC = \alpha LCC^\beta$  con los siguientes resultados (ver figura 20):

$$LPreC = 0.01LCC^{1.61} \text{ para inmaduros} \quad (8)$$

$$LPreC = 0.08LCC^{1.29} \text{ para machos} \quad (9)$$

$$LPreC = 0.0001LCC^{2.67} \text{ para hembras} \quad (10)$$



**Figura 21.** Gráfica de la ecuación  $LPreC = \alpha LCC^\beta$  para los tres estadios ontogénicos. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

Los organismos inmaduros no comparten dominio con machos y hembras después de los 70 cm como en la figura 18, por lo que los mínimos se tomaran de la tabla 5. Hembras y machos comparten dominio

pero no rango, por lo que se tomaran sus máximos y mínimos muestreados de LCC en inmaduros.

**Tabla 12.** Intervalos de referencia preliminares para LPreC y LCC. Las medidas están en cm.

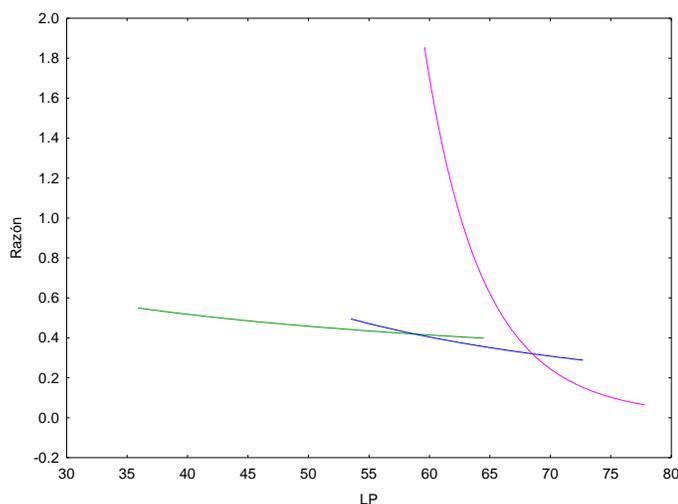
	LCC	LPreC
<b>Inmaduros</b>	47.9– 70	5.1- 8
<b>Machos</b>	71.1 - 99.9	19.6-30.38
<b>Hembras</b>	78.5 - 104.3	13.5– 18.5

En los ACP las variables razón y LP fueron importantes para diferenciar a inmaduros y hembras y de acuerdo a la tabla 6 y la figura 13, se propone el modelo 4)  $RAZON = \alpha LP^\beta$  cuya representación para los tres estadios ontogénicos es (ver figura 22):

$$RAZON = 3.94LP^{-0.55} \text{ para inmaduros} \quad (11)$$

$$RAZON = 544.93LP^{-1.76} \text{ para machos} \quad (12)$$

$$RAZON = 4.33e^{22}LP^{-1.26^{10}} \text{ para hembras} \quad (13)$$



**Figura 22.** Gráfica del cuarto modelo,  $Razón = \alpha * LP^\beta$ . (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

Hembras y machos comparten dominio, antes de los 50 cm de LP, los inmaduros no comparten dominio con hembras ni machos. Las curvas de machos e inmaduros se intersectan en el punto (LP, Razón)= (57.97, 0.42) por lo que se tomara como valor máximo de LP=55 para inmaduros.

**Tabla 13.** Intervalos de referencia preliminares para LP y razón. Las medidas están en cm.

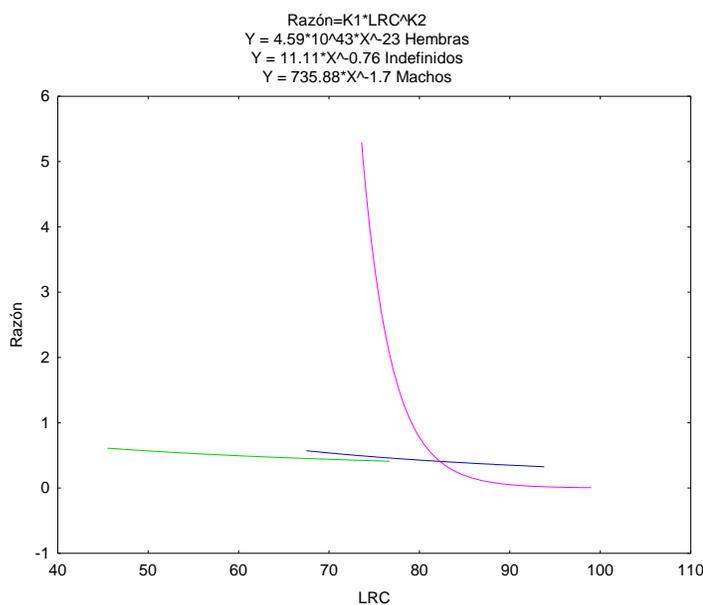
	LP	Razón
<b>Inmaduros</b>	35.9 – 55	0.42 – 0.58
<b>Machos</b>	65 – 70	0.3 – 0.52
<b>Hembras</b>	73 – 77.8	0.6 – 1.82

Las variables razón y LRC fueron importantes para diferenciar a inmaduros y hembras y de acuerdo a la tabla 9 y la figura 17, se propone el modelo 5)  $RAZON = \alpha LRC^\beta$  cuya representación para los tres estadios ontogénicos es (ver figura 23):

$$RAZON = 11.11LRC^{-0.76} \text{ para inmaduros} \quad (14)$$

$$RAZON = 735.88LRC^{-1.7} \text{ para machos} \quad (15)$$

$$RAZON = 4.59e^{43}LRC^{-23} \text{ para hembras} \quad (16)$$

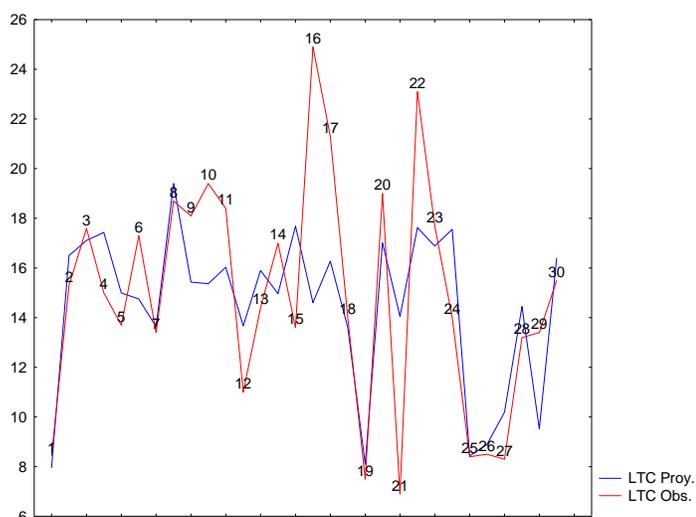
**Figura 23.** Gráfica del modelo número 5,  $Razón = \alpha * LRC^\beta$ . (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

Los inmaduros no comparten dominio con machos a partir de los 65 cm, por lo que esta será la medida máxima de LRC para inmaduros, los máximos y mínimos de la medida de LRC registrada para machos y hembras serán tomados como las cotas de LRC.

**Tabla 14.** Intervalos de referencia preliminares para LRC y razón. Las medidas están en cm.

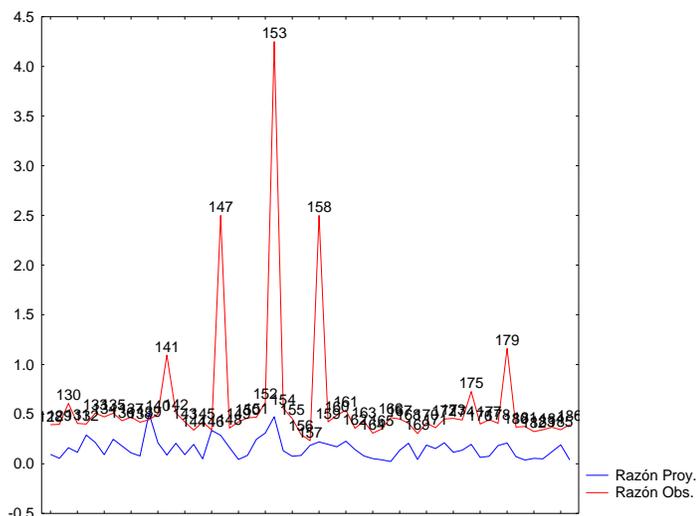
	LRC	Razón
<b>Inmaduros</b>	45.5 – 65	0.27 - 0.7
<b>Machos</b>	67.5 – 93.8	0.18 – 0.5
<b>Hembras</b>	73.6 – 99	0.51 – 4.3

Con la finalidad de ejemplificar la efectividad de los modelos y para poder observar más claramente la presencia de puntos extremos se realizó una gráfica de los datos proyectados contra los observados de cada uno de los modelos y algún estadio ontogénico como se muestra en las tres gráficas siguientes (figura 24, 25 y 26).



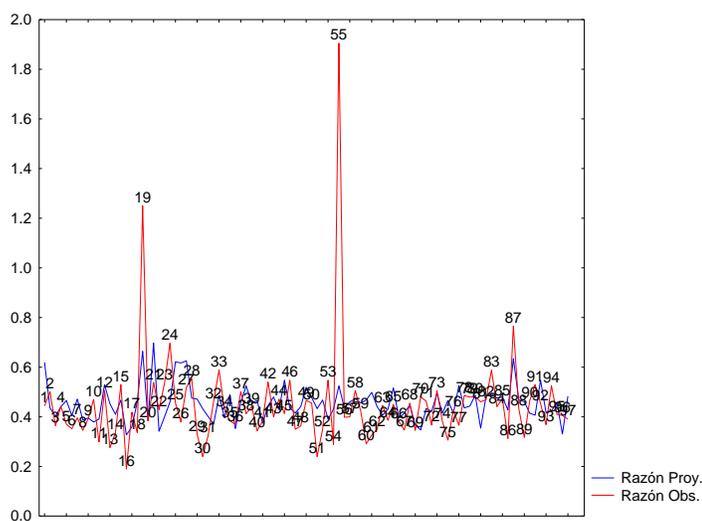
**Figura 24.** Gráfica de los valores proyectados por el modelo:  $LTC = 0.024LCC^{1.5}$  y los valores observados de LTC para los individuos clasificados como inmaduros.

En esta gráfica (figura 24) es posible detectar la presencia de valores extremos correspondientes a los individuos con número de identificación 16, 21 y 22 los cuales al corroborar con la base de datos presentan errores de clasificación y/o medición tales como: la suma del LPreC (6.5 cm) y LPC (3.5 cm) no coinciden con el LTC (6.9 cm) (organismo 21), las medidas del LPreC (20 cm), la razón (0.19) y LTC (24.9 cm) indican que se trata de un macho (organismo 16) y el LRC (76.7) indica que se trata de un organismo adulto (organismo 22) todo esto de acuerdo a los intervalos de referencia finales obtenidos de los modelos.



**Figura 25.** Gráfica de los valores proyectados por la ecuación del  $Razón = 3.54 e^{20LCC^{-1.1^{10}}}$  y los valores observados de la de la Razón para los individuos sexados como hembras.

Aun cuando se observa una buena correspondencia entre valores observados y proyectados, es evidente la presencia de cinco puntos extremos (figura 25). Los cinco puntos extremos corresponden a las hembras con una razón  $>0.70$ , las cuales serían consideradas hembras bien definidas. Sin embargo, estas hembras también presentan errores en la suma del LPreC y LPCC ya que no coinciden con el LTC.



**Figura 26.** Gráfica de los valores proyectados con el modelo  $Razón = 2.18 LTC^{-0.59}$  y los observados para la razón para los individuos clasificados como inmaduros.

Los organismos identificados con el número 19 y 55 tienen valores de razón  $> 1.25$  lo que hace pensar que probablemente son hembras y fueron mal identificadas al momento de realizar el muestreo o son hembras tardías que comienzan a desarrollar sus caracteres sexuales. Sin embargo este al igual que el

modelo 3 también puede ser considerado como bueno.

De las gráficas anteriores se puede concluir que los modelos propuestos son apropiados para predecir algunas variables con respecto a otras, además de que nos permiten localizar valores extremos y/o valores de medidas posiblemente mal tomadas, la cuales nos conlleva a sexar mal los individuos como puede observarse en los picos de las figuras.

Posteriormente utilizando como base los intervalos de referencia preliminares obtenidos con cada modelo, se obtuvieron los intervalos de referencia finales los cuales serán considerados para determinar el sexo de los individuos de *Chelonia mydas* en Bahía de los Ángeles (tabla 15).

**Tabla 15.** Intervalos de referencia finales. Las medidas están en cm.

<b>INMADUROS</b>		
<b>LTC</b>	<b>LPreC</b>	<b>RAZÓN</b>
7 – 14	5.1- 8	0.34 - 0.66
<b>MACHOS</b>		
<b>LTC</b>	<b>LPreC</b>	<b>RAZÓN</b>
28.4 – 52.7	19.6-30.38	0.25 - 0.47
<b>HEMBRAS</b>		
<b>LTC</b>	<b>LPreC</b>	<b>RAZÓN</b>
13.04 – 25	13.5– 18.5	0.47 - 2.84

Con los modelos anteriores se procedió al re sexado de los organismos y la identificación de errores obteniendo como resultado de dicha clasificación 102 juveniles, 26 machos y 58 hembras, de esta nueva clasificación se obtuvo la razón de sexos la cual fue de 2.23 : 1 a favor de las hembras.

### **3.4 Laguna ojo de liebre (LOL)**

Para ejemplificar la bondad del método se tienen mediciones morfométricas de 65 individuos de la misma especie en Laguna Ojo de Liebre sitio de alimentación ubicado en el océano Pacífico (27°59' y

27°54' N y 113°55' y 114°31' W) de los cuales 36 fueron hembras, 11 juveniles y 18 machos estos datos no cuentan con registros de Largo Post-Cloacal y Pre-Cloacal (tabla 16). Además, se obtuvieron medidas morfométricas y muestras de sangre de 9 tortugas para obtener los niveles de testosterona y estradiol con la finalidad de poder determinar el sexo de cada individuo.

**Tabla 16.** Estadísticas básicas de las 65 tortugas muestreadas de 2009 al 2012 en LOL. Las medidas están en cm.

<b>INMADUROS N=11</b>				
	<b>LCC</b>	<b>LRC</b>	<b>ACC</b>	<b>ARC</b>
<b>MEDIA</b>	59.08 ± 8.64	53.8 ± 7.32	55.06 ± 7.3	43.6 ± 5
<b>MIN - MAX</b>	49.5 – 78	46.2 - 70	47.5 – 72.5	38.5 – 55.8
	<b>PC</b>	<b>PESO (Kg)</b>	<b>LP</b>	<b>LTC</b>
<b>MEDIA</b>	21.1 ± 2.7	24.45 ± 9.12	41.7 ± 5.6	11.95 ± 1.82
<b>MIN - MAX</b>	17.7 – 27.3	17 – 47	35 – 55.9	10 – 15.5
<b>MACHOS N=18</b>				
	<b>LCC</b>	<b>LRC</b>	<b>ACC</b>	<b>ARC</b>
<b>MEDIA</b>	92 ± 8.45	86.78 ± 7.11	84.59 ± 7.26	65.18 ± 5.96
<b>MIN - MAX</b>	78.5 – 109	78.1 – 100.6	71.7 – 98	56.4 – 76
	<b>PC</b>	<b>PESO (Kg)</b>	<b>LP</b>	<b>LTC</b>
<b>MEDIA</b>	35.88 ± 8.57	93.67 ± 22.73	61.97 ± 13.72	31.73 ± 5.98
<b>MIN - MAX</b>	30 – 67.6	63.4 - 138	32.6 – 76.9	25.3 – 45
<b>HEMBRAS N=36</b>				
	<b>LCC</b>	<b>LRC</b>	<b>ACC</b>	<b>ARC</b>
<b>MEDIA</b>	87.55 ± 5.76	82.5 ± 4.92	80.94 ± 5.38	62.57 ± 4.6
<b>MIN - MAX</b>	73.3 – 102	77.3 – 96.5	67.2 - 91	52.3 – 77.2
	<b>PC</b>	<b>PESO (Kg)</b>	<b>LP</b>	<b>LTC</b>
<b>MEDIA</b>	32.7 ± 3	78.84 ± 15.37	64.6 ± 4.81	19.7 ± 3.6
<b>MIN - MAX</b>	25.5 – 39.9	45.3 - 110	48.9 – 73.2	10.9 - 25

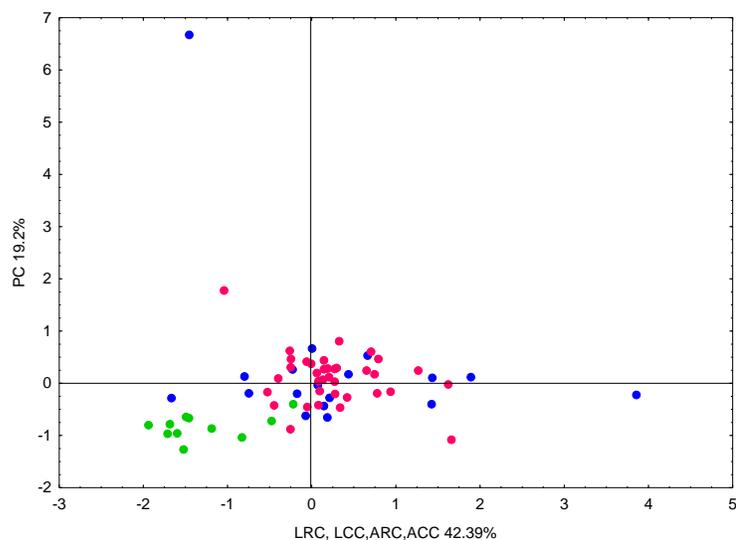
Al igual que con los datos de Bahía de los Ángeles se realizó un ACP incluyendo a todos los organismos obtenidos en LOL (n=65). En este análisis se obtuvieron 4 factores principales que explican el 97.32 % de la variabilidad total de los datos. El primer factor que explica el 42.39% de la variabilidad está definido por LRC, LCC, ARC, ACC, PESO (kg). El segundo factor describe el 19.2% de la variabilidad y se encuentra representado por PC. El tercer factor contiene el 18.78% de la variabilidad y está definido por el LP. El factor 4 describe el 16.95% y está representado por el LTC (tabla 17).

**Tabla 17.** Componentes principales de todos los organismos muestreados en Laguna ojo de liebre.

	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 3</b>	<b>Factor 4</b>
<b>LRC</b>	<b>0.758801</b>	0.336599	0.392430	0.312552
<b>LCC</b>	<b>0.768694</b>	0.370173	0.394933	0.301239
<b>ARC</b>	<b>0.794407</b>	0.368538	0.347823	0.250082
<b>ACC</b>	<b>0.769287</b>	0.436473	0.347681	0.250494
<b>PC</b>	0.421847	<b>0.881402</b>	0.093567	0.189378
<b>LP</b>	0.384517	0.096649	<b>0.894300</b>	0.205931
<b>LTC</b>	0.278389	0.177053	0.194702	<b>0.923339</b>
<b>Expl.Var</b>	3.391234	1.536368	1.502626	1.356259
<b>Prp.Totl</b>	<b>0.423904</b>	<b>0.192046</b>	<b>0.187828</b>	<b>0.169532</b>

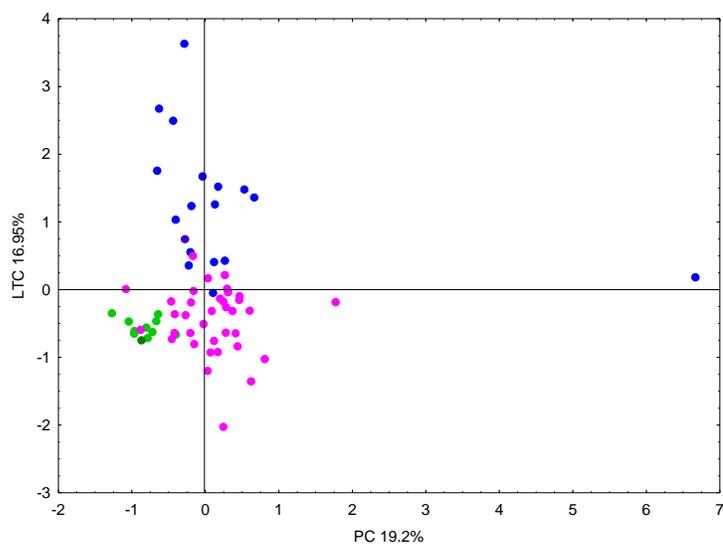
Los caracteres dimórficos más importantes fueron PC, LP, LTC y los caracteres alométricos más relevantes fueron, ARC, LCC, PESO, ACC, LRC. Como el propósito es ver que caracteres morfométricos separan mejor a Inmaduros (I) machos (m) y hembras (h), se realizaron las gráficas de los individuos en cada uno de los factores principales de la tabla 17.

Se realizaron gráficas para observar el comportamiento de cada uno de los factores contra el resto de ellos, es decir, factor 1 contra factor 2, factor 1 contra factor 3, factor 1 contra factor 4, etc. Sin embargo dado que no todos arrojaron buenos resultados (ver figura 27) se decidió dejar únicamente las gráficas en las que si se lograba la correcta separación de los individuos.



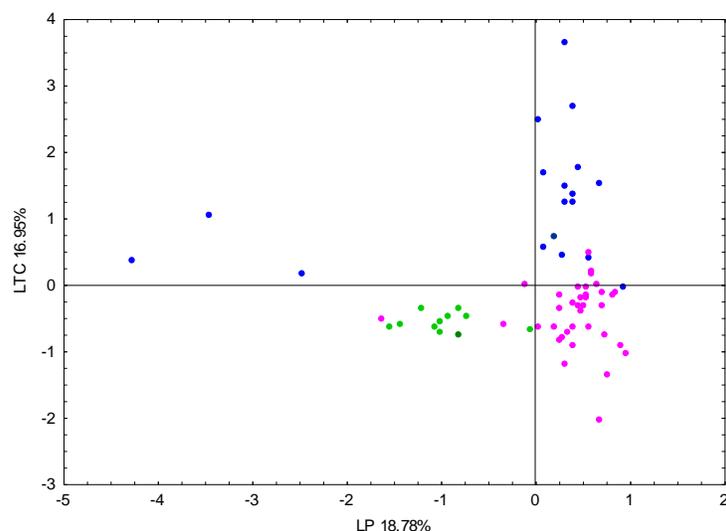
**Figura 27.** Gráfica de cada individuo en el factor 1 contra el factor 2. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

Estos factores no logran la separación de machos y hembras, solo se logra separar inmaduros de adultos. Se observan puntos extremos de machos y hembras los cuales posiblemente fueron mal sexados. Esta gráfica (figura 27) es solo un ejemplo de que hay factores que no logran la correcta separación de machos, hembras e inmaduros tal como sucedió en la gráfica de los factores 3 contra 1, dicha gráfica no fue incluida en el texto por no arrojar buenos resultados.



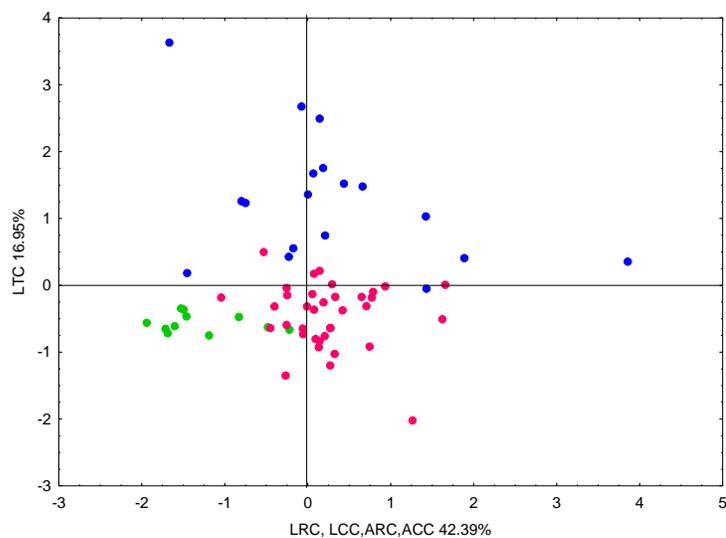
**Figura 28.** Gráfica de cada individuo en los factores dos contra el cuarto factor. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

Estos factores logran la separación de machos, hembras e inmaduros (figura 28). Se observa la presencia de valores extremos, los cuales probablemente fueron datos mal tomados o mal registrados, así como individuos mal sexados.



**Figura 29.** Gráfica de cada individuo en los factores 3 contra el factor 4. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

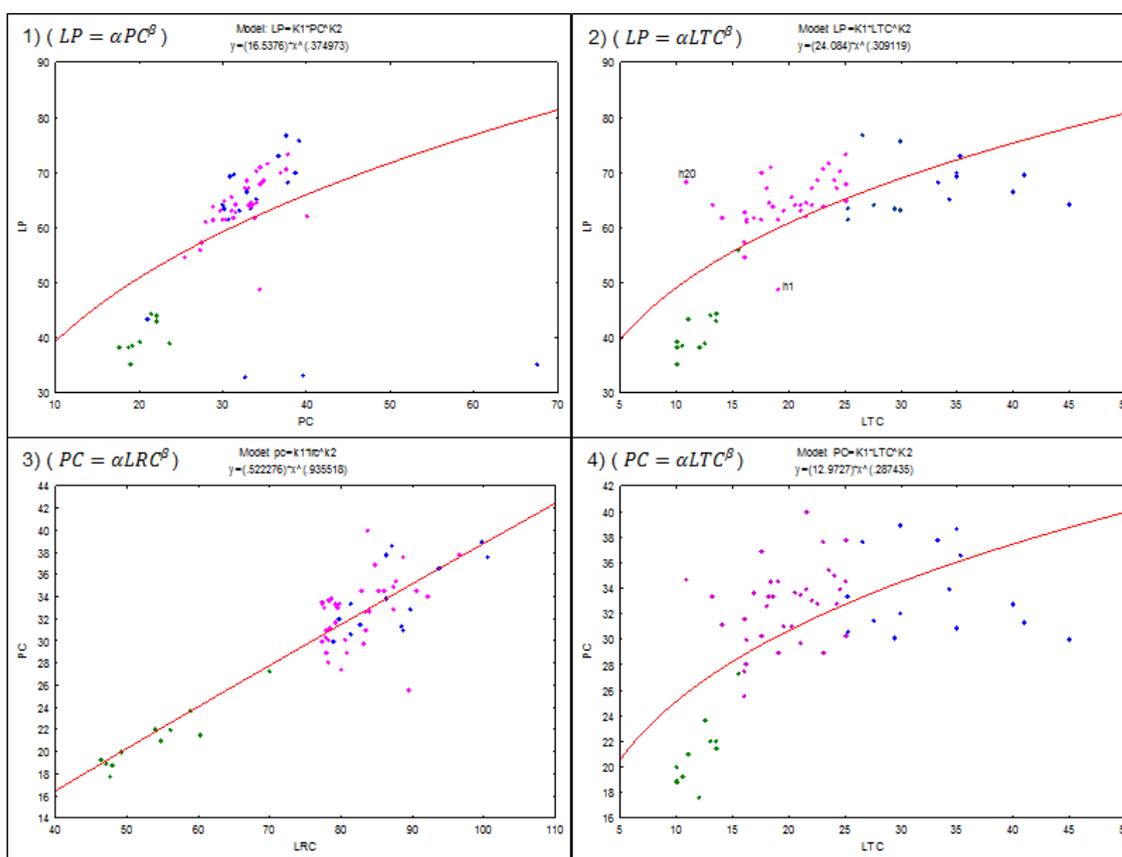
Con estos factores se logra la separación de hembras, machos e inmaduros (figura 29). En la gráfica es posible apreciar tres puntos extremos los cuales fueron marcados como machos, es probable que al momento de realizar las mediciones estas fueron mal registradas y por lo tanto los organismos mal sexados.



**Figura 30.** Gráfica de cada individuo en los factores 4 contra el factor 1. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

Con esta gráfica (figura 30) se logra la separación de hembras, machos e inmaduros. Al observar esta figura y las figuras 27 y 28 se hace evidente que la variable LTC influye en la diferenciación de machos, hembras e inmaduros. De igual manera siguen siendo notorios tres valores extremos o individuos probablemente mal sexados.

Se evaluaron las relaciones alométricas obtenidas de las 4 gráficas anteriores que lograron la correcta separación de los estadios ontogénicos para dilucidar las variables que mejor sexen los individuos, tal como se muestra en la figura 27 de la cual fue obtenido el modelo número 4. Con los siguientes resultados para todos los individuos juntos:



**Figura 31.** Gráficas de los 4 mejores modelos obtenidos a partir de los ACP. (Hembras (●), inmaduros (●), machos (●)).

En el modelo 1) ( $LP = \alpha PC^\beta$ ) se puede ver con claridad tres machos que representan individuos posiblemente mal sexados. Este modelo no puede ser considerado como bueno para la separación de sexos, ya que machos y hembras se mezclan.

El modelo 2) ( $LP = \alpha LTC^\beta$ ) logra separar machos, hembras e inmaduros, se aprecian dos organismos posiblemente mal sexados (h20 y h1) los cuales se alejan de los demás, con ésta gráfica y tomando en cuenta máximos y mínimos se obtuvieron los siguientes intervalos de referencia:

**Tabla 18.** Intervalos de referencia preliminares para LTC y LP. Las medidas están en cm.

	LTC	LP
<b>Inmaduros</b>	10 – 15	43 – 48.7
<b>Machos</b>	26 - 45	57.72 - 68.4
<b>Hembras</b>	16 – 25	49.7- 57

El modelo 3) ( $PC = \alpha LRC^\beta$ ) no logra separar hembras de machos, solo separa adultos de inmaduros esto probablemente es debido a que el tamaño del LRC en machos y hembras es similar.

El modelo 4) ( $PC = \alpha LTC^\beta$ ) también logra la separación de machos, hembras e inmaduros. Ambos modelos tienen en común la variable LTC la cual parece ser la clave para poder diferenciar entre estadios ontogénicos y sexos, de este modelo fue posible obtener los intervalos de referencia para LTC y PC de la siguiente tabla:

**Tabla 19.** Intervalos de referencia preliminares para LTC y PC. Las medidas están en cm.

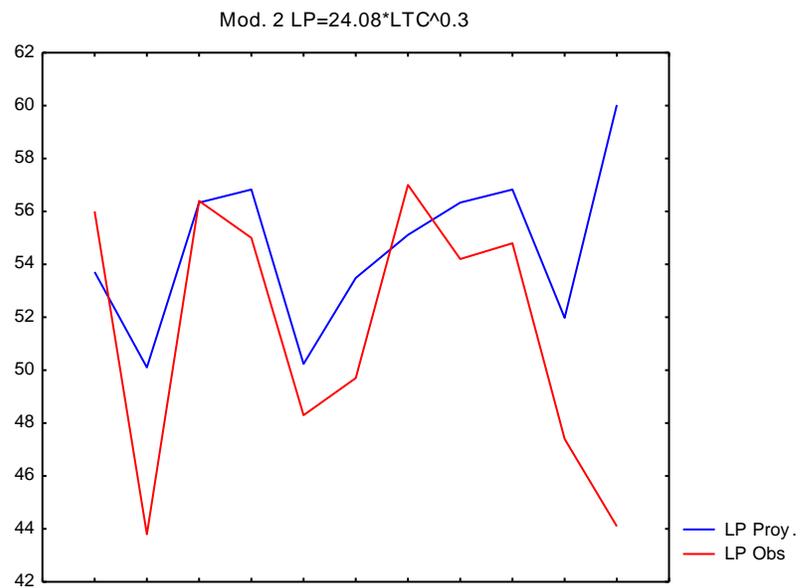
	LTC	PC
<b>Inmaduros</b>	10 – 14	25.3 – 27.9
<b>Machos</b>	26 - 45	33.3- 39.1
<b>Hembras</b>	15 – 25	28.4 – 33.

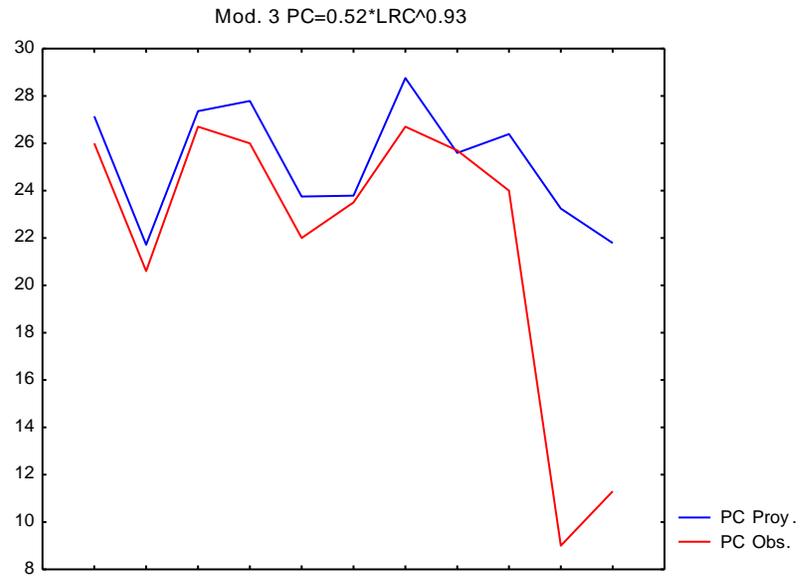
Es importante señalar que en estos modelos no se considera la variable razón la cual fue la más importante en los modelos de Bahía de los Ángeles, a continuación se muestra una tabla con los valores de referencia finales derivados de los 3 modelos anteriores. Estos valores de referencia finales fueron obtenidos tomando en cuenta los valores de referencia preliminares y los máximos y mínimos de cada variable:

**Tabla 20.** Intervalos de referencia finales. Las medidas están en cm.

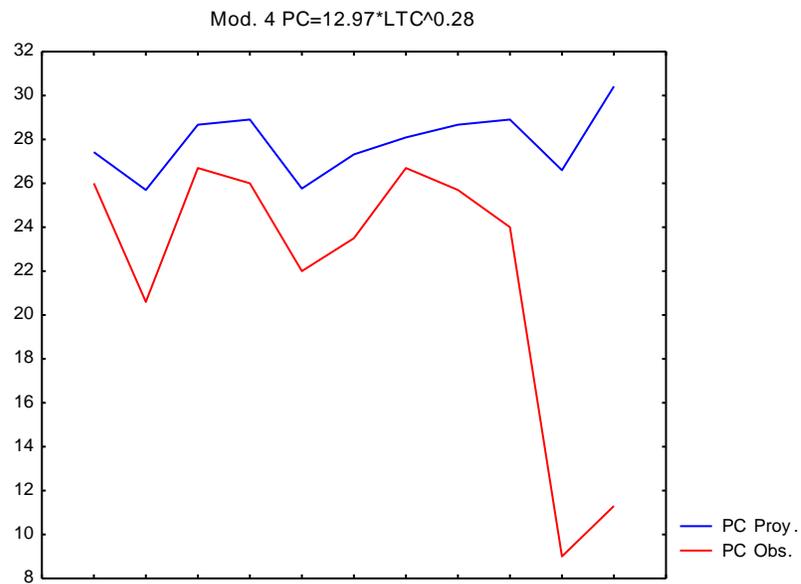
	PC	LP
<b>Inmaduro</b>	25.3 – 27.9	43 – 48.7
<b>Macho</b>	33.3- 39.1	57.72 - 68.4
<b>Hembra</b>	28.4 – 33.	49.7- 57

Con los datos de LOL de las 9 tortugas de las que se obtuvieron muestra de sangre se corroboraron los modelos anteriores con los valores proyectados por los modelos y los valores observados con los siguientes resultados:

**Figura 32.** Gráfica de los valores proyectados y los observados para LP con el modelo 2)  $LP = \alpha LTC^{\beta}$ .



**Figura 33.** Gráfica de los valores proyectados y los observados para PC con el modelo 3)  $PC = \alpha LRC^\beta$ .



**Figura 34.** Gráfica de los valores proyectados y los observados para PC con el modelo 4)  $PC = \alpha LTC^\beta$ .

De las tres gráficas anteriores (figuras 32,33 y 34) podemos ver que los modelos 3 y 4 son apropiados para predecir algunas variables con respecto a otras. Cabe señalar que en estos modelos las variables para determinar el sexo fueron medidas morfométricas, sin embargo también se toma en cuenta el LTC para diferenciar a los machos con una medida >25 cm de la misma manera que los valores para los organismos de Bahía de Los Ángeles.

**Tabla 21.** Estadísticas básicas de los 11 organismos sangrados en febrero de 2016 en LOL. Las medidas están en cm.

<b>N= 11</b>						
	<b>LCC</b>	<b>LRC</b>	<b>ACC</b>	<b>ARC</b>	<b>LP</b>	<b>RAZÓN</b>
<b>MEDIA</b>	69.5 ± 7.72	65 ± 6.84	64.4 ± 6.21	50.1 ± 5.31	51.5 ± 4.99	0.94 ± 1.1
<b>MIN - MAX</b>	58 - 81	55.3 – 74.8	55.6 – 72.3	43.8 - 57	43.8 - 57	0.39 – 3.25
	<b>LPreC</b>	<b>LPC</b>	<b>PC</b>	<b>P</b>	<b>LTC</b>	
<b>MEDIA</b>	9.22 ± 3.05	6.03 ± 3.15	22 ± 6.18	36.2 ± 12.1	15.5 ± 2.88	
<b>MIN - MAX</b>	3.7 – 12.0	3.5 – 13.0	9.0 – 26.7	18.2 - 52	11.5 - 21	

Se determinó el sexo con 3 métodos, según la razón de LPC/ LPreC, donde aquellos individuos con valores de razón menores a 1 tienen mayor probabilidad de ser inmaduros o machos y valores mayores a 1 hembras, esto se decidió así ya que en LOL no se contaba con las medidas LPreC, LPC y razón, por lo que no fue posible determinar las cotas específicas para esta población, sin embargo se ha observado en los modelos de BLA medidas similares a las aquí seleccionadas para diferenciar los sexos. Otro método para determinar el sexo fue de acuerdo a la concentración hormonal, donde fueron considerados macho todo aquel individuo con altos valores de testosterona y bajos valores de estradiol y viceversa y por último se clasificaron de acuerdo a intervalos de referencia finales de LOL (tabla20), obteniéndose como resultado que de acuerdo a los intervalos de referencia finales no hay ningún macho maduro y esto probablemente se deba a que los organismos muestreados aún eran pequeños y no desarrollaban el LTC máximo que los diferencie como machos, además los intervalos de referencia de LOL no incluyen las variables más precisas de acuerdo a los modelos de Bahía de los Ángeles para diferenciar machos de hembras como los son el LPreC, LPC y razón. De acuerdo a los resultados de los perfiles hormonales se consideraron a los organismos número 9 y 10 como machos debido a que sus concentraciones de estradiol eran considerablemente más bajas que las del resto de los organismos, el organismo 6 fue considerado un macho inmaduro ya que su nivel de testosterona fue el más elevado de los 9 organismos sangrados, sin embargo su nivel de estradiol también es considerablemente elevado. Por último de acuerdo a la razón de LPC/ LPreC los organismos 6 y 7 fueron clasificados como machos con una razón de 0.39 (la más baja registrada en los 11 organismos) además de poseer un LPreC 2.5 veces mayor que el LPC y los organismos 3 y 4 fueron clasificados como machos inmaduros ya que tuvieron una razón de 0.5 y 0.42 respectivamente y un LPreC 2 y 2.4 veces mayor que el LPC. Los organismos 10 y 11 fueron considerados como hembras al tener una razón de 3.25 y 3.05, el resto fueron marcados como inmaduros. De estos resultados solo en el organismo 1 coinciden las 3 formas de sexar, el resto de los organismos solo 2 de las formas de sexar coinciden (tabla 22).

Cabe señalar que existen pocos estudios donde se discuta intervalos de referencia de perfiles hormonales que diferencien con claridad a machos, hembras e inmaduros. Allen *et al.* (2015), hacen mención de intervalos de referencia para testosterona, sin embargo, existe traslape de dichos intervalos entre machos y hembras por lo que estos intervalos no pueden ser considerados como confiables (tabla 23).

**Tabla 22.** Clasificación sexual de los 11 organismos muestreados en LOL de acuerdo a los tres métodos de clasificación.

ID.	Sexo según la razón de LPCCC/ LPreC	Sexo según perfiles hormonales	Sexo según intervalos de referencia	Clasificación dada en campo
1	I	HI	HI	H
2	I	H	I	I
3	MI	H	HI	H
4	MI	H	HI	H
5	I	H	I	I
6	M	IM	I	I
7	M	H	HI	H
8	I	S/D	HI	H
9	I	M	HI	I
10	H	M	MI	I
11	H	S/D	MI	I

\*S/D (sin determinar) organismos de los que no fue posible obtener muestra sanguínea. I (inmaduros), HI (hembra inmadura), M (macho), H (hembra), MI (macho inmaduro).

**Tabla 23.** Media  $\pm$  error estándar de la media (EEM) y (rango) las concentraciones de testosterona ( $\mu\text{g} / \text{ml}$ ) de muestras de plasma ( $n = 96$ ) obtenidas a partir de diferentes estados de madurez de las tortugas verdes hembra y macho ( $n = 69$ ) que se alimentan en San D Diego Bay, CA. Nota: múltiples muestras de sangre fueron recolectadas de 19 tortugas capturadas en varias ocasiones y, por lo tanto, los resultados de estos muestreos adicionales se integran dentro del estado de madurez en el momento de la captura en función del tamaño [longitud recta del caparazón (LRC)] (Allen *et al.* 2015).

Adultos (> 90 cm LRC)			
	Probables hembras	Machos	
	n=21	n=9	
<b>Testosterona</b>	67.8 $\pm$ 13.4	18939 $\pm$ 7,737.3	
<b>Concentración</b>	(4.6–281.2)	(112.4 –112094.2)	
<b>Muestras de plasma</b>	n = 26	n = 15	
Inmaduros (< 90 cm LRC)			
	Hembras	Machos	Desconocidos
	n=32	n=10	n=3
<b>Testosterona</b>	23.9 $\pm$ 3.4	1046.7 $\pm$ 223.1	124.9 $\pm$ 7.2
<b>Concentración</b>	(4.1–113.1)	(198.4 –2613.0)	(116.4 –139.1)
<b>Muestras de plasma</b>	n = 40	n = 12	n = 3

**Tabla 24.** Tabla de niveles hormonales de las 11 tortugas muestreadas en febrero de 2016 en LOL.

<b>TESTOSTERONA pg/ml</b>				
<b>ID</b>	<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA2</b>	<b>REPLICA3</b>	<b>MEDIA</b>
<b>1G</b>	180	170	150	166.66
<b>2G</b>	500	540	600	546.66
<b>3G</b>	320	360	400	360
<b>4G</b>	670	690	680	680
<b>5G</b>	540	550	430	506.66
<b>6G</b>	1190	1430	1420	1346.66
<b>7G</b>	340	340	410	363.33
<b>9G</b>	640	560	620	606.66
<b>10G</b>	1160	1230	1110	1166.66

<b>ESTRADIOL pg/ml</b>				
<b>ID</b>	<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA2</b>	<b>REPLICA3</b>	<b>MEDIA</b>
<b>1G</b>	28.3	29.2	30.6	29.4
<b>2G</b>	78.5	87.4	75.8	80.6
<b>3G</b>	56.3	44.4	42.5	47.7
<b>4G</b>	56.8	62.8	58.9	59.5
<b>5G</b>	45.7	60.2	40.4	48.8
<b>6G</b>	66.2	54.7	75.6	65.5
<b>7G</b>	40.5	40.9	46.1	42.5
<b>9G</b>	24.1	29.1	39.1	30.8
<b>10G</b>	23.4	31.6	10.3	21.8

**Tabla 25.** Estadística descriptiva de las 23 tortugas muestreadas y sangradas en julio de 2016 en BLA. Las medidas están en cm.

<b>N= 23</b>				
	<b>LCC</b>	<b>ACC</b>	<b>LTC</b>	<b>LPreC</b>
<b>MEDIA</b>	78.39 ± 6.9	73.84 ± 5.9	18.20 ± 3.34	13.17 ± 2.37
<b>MIN - MÁX</b>	66.70 – 94.53	66.63 – 88	13.90 – 25.23	10.63 – 18.23
	<b>LPC</b>	<b>Razón</b>	<b>LP</b>	
<b>MEDIA</b>	5.69 ± 1.27	0.43 ± 0.06	60.90 ± 5.33	
<b>MIN - MÁX</b>	3.93 – 8.4	0.33 – 0.59	53.67 – 73.3	

**Tabla 26.** Sexo de los 23 organismos muestreados en julio en BLA. Las medidas están en cm.

	<b>LTC</b>	<b>LPreC</b>	<b>Razón</b>	<b>SEXO</b>
<b>1</b>	24.83	18.23	0.43	H
<b>2</b>	16.70	12.53	0.34	HI
<b>3</b>	18.53	13.70	0.41	HI
<b>4</b>	20.77	13.90	0.46	H
<b>5</b>	16.93	12.50	0.42	HI
<b>6</b>	21.30	14.23	0.59	H
<b>7</b>	17.73	12.83	0.48	HI
<b>8</b>	25.00	17.93	0.41	H
<b>9</b>	16.73	12.63	0.44	HI
<b>10</b>	15.63	11.63	0.40	HI
<b>11</b>	16.20	11.77	0.50	HI
<b>12</b>	13.90	10.67	0.42	I
<b>13</b>	15.67	12.10	0.33	HI
<b>14</b>	20.43	16.07	0.33	H
<b>15</b>	15.50	10.73	0.46	HI
<b>16</b>	15.40	10.63	0.46	HI
<b>17</b>	18.67	13.63	0.47	H
<b>18</b>	25.23	17.93	0.45	H
<b>19</b>	15.60	10.97	0.46	H
<b>20</b>	20.20	14.30	0.42	H
<b>21</b>	16.60	11.53	0.44	H
<b>22</b>	16.00	11.20	0.47	H
<b>23</b>	15.10	11.17	0.37	H

Al igual que con los organismos de BLA, se procedió a realizar el re sexado y la obtención de la razón de sexos de los 65 organismos muestreados en LOL, los resultados mostraron 14 tortugas inmaduras, 14 machos y 37 hembras con una razón de sexos hembra:machos de 2.64 : 1.

## Capítulo 4

---

### 4. Discusión

Un método válido y robusto de diferenciación sexual es fundamental para la realización de estudios de proporción sexual en tortugas marinas. Existen diversas técnicas para determinar el sexo en quelonios, sin embargo, algunos de estos métodos suelen ser invasivos además de que la logística y los costos de los mismos pueden impedir su uso extendido para la examinación de un mayor número de tortugas. El método no letal más preciso para determinar el sexo en tortugas marinas es la observación directa de las gónadas por una examinación laparoscópica (Delgado *et al.*, 2010), sin embargo, la principal desventaja es que el procedimiento es invasivo y potencialmente peligroso para la tortuga si no se cuenta con el entrenamiento veterinario apropiado para realizarlo (Wood *et al.*, 1983; Limpus y Reed, 1985; Limpus, 1985). Además, otras técnicas como cariología (Bickham *et al.*, 1980), prueba de antígenos H-Y en las células sanguíneas (Wellins, 1987), prueba de hibridación en ADN con la sonda Bkm (ADN repetitivo asociado a los cromosomas del sexo (Demas *et al.*, 1990) y análisis de los niveles de testosterona en sangre (Owens *et al.*, 1978; Wibbels *et al.*, 1987; Wibbels, 1988) han sido demostradas como aptas para una identificación fisiológica o molecular del sexo, sin embargo no han sido suficientemente validadas. Aunado a esto la logística y los costos metodológicos pueden impedir su uso extendido para la examinación de grandes grupos de tortugas. El radioinmunoensayo (RIA) de la testosterona es un método también caracterizado por dificultades logísticas y equipo caro, pero ha probado ser práctico para sexar con éxito tortugas juveniles. Allen *et al.* (2015) realizaron un estudio comparativo entre RIA Y ELISA en el que el ELISA demostró una excelente correspondencia con el RIA para proporcionar concentraciones de testosterona para la determinación del sexo.

Para que una técnica de sexado sea útil, esta debe ser precisa, de logística práctica y de bajo costo. La utilización de modelos matemáticos para la determinación de sexo en *Chelonia mydas* podría ser una solución efectiva a los inconvenientes que presentan todas las demás técnicas de sexado descritas con anterioridad, ya que dicha técnica cumple con los tres requisitos anteriores, es decir, es práctica al no ser un método invasivo, es precisa y de muy bajo costo ya que no requiere de equipo costoso.

La diferenciación de machos y hembras adultas en tortugas marinas, normalmente no es un problema grave ya que los machos durante la pubertad desarrollan características sexuales secundarias como el largo de la cola, la morfología del caparazón y de las uñas en las aletas frontales (entre otras) (Wibbels *et*

*al.* 1990; Owens, 1997; Hamann *et al.* 2003; Wyneken, 2004). La característica sexual secundaria más obvia es la larga y musculosa cola prensil que se extiende fuera del caparazón en machos adultos la cual presenta el segmento caudal precloacal alongado, donde guarda el pene completamente desarrollado (Wibbels *et al.* 1990, Owens, 1997; Wyneken, 2004). Aunque las longitudes de la cola varían con las especies y posiblemente con la población, la cola de las tortugas marinas hembras es corta y se extiende sólo un poco más allá de los escudos marginales (Wibbels, 2000). Sin embargo, algunos autores argumentan que utilizar la longitud total de cola en estos organismos puede presentar errores cuando los organismos sexados se encuentran cerca del tamaño mínimo para ser considerado adulto en una población (Limpus, 1985; Meylan *et al.* 2011). Por otra parte, pudiera ser que algunos juveniles grandes o machos en estado de pubertad no hayan desarrollado todavía colas largas y por lo tanto pueden ser confundidos con hembras adultas pequeñas (Limpus, 1985; Limpus y Reed, 1985). Así mismo las uñas en las aletas frontales que llegan a desarrollar los machos con frecuencia las pierden ya sea en el proceso de apareamiento o en peleas con otros machos por lo que estas característica deben de tomarse con reserva para sexar adultos.

Para la población de *Chelonia mydas* en el Golfo de California, el criterio de clasificación de edad adulta se realiza con base en la medida promedio del Largo Recto de Caparazón de hembras anidantes en Michoacán (LRC = 77.3 cm) (Alvarado y Figueroa, 1991) esto es, cualquier individuo con LRC >77.3 cm es considerado adulto. Se considera que el criterio de clasificación de edades presenta un gran sesgo, al subestimar aquellos individuos reproductores, que se encuentran por debajo de dicha talla (Nichols, 2003). Sin embargo, es importante mencionar que la talla no es un indicador confiable del estado de madurez, según estudios realizados (Musik y Limpus, 1997). Al analizar los datos obtenidos para este estudio, los organismos que fueron muestreados habían sido previamente sexados en campo de acuerdo al criterio anteriormente descrito (LRC >77.3 cm = adulto), sin embargo, se encontraron errores en el sexado ya que algunas tortugas marcadas como hembras o machos adultos resultaron ser en realidad inmaduros o algunos organismos que por el tamaño del LRC habían sido sexados como inmaduros en realidad eran hembras o machos adultos de tamaño pequeño, dichos errores fue posible detectarlos con la aplicación de los modelos matemáticos.

Mediante estadística multivariada se determinó que el LTC, LPrec, LPCCC y la razón (LPCCC/LPreC) son los caracteres sexuales secundarios más importantes para la determinación del sexo en *Chelonia mydas*. Heithaus *et al.* (2005) clasificaron como machos a individuos con LTC > 25 cm lo cual se acerca a los intervalos de referencia finales obtenidos para BLA donde se estableció para machos un intervalo para LTC= 28.4 – 52.7 cm. Los autores antes mencionados clasificaron como hembras a todo aquel organismo

con colas <25 cm y LCC > 100 cm, esto difiere de lo encontrado en este estudio ya que aquí se establece que el LCC no es un buen parámetro para la determinación sexual, además, encontramos que el LTC para hembras deberá medir en un rango de 13.04 – 25 cm mientras que los organismos clasificados como inmaduros son los que poseen colas más pequeñas con medidas que van de 7 – 14 cm de longitud. Por su parte Carrión (2010), diferencia a machos con el LTC >20 cm y si es menor que 20 cm son probables hembras (ver tabla 27).

**Tabla 27.** Tabla comparativa entre las medidas límites para cada clase ontológica. Las medidas están en cm.

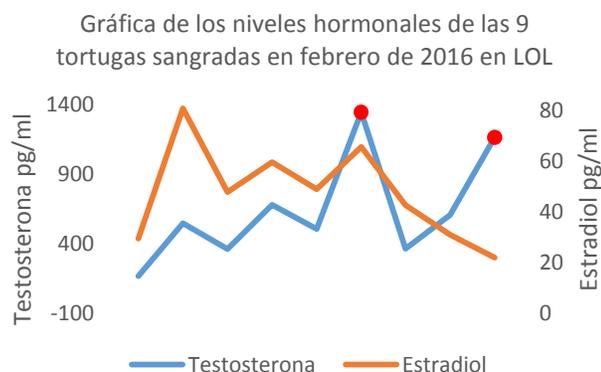
<b>Heithaus et al. (2005)</b>			
	<b>Hembras</b>	<b>Machos</b>	<b>Inmaduros</b>
<b>LTC</b>	<25	>25	-
<b>LCC</b>	>100		-
<b>Carrión (2010)</b>			
<b>LTC</b>	<20	>20	-
<b>Este estudio</b>			
<b>LTC</b>	13.04 – 25	28.4 – 52.7	7 – 14
<b>LPreC</b>	13.5– 18.5	19.6-30.38	5.1- 8
<b>Razón</b>	0.47 - 2.84	0.25 - 0.47	0.34 - 0.66

En 2012 Santacruz López con datos de Bahía de los Ángeles encontró una relación alométrica entre las variables morfométricas (sin utilizar el LPreC y LPCCC) de *Chelonia mydas*, la cual aparentemente permitía diferenciar los sexos de los individuos, además, encontró una relación alométrica entre el LTC y la PC. Esto coincide con lo encontrado en este estudio para LOL donde tampoco se incluyeron las variables LPreC, LPCCC y razón aunque en los intervalos de referencia finales únicamente se incluyó la variable PC pero no el LTC. Lo anterior difiere de lo encontrado en BLA, ya que ahí al incluir las variables LPreC, LPCCC y razón (LPCCC/LPreC), la variable PC ya no fue importante para diferenciar a los sexos de los individuos.

En cuanto a la calibración de los modelos matemáticos con los perfiles hormonales de testosterona y estradiol existen pocos estudios donde se discutan los intervalos de referencia de perfiles hormonales que diferencien con claridad a machos, hembras e inmaduros. Gross *et al.* (1995) encontraron en *Caretta caretta* que la proporción de concentraciones de estradiol respecto a testosterona es significativamente menor en los machos que en hembras, lo que permite predecir el sexo con precisión aceptable. Sin

embargo, Merchant-Larios (2000) en *L. olivacea*, no encontró diferencias en los niveles de estas hormonas entre los sexos.

Algunos autores como Bolten y Bjorndal (1992) sugieren que tortugas con niveles de testosterona menores a 10 pg/ml sean clasificadas como hembras, con niveles >20pg/ml como machos y entre 10-20 pg/ml como indefinidos. Schoeder y Owens (1994); Coney y Landry (1995), encontraron valores similares a los de Bolten y Bjorndal (1992). Sin embargo Allen *et al.* (2015) difieren drásticamente de lo propuesto anteriormente y mencionan que las hembras deben tener como intervalos de referencia valores de testosterona de 4.6–281.2 pg/ml, los machos 112.4 –112094.2 pg/ml mientras que para las hembras inmaduras los valores deben ir de 4.1–113.1 pg/ml y en los machos inmaduros de 198.4 –2613 pg/ml. En este estudio los resultados de los perfiles hormonales para las tortugas de LOL señalan que solo dos de los 9 organismos sangrados son probables machos con valores de testosterona de 1346.66 y 1166.66 pg/ml, mientras que los 7 organismos sangrados restantes presentaron valores de testosterona que van de los 166.66 a los 680 pg/ml, estos 7 organismos fueron considerados hembras o hembras inmaduras de acuerdo a los 4 tipos de clasificación sexual tomados en cuenta (sexo según la razón de LPCCC/ LPreC, sexo según perfiles hormonales, sexo según intervalos de referencia y clasificación dada en campo), lo anterior contradice lo propuesto por Bolten y Bjorndal (1992), ya que de acuerdo con su clasificación todos los organismos muestreados en LOL deberían de ser machos. Por otra parte, nuestros resultados presentan coincidencias con los de Allen *et al.* (2015) ya que los 2 organismos que identificamos como machos y los 7 identificados como hembras presentan valores de testosterona similares a los propuestos por Allen *et al.* (2015) (figura 35), sin embargo, cabe mencionar que existe traslape entre los valores de referencia que ellos proponen. De los datos recabados de las 23 tortugas sangradas en BLA en julio de 2016, se puede inferir de acuerdo a los perfiles hormonales que solamente 2 organismos son machos (ver figura 36) al presentar valores de testosterona de 13050 y 15040 pg/ml respectivamente lo cual nuevamente coincide con lo mencionado por Allen *et al.* (2015).



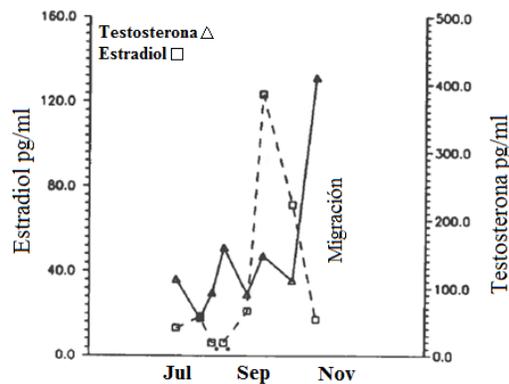
**Figura 35.** Gráfica de los niveles hormonales de las 9 tortugas sangradas en febrero de 2016 en LOL. Los puntos rojos indican los dos organismos sexados como machos.



**Figura 36.** Gráfica de los niveles hormonales de las 23 tortugas sangradas en julio de 2016 en BLA. Los puntos rojos indican los dos organismos sexados como machos.

Por otra parte Wibbels *et al* (1990) mencionan que en las hembras adultas de tortuga boba inactivamente reproductivas, los niveles hormonales de testosterona y estradiol no tienen diferencias estacionales, por el contrario el mismo estudio señala que para la primavera de la costa atlántica de Florida los niveles tanto de testosterona como de estrógenos entre hembras activas y no activas fueron significativamente diferentes, siendo mayor en las hembras activas aun cuando dichas hembras estuvieran aun en las áreas de alimentación. Lo anterior significa que probablemente el aumento en los niveles de esteroides observado en la primavera podría no ser el estímulo necesario de las hembras adultas para iniciar su migración. Los autores observaron una fuerte disminución de estradiol y un intenso aumento de testosterona en tortugas caguama (*Caretta caretta*) reproductivamente activas justo antes de iniciar su migración (figura 37). Por su parte Allen *et al.* 2015, mencionan en su estudio que los resultados de testosterona por el método de RIA o ELISA, no resultaron confiables para predecir

el sexo de hembras sexualmente activas con aumento de la producción de testosterona. Además, mencionan que las tortugas de tamaño adulto pueden ser identificadas erróneamente si solo se toman en cuenta las concentraciones de testosterona, ya que una hembra reproductivamente activa con altas concentraciones de esta hormona puede ser considerada un macho inmaduro o maduro, y argumenta también que los ensayos de testosterona por sí solos no deben ser utilizados para determinar el sexo de las tortugas cerca del tamaño umbral de la madurez sin información adicional para corroborar los resultados del ensayo. Los muestreos en BLA y LOL de los que se obtuvieron muestras de sangre fueron realizados en los meses de julio y febrero de 2016 respectivamente, considerando que la temporada de anidación para esta población va de agosto a enero es posible sugerir que el hecho de no haber encontrado machos maduros en BLA se deba precisamente a que se encontraban en las áreas de apareamiento en ese momento mientras que para LOL probablemente los machos maduros se encontraban migrando de las áreas de apareamiento de regreso a las áreas de alimentación.



**Figura 37.** Niveles hormonas en tortugas que indican un aumento repentino en testosterona y disminución en niveles de estradiol. Al aumento de testosterona las TM empezaron su proceso de migración.

Al comparar las figuras 35, 36 y 37 es posible apreciar lo mencionado por Wibbels *et al* (1990), referente al aumento de testosterona y la disminución de los niveles de estradiol (lo cual marca el inicio del proceso de migración a áreas de reproducción) en algunas de las tortugas muestreadas, dicho comportamiento hormonal lo presentaron, tres de las cuatro tortugas que habían sido sexadas como machos (puntos rojos de las figuras 35 y 36) ya que tuvieron los niveles de testosterona más elevados para su sitio de muestreo, esto contradice lo dicho por Allen *et al.* (2015) referente a los rangos de testosterona utilizados para sexar a las tortugas marinas ya que dichos organismos considerados machos en realidad pudieran ser hembras al comienzo de su proceso de migración a áreas de reproducción, sin embargo esto mismo lo señaló Allen *et al.* (2015) al documentar que la concentración de testosterona evaluada con los métodos de RIA o ELISA no resultaron confiables para predecir el sexo de hembras

sexualmente activas con aumento en la producción de esta hormona. Por lo cual se podría concluir que al menos los 2 organismos de BLA que en un principio habían sido considerados machos en realidad son hembras al comienzo de su época reproductiva ya que el periodo de muestreo (julio) coincide con el inicio de la temporada de anidación (agosto).

Referente a los cuatro tipos de sexado comparados en este estudio (intervalos de referencia, razón de LPC/ LPreC, perfiles hormonales y clasificación en campo) podemos decir que en la mayoría de los casos los 4 tipos de sexado coincidían excepto cuando de acuerdo a los niveles hormonales algún organismo era sexado como macho pero al mismo tiempo los otros métodos diferían de dicho resultado. Al igual que Allen *et al.* (2015) en este estudio se considera que mientras no exista un estudio robusto de los perfiles hormonales para el sexado de tortugas marinas no es confiable utilizar los resultados de RIA de testosterona y estradiol ya que se podría tomar una decisión errónea y sexar como macho a aquellas hembras que están por comenzar su migración reproductiva.

La estimación de la razón de LPCCC/ LPreC resultó ser importante para la determinación del sexo en conjunto con las variables LTC y LPreC, sin embargo esta variable no puede ser utilizada por si sola para determinar el sexo en tortugas marinas debido a que presenta un traslape para machos (razón= 0.25 - 0.47) e inmaduros (razón= 0.34 - 0.66). No obstante, resultó ser de gran utilidad para diferenciar a las hembras adultas (razón= 0.47 - 2.84) del resto de la población siempre y cuando la razón obtenida para determinado organismo sea mayor a 0.66 que es la medida límite de inmaduros con la cual presenta un ligero traslape.

## Capítulo 5

---

### 5. Conclusiones

- Los modelos matemáticos son una solución práctica, económica y confiable para el sexado de tortugas marinas pero para que arrojen resultados certeros las medidas largo pre cloacal, largo post cloacal y razón deben de ser incluidas en la lista de medidas morfométricas que deben ser tomadas en los muestreos.
- Las medidas largo total de cola, largo pre cloacal, largo post cloacal y razón son las variables determinantes para la predicción del sexo en tortugas marinas. Sin embargo los modelos matemáticos deben ser aplicados y calibrados en todos los sitios de agregación de tortugas marinas para que puedan ser ajustados a cada población y especie.
- El LRC  $>77.3$  cm no es indicativo de la adultez ya que dicha medida fue obtenida de la talla promedio de tortugas anidantes de Michoacán y no toma en consideración a las hembras y machos pequeños. Para proponer una medida como criterio de clasificación de edad adulta en áreas de alimentación, se debe considerar los datos obtenidos en dicha población tomando en cuenta machos y hembras.
- La estructura de tallas en LOL se encuentra definida por individuos inmaduros (16.92%) con LRC promedio de 53.80 cm, los machos representan el 27.69% con un LRC promedio de 86.78 cm y la hembras son el 55.38% de la población con un LRC promedio de 82.5 cm. En BLA la estructura de tallas predominante son los inmaduros (52.15%) con un LRC promedio de 66.5 cm, seguida por las hembras que representan el 31.72% de la población con un LRC de 83.5 cm y los machos (16.13%) con un LRC de 81.20 cm.
- La proporción de sexos en LOL se encuentra sesgada hacia las hembras (2:1) al igual que en BLA (1.96:1) sin embargo, una posible explicación para un sesgo femenino en zonas de alimentación son las diferencias en la preferencia de hábitat entre machos y hembras así como la diferencia en sus ciclos migratorios. Estas proporciones son las que eran consideradas inicialmente de acuerdo al sexado que se le había dado en campo a cada tortuga pero al re sexar a los organismos con los modelos matemáticos obtenidos se alcanzaron razones de sexo de 2.23:1 para BLA y 2.64:1 para LOL.

- El uso de perfiles hormonales como técnica de sexado no es confiable debido a la falta de estudios pertinentes que permitan determinar los valores de referencia de testosterona y estradiol para definir el sexo de los organismos por cada área de agregación y forrajeo de las especies estudiadas en las diferentes estaciones del año.
- De los cuatro tipos de sexado utilizados se puede concluir que a pesar de que arrojaban resultados similares, solamente el sexado por intervalos de referencia obtenidos con los modelos matemáticos es confiable ya que su eficiencia ha sido demostrada estadísticamente. El sexado considerando únicamente la razón de  $L_{PosC}/L_{PreC}$  no es cien por ciento confiable debido al traslape que se presenta entre machos e indefinidos, es decir, únicamente ayuda a predecir si un organismo es hembra o no. De los perfiles hormonales ya se ha señalado que no son confiables en su totalidad ya que no existen rangos de referencia que indiquen el sexo de cada organismo y las hembras con altos niveles de testosterona al comienzo de su etapa reproductiva pueden fácilmente ser confundidas con machos. En cuanto a la clasificación dada en campo, se puede concluir que a pesar de la vasta experiencia con la que cuentan los pescadores y demás personal encargado de los muestreos, se siguen cometiendo errores en el sexado ya que su clasificación está basada en el tamaño de la cola y el LRC, por lo que machos tardíos que no han desarrollado la cola larga son confundidos con hembras o hembras pequeñas que suelen ser confundidas con inmaduros.

## Literatura citada

---

- Abella, E., Marco, A., López-Jurado, L. F. 2007a. Climate change and the evolution of loggerhead sex-ratio in Cabo Verde. Abstracts of 14th European Congress of Herpetology. Societas Europaea Herpetologica. Lisboa, Portugal.
- Abella, E. 2010. Factores ambientales y de manejo que afectan al desarrollo embrionario de la tortuga marina *Caretta caretta*. Implicaciones en programas de incubación controlada. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. España.
- Acevedo-Cervantes, A. 1997. Caracterización ecológica de la comunidad íctica de la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S, México. Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S., México. 123 p.
- 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) Vol. 1 pp. 83–106, CRC Press, Boca Raton, FL. Águila-Ramírez, R.N. 1998. Variación estacional de la distribución de las macroalgas en la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S. Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S., México. 68 p.
- Aguilar-Rosas L, Aguilar-Rosas R, Mendoza-González A. C, Mateo-Cid LE. 2000. Marine algae from the northern coast of Baja California, México. Bot. Mar. 43: 127–139.
- Allen CD, Robbins MN, Eguchi T, Owens DW, Meylan AB, Meylan PA, et al. 2015. First Assessment of the Sex Ratio for an East Pacific Green Sea Turtle Foraging Aggregation: Validation and Application of a Testosterone ELISA. PLoS ONE 10(10): e0138861. doi:10.1371/journal.pone.0138861
- Alvarado, D. J. y A, Figueroa, 1991. Comportamiento Reproductivo de la Tortuga Negra *Chelonia agassizi*. Ciencia y Desarrollo. 17(98): 1-6 p.
- Alvarado, D. J. y C. Delgado T. 2005. Tortugas marinas de Michoacán: historia natural y conservación. Comisión de Pesca de Michoacán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Álvarez, B. S., Rivera J. A., Gaxiola, C. G., Acosta, R. M. J., Schwartzlose R. A., 1978. Nutrientes en el Golfo de California. Ciencias Marinas.5:21-36 p
- Álvarez-Borrego, S., Granados-Guzmán, A. 1992. Variación espacio-temporal de temperatura en un hábitat de invierno de la ballena gris: Laguna Ojo de Liebre. Ciencias Marinas, 18:151-165.
- Álvarez, B. S. 2008. Oceanografía. En: GD Danemann y E Ezcurra (Eds.). Bahía de los Ángeles: recursos naturales: línea base 2007. Primera Edición. México. 45-66 pp.
- Amador, B. A., S. J. Serrano, G. & M. L. Argote, E. 1991. Numerical model of the circulation induced by the wind at Bahía de los Ángeles, B. C., Mexico. Ciencias Marinas 17: 39-57.
- Amorocho, D. F. and Reina, R. D. 2007. Feeding ecology of the East Pacific green sea turtle *Chelonia mydas agassizii* at Gorgona National Park, Colombia. Endanger. Species Res. 3:43-51.

- Baker, J., Fish, M.R. y C. Drews. 2009. Manual de monitoreo de temperatura: guía para monitorear temperaturas de arena e incubación en playas de anidación de tortugas marinas. Informe de WWF, San José, 20 p.
- Balazs, G. H., 1982. Growth rates of immature green turtles in the Hawaiian archipelago. Pp. 117–125. En: Bjorndal, K.A. (Ed.). *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Barnard J. L and J. R Grady. 1968. A biological survey of Bahia de Los Angeles, Gulf of California. México I. General account. *Transactions of The San Diego Society For Natural History Trans.* 15: 51-66 p.
- Bermúdez-Almada, B. 2003. Ficha Informativa de los Humedales Ramsar (FIR): Laguna Ojo de Liebre. 9 p. Recuperado de: [http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR\\_RAMSAR/Baja\\_California\\_Sur/Laguna\\_San\\_Ignacio/Laguna%20San%20Ignacio.pdf](http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Baja_California_Sur/Laguna_San_Ignacio/Laguna%20San%20Ignacio.pdf)
- Bickham, J. W., K. A. Bjorndal, M. W. Haiduk y W. E. Rainey. 1980. The karyotype and chromosomal banding patterns of the green turtle (*Chelonia mydas*). *Copeia* 1980:540-543.
- Bjorndal, K. A., 1980. Nutrition and grazing behavior of the green turtle *Chelonia mydas*. *Marine Biology*, 56: 147-154.
- Bjorndal, K. A., Bolten, A.B., & Chaloupka, M.Y. 2005. Evaluating trends in abundance of immature green turtles, *Chelonia mydas*, in the greater Caribbean. *Ecological Applications*, 15:304–314.
- Bocourt, M.F. 1868. Descriptions de quelques chéloniens nouveaux appartenant a la faune Mexicaine. *Ann. Sci. Nat. Zool.*, (Ser. 5) 10 (Pts. 1-3), p. 121-122
- Bolten A. B. and K. A. Bjorndal 1992. Blood profiles for a wild population of green turtles (*Chelonia mydas*) in the southern Bahamas: size-specific and sex-specific relationships. *Journal of Wildlife Diseases*: July 1992, Vol. 28, No. 3, pp. 407-413. doi: <http://dx.doi.org/10.7589/0090-3558-28.3.407>
- Bolten A. B., K.A. Bjorndal, S. Grumbles and D.W. Owens. 1992. Sex ratio and sex specific growth rates of immature Green turtle *Chelonia Mydas*, in the southern Bahamas. *Copeia* 4:1098-1103.
- Bolten, A. B. 2003. Variation in sea turtle life history patterns: Neritic vs. Oceanic developmental stages. En: Lutz, P. L., J. A. Musick y J. Wyneken. (Eds.). *The biology of sea turtles*. Volume II. CRC Press, Boca Ratón, pp. 243-257.
- Booth, J. and J. A. Peters. 1972. Behavioral studies on the green sea turtle (*Chelonia mydas*) in the sea. *Anim. Behav.* 20:808-812.
- Braun-McNeill, J., S.P. Epperly, D.W. Owens, L. Avens, E. Williams, and C.A. Harms. 2007. Seasonal reliability of testosterone radioimmunoassay (RIA) for predicting sex ratios of juvenile Loggerhead (*Caretta caretta*) Turtles. *Herpetologica* 63:275-284.
- Broderick A. C, B.J. Godley, Reece, S. and Downie, J. R., 2000. Incubation periods and sex ratios of green turtles: highly female biased hatchling production in the eastern Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 202: 273–281.

- Broderick A. C., B.J. Godley, and Graeme C. Hays, 2001. Metabolic Heating and the Prediction of Sex Ratios for Green Turtles (*Chelonia mydas*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 74(2): 161-170.
- Broderick, A. C., Coyne, M. S., Fuller, W. J., Glen, F. and Godley, B. J. 2007. Fidelity and over-wintering of sea turtles. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.* 274, 1533-1538.
- Bull, J. J. y Vogt, R. C. 1979. Temperature-dependent sex determination in turtles. *Science*, 206, 1186-1188.
- Burgess, E. A., Booth, D. T., and Lanyon, J. M. 2006. Swimming performance of hatchling green turtles is affected by incubation temperature. *Coral Reefs*, 25(3), 341-349.
- Cabello-Pasini, A., Muñiz-Salazar, R., & Ward, D.H. 2003. Annual variations of biomass and photosynthesis in *Zostera marina* at its southern end of distribution in the North Pacific. *Aquatic Botany*, 76:31-47.
- Callard, I. P., C. G. Bayne and W. F. McConnell. 1972. Hormones and reproduction in the female lizard *Sceloporus cyanogenys*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 18:175-194.
- Callard, I.P., G.V. Callard, V. Lance & S. Eccles. 1976a. Seasonal changes in testicular structure and function and the effects of gonadotropins in the freshwater turtle, *Chrysemys picta*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 30:347-356.
- Carr, A. 1952. *Handbook of Turtles: The Turtles of the United States, Canada, and Baja California*. Cornell University Press, New York. 542 pp.
- Carr, A., 1986. New perspectives in the pelagic stage of sea turtle development. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC-190: 3-9.
- Carrillo, M., Zanuy, S., Prat, F., Cerda, J., Mañanos, E., Bromage, N., Ramos, J. & KAH, O. 1995. Nutritional and photoperiodic effects on hormonal cycles and quality of spawning in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Netherlands Journal of Zoology*, 45(1-2), 204-209.
- Carthy RR, Foley AM y Matsuzawa Y, 2003. Incubation environment of loggerhead turtle nests: effects on hatching success and hatchling characteristics, in: *Loggerhead sea turtles* (eds Bolten AB y Witherington BE), Smithsonian Books, Washington (EEUU), 144–153.
- Casale, P., B. Lazar, S. Pont, J. Tomás, N. Zizzo, F. Alegre, J. Badillo, A. Summa, D. Freggi, G. Lackovi, J.A. Raga, L. Rositani & N. Tvrtkovi. 2006. Sex ratios of juvenile loggerhead sea turtles *Caretta caretta* in the Mediterranean. *Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 324:281-285.
- Casares, M., Lance, V y Schramm, B. 1999. Steroids levels and reproductive cycle of the Galapagos tortoise, *Geochelone nigra*, living under seminatural conditions of Santa Cruz island (Galapagos). En: *General and Comparative Endocrinology*. 114. Pág: 108 - 120.
- Cavazos T. 2008. Clima. En: GD Danemann y E Ezcurra (Eds.). *Bahía de los Ángeles: recursos naturales: línea base 2007*. Primera Edición. México. 67-92 pp.
- CIA, 2006. Convención Inter-Americana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Ciclo de reproducción de las tortugas marinas. Disponible on-line en: <http://www.iacseaturtle.org/>, consultado en julio de 2012.

- Cliffton, K., Cornejo, D.O., & Felger, R.S., 1995. Sea turtles of the Pacific coast of Mexico. In: Bjorndal, K.A. (Ed.). *Biology and conservation of sea turtles Smithsonian*. Institution Press, Washington. 199-209 pp.
- CONANP. 2011. Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Tortuga verde/negra, *Chelonia mydas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 52 p.
- Contreras, F. 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca, México DF, 265 pp.
- Crews, D. 1973. Behavioral correlates to gonadal state in the lizard, *Anolis carolinensis*. *Horm. Behav.* 4:303-313.
- Da Graça J, Marco A, Garcia Cerdá R, Ikarán M, Alberca E, Abella E, Freitas RP y López Jurado LF, 2010. Massive loggerhead nest predation by ghost crabs in Boavista Island (Cape Verde): implications of the absence of large predators, in: 30st Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Goa (India).
- De la Cruz Agüero, J., Arellano-Martínez, M., y Cota-Gómez, V.M. 1996. Lista sistemática de los peces de las Lagunas Ojo de Liebre y Guerrero Negro, B.C.S, México. *Ciencias Marinas*, 22:111-128.
- Delgado, T. C. 2008. Situación actual de la tortuga negra en el Pacífico Oriental. En: *Memorias de la Reunión Nacional sobre Conservación de las Tortugas Marinas. Dirección de Especies Prioritarias para la Conservación – CONANP.*
- Delgado, C., A. V. Canário & T. Dellinger. 2010. Sex ratios of loggerhead sea turtles *Caretta caretta* during the juvenile pelagic stage. *Mar. Biol.*, 157:979-990.
- Demas, S., M. Duronslet, S. Wachtel, C. Caillouet, y D. Nakamura. 1990. Sex-specific DNA in reptiles with temperature sex determination. *Journal of Experimental Zoology* 253:319-324.
- Dessauer, H. C. 1970. Blood chemistry of reptiles: Physiology and evolutionary aspects. Pages 1-72 in C. Gans and T. S. Parsons, eds., *Biology of the Reptilia: Morphology* C. Vol. 3. Academic Press. New York.
- Diario Oficial de la Federación (México), (D.O.F.). 2000. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca: Acuerdo que tiene por objeto dotar con una categoría acorde con la legislación vigente a las superficies que fueron objeto de diversas declaratorias de áreas naturales protegidas emitidas por el Ejecutivo Federal. 6 p. Recuperado de: <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/Acuer7jun2000.pdf>
- Diario Oficial de la Federación (D.O.F.). 2007. Decreto por el que se declara área natural protegida, con la categoría de reserva de la biósfera, la zona marina conocida como Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y Salsipuedes. 5 de junio 2007.
- Dodd, J. M. 1960. Gonadal and gonadotropic hormones in lower vertebrates. Pages 417-582 in A. S. Parkes, ed., *Marshals Physiology of Reproduction* Vol. 1, Part 2. Longmans, Green. New York.
- Eckert, K. L., K. A. Bjorndal, F. A. AbreuGrobis y M. Donnelly (Editores). 2000 (Traducción al español). *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4.

- Fish, M.R., Côté, I.M., Gill, J.A., Jones, A.P., Renshoff, S. y Watkinson, A.R. 2005. Predicting the impact of sea level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. *Conserv. Biol.*, 19: 482–491.
- Formia, A., 2002. Population and genetic structure of the green turtle (*Chelonia mydas*) in west and central Africa; implications for management and conservation. PhD Thesis, University of Cardiff, Cardiff.
- Gary N. Approximate range of *Chelonia mydas*. Consultado el 20 de noviembre de 2016, de <http://www.californiaherps.com/turtles/maps/xcmymasworldrangemap4.jpg>
- Glen, F. y Mrosovsky, N. 2004. Antigua revisited: the impact of climate change on sand and nest temperatures at a hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) nesting beach. *Global Change Biology*, 10, 2036-2045.
- Godfrey, M. 1997. Sex ratios of sea turtle hatchlings: direct and indirect estimates. Unpubl. PhD dissertation (Toronto: University of Toronto), pp. 186.
- Godfrey, M. H. and Mrosovsky, N. 2006. Pivotal temperature for green sea turtles, *Chelonia mydas*, nesting in Suriname. *Herpetological journal*, 16:55–61.
- Godley, B.J., Broderick, A.C. & Mrosovsky, N. 2001a. Estimating hatchling sex ratios of loggerhead turtles in Cyprus from incubation durations. *Marine Ecology Progress Series*, 210:195-201.
- Guerriero G. 2009. Vertebrate sex steroid receptors: evolution, ligands, and neurodistribution. *Ann N Y Acad Sci*. 2009 April; 1163:154-68. Review. PMID: 19456336.
- Gulko, D. y Eckert K. 2004. *Sea Turtles: An ecological guide*. Mutual Publishing, Honolulu, HI. 128 pp.
- Gross, T. S., Crain, D. A., Bjorndal, K. A., Bolten, A. B. and Carthy, R. R., 1995. Identification of sex in hatchling loggerhead turtles (*Caretta caretta*) by analysis of steroid concentrations in chorioallantoic/amniotic fluid. *Gen. Comp. Endocrinol.* 99, 204-210.
- Gutiérrez de Velasco, G. 2000. Análisis de la circulación y condiciones físicas de la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., con relación a la mortandad de tortugas marinas durante diciembre de 1997. CICESE Unidad La Paz. México. 45 p. Recuperado de: [http://bcs.cicese.mx/ggutierr/Reimpresos/2000\\_Laguna%20Ojo%20de%20Liebre.pdf](http://bcs.cicese.mx/ggutierr/Reimpresos/2000_Laguna%20Ojo%20de%20Liebre.pdf)
- Hamann, M., C.J. Limpus & D.W. Owens. 2003. Reproductive Cycles of Males and Females, p. 135-161. In: Lutz, P.L., J.A. Musick & J. Wyneken (eds.). *The Biology of Sea Turtles II*. CRC. Boca Ratón, Florida, EEUU.
- Hays, G.C., Ashworth, J.S., Barnsley, M.J., Broderick, A.C., Emery, D.R., Godley, B.J., Henwood, A. & Jones, E. L., 2001. The importance of sand albedo for the thermal conditions on sea turtle nesting beaches. *Oikos*, 93:87-94.
- Hays G.C., A.C. Broderick, F. Glen, B.J. Godley, Houghton J.D.R. and Metcalfe J.D., 2002. Water temperature and internesting intervals for loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. *Journal of Thermal Biology* 27: 429–432.
- Hays G.C., A.C. Broderick, F. Glen and B.J. Godley, 2003. Climate change and sea turtles: a 150-year reconstruction of incubation temperature at a major turtle rookery. *Global Change Biology*. 9:642-646.

- Hawkes L. A., A. C. Broderick, M. H. Godfrey and B. J. Godley 2007. Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population. *Global Change Biology* 13:923–932.
- Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H. and Godley, B. J. 2007b. Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population. *Glob. Chang. Biol.* 13, 923-932.
- Hawkes, L.A., Broderick, A.C., Godfrey, M.H. y Godley, B.J. 2009. REVIEW: Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research*.
- Heckel, G., Ladrón de Guevara, P. y Rojas-Bracho. L., 2007. Ballenas y delfines. En: Danemann G. D. y Ezcurra E. (eds.). Bahía de los Ángeles: recursos naturales u comunidad. Pronatura Noroeste/INE/SEMARNAT/San Diego Nat. Hist. Mus., México D. F.563-601 p.
- Heithaus M. R., A. Frid, A. J. Wirsing, L. Bejder, y L. M. Dill, 2005. Biology of sea turtles under risk from tiger sharks at a foraging ground. *Marine Ecology Progress Series*. 208: 285-294 p.
- Hernández Nava, M.F., 2011. Zooplankton de Bahía de los Ángeles (Golfo de California) durante la temporada de arribo del tiburón ballena (*Rhincodon typus*). Tesis de Maestría. Centro Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada.
- Hochscheid, S., Bentivegna, F., Hays, G.C., 2005. First records of dive durations for a hibernating sea turtle. *Biol. Lett.* 1, 82–86.
- Hochscheid S., McMahon, C.R., Bradshaw, C. J. A., Maffuci, F., Bentivegna, F., Hays C.G. 2007. Allometric scaling of lung volume and its consequences of marine turtle diving performance. *Comp. Biochem. Physiol.* 148:360-367.
- Horak, P. y A. A. Cohen. 2010. How to measure oxidative stress in an ecological contest: methodological and statistical issues. *Funct. Ecol.* 24, 960–970.
- Kenneth, A. J. D, J.L Sierra y A. I. Erosa. 1993. Un tesoro de la naturaleza: Las tortugas marinas. Editorial EDAMEX. México. 117 p.
- Kleinbaum, D. G. y L. L. Kupper. 1978. Applied regression analysis and other multivariable methods. Duxbury Press, Massachusetts, 551 p.
- Koch, V., L. Brooks, and W. J. Nichols. 2007. Population ecology of the green/ black turtle (*Chelonia mydas*) in Bahía Magdalena, Mexico. *Mar. Biol. (Berl.)* 153:35–46.
- IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso).
- Licht, P., 1970. Effects of mammalian gonadotropins (ovine FSH y LH) in female lizards. *General and Comparative Endocrinology*. 22:448-453. 48)
- Licht, P. y Crews, D.P., 1975. Stimulation of ovarian and oviducal growth and ovulation in female lizards by reptilian (Turtle) Gonadotropins. *General and Comparative Endocrinology*, 25: 467-471. 49)

- Licht, P. y Tsui, H., 1975. Evidence for the intrinsic activity of ovine FSH on spermatogenesis, ovarian growth, steroidogenesis and ovulation in lizards. *Biology of Reproduction*, 12(3):346-50.
- Limpus, C. J. 1985. A Study of the loggerhead turtle, *Caretta caretta*, in Queensland. Ph.D. thesis, University of Queensland, Brisbane.
- Limpus, C. J. and J. Reed. 1985. The green turtle, *Chelonia mydas*, in Queensland: a preliminary description of the population structure in a coral reef feeding ground. In G. Grigg, R. Shrine, and H. Ehmann (eds.), *Biology of Australian Frogs and Reptiles*, pp. 47-52. Surrey Beatty and Sons, Chipping Norton, N.S.W. Australia.
- Limpus, C. J., Eggleter, J. P., Miller, J. D. 1994. Long interval remigration in eastern Australian Chelonia. National Oceanographic and Atmospheric Administration Technical Memorandum, National Marine Fisheries Service Southeast Fisheries Science Center, 341: 85–88.
- Limpus, C., and Nicholls, N. 2000. ENSO regulation of Indo-Pacific green turtle populations. In *Applications of seasonal climate forecasting in agricultural and natural ecosystems*. Netherlands. Springer pp. 399-408
- Lipner, H., Hirsch, M., Mougald, R., Mac-Donald, J., Ying, S. y Greep, O., 1974. Ovulating- inducing activity of FSH in the rat. *Endocrinology*. 94: 1351-1363.
- Marco. A., Patino-Martinez. J., I. Karan. M. y Quiñones. M.L. 2009. Tortuga Laúd (*Dermochelys Cariacea*). En; enciclopedia virtual de los invetebrados españoles. Salvador A. Marco. A. (Eds) Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Marco, A., E. Abella, S. Martins, A. Liria Loza, S. Jiménez Bordón, M.E. Medina Suarez, C. Oujo Alamo, O. López & L.F. López Jurado, 2010. The coast of Cape Verde constitutes the third largest loggerhead nesting population in the world. In: 30st Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Goa, India, April 2010.
- Márquez, M. R. 1990. FAO Species Catalogue, Vol. 11. Sea turtles of the world. An annotated and illustrated catalogue of the sea turtle species known to date. FAO United Nations, 81 pp.
- Márquez, M. R. 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Col. La Ciencia desde México, 144: 197 pp.
- Márquez, M. R. 2002. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. Fondo de cultura económica. México, D.F
- Márquez, M. R. en Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra (comp.), 2004. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Vol. 1. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, AC. - Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. México, D.F., México. pp. 173 - 198.
- Matsuzawa Y, Sato K, Sakamoto W y Bjorndal KA, 2002. Seasonal fluctuations in sand temperature: effects on the incubation period and mortality of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) pre-emergent hatchlings in Minabe, Japan. *Marine Biology*, 140, 639–646.
- Mazaris, A.D., Kornaraki, L., Matsinos, Y.G., Margaritoulis, D., 2004. Modeling the effect of sea surface temperature on sea turtle nesting activities by investigating seasonal trends. *Nat. Res. Model.* 17, 445—466.

- McMahon, C.R., and Hays, G.C. 2006. Thermal niche, large-scale movements and implications of climate change for a critically endangered marine vertebrate. *Global Change Biology* 12, 1330-1338.
- Medellín, R. A., A. Abreu-Grobois, M del Coro Arizmendi, E. Mellink, E. Ruelas, E. Santana C., J. Urbá, 2009. Conservación de especies migratorias y poblaciones transfronterizas, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 459-515.
- Merchant-Larios H. Determining hatchling sex. In: Eckert KL, Bjorndal KA, Abreu-Grobois FA, Donnelly M, editors. *Research and Management Techniques for the Conservation of Sea Turtles*. IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication No. 4; 1999. pp. 130–135. Available: <http://mtsg.files.wordpress.com/2010/11/techniques-manual-full-en.pdf>
- MexFish.com. Bahía de las Ángeles Yellowtail Fishing Hotspots Map. Consultado el 20 de noviembre de 2016, de <http://www.mexfish.com/bola/bola/bolaytmp/bolaytmp.htm>.
- Meylan PA, Meylan AB, Gray JA. 2011. The Ecology and Migrations of Sea Turtles 8. Tests of the Developmental Habitat Hypothesis. *Bull Am Museum Nat Hist.* 357: 77. Available: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1206/357.1>
- Miller, J. D. 1985. Embryology of marine turtles. In: C. Gans, F. Billett and P. F. A. Maderson (Eds.), *Biology of the Reptilia* (pp. 270-328). New York: Wiley.
- Miller JD, Limpus CJ y Godfrey MH, 2003. Nest site selection, oviposition, eggs, development, hatching and emergence of loggerhead turtles, in: *Biology and Conservation of Loggerhead Sea Turtles* (eds Bolten A y Witherington B), University of Washington Press, 125–143
- Monzón-Argüello, C., Tomás, J., Naro-Maciél, E., Marco, A., 2011. Tortuga verde – *Chelonia mydas*. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Salvador, A., Marco, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>
- Morris, Y. A. 1982. Steroid dynamics in immature sea turtles. Tesis de Maestría, Texas A&M University, College Station, Texas.
- Mrosovsky, N. and C. L. Yntema., 1980. Temperature dependence of sexual differentiation in sea turtles: implications for conservation practices. *Biological Conservation.* 18:271-280 pp.
- Mrosovsky, N. 1980. Thermal biology of sea turtles. *American Zoologist*, 20(3):531-547.
- Mrosovsky N., 1994. Sex ratios of sea turtles. *J Exp Zool* 270: 16–27.
- Mrosovsky, N., Kamel, S., Rees, A. F., Margaritoulis, D. 2002. Pivotal temperature for loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Kyparissia Bay, Greece. *Can. J. Zool.*, 80: 2118-2124.
- Musick J. A. and Limpus C. J. 1997. Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles. In: PL Lutz, JA Musick (eds.), *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press, Boca Raton. Pp. 137–163.
- National Marine Fisheries Service and U.S. Fish and Wildlife Service. 1998. Recovery plan for U.S. Pacific populations of the green turtle (*Chelonia mydas*). National Marine Fisheries Service, Silver Spring, MD.
- Nichols WJ, Seminoff JA, Reséndiz A, Dutton P, Abreu-Grobois FA. 1999. Using molecular genetics and biotelemetry to study life history and long distance movement: A Tale of two turtles. In: FA

- Abreu-Grobois, R Briseño-Dueñas, R Márquez-Millan, L SartiMartínez (comps.), Proceedings of the Eighteenth Annual Symposium On Sea Turtle biology and Conservation. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC-436. Pp.102–103.
- Nichols, W.J., Resendiz, A., Seminoff, J. A., Resendiz, B., 2000. Trans-Pacific migration of a Loggerhead turtle monitored by satellite telemetry. *Bull. Mar. Sci.* 67, 937–947.
- Nichols, W. J., 2003a. Biology and conservation of sea turtles in Baja California, México. Ph. D. Dissertation. University of Arizona, Tucson, 474 p.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- Orzack SH, 2002. Using sex ratios: the past and the future, in: *Sex Ratios: Concepts and Research Methods* (eds Hardy I), Cambridge: Cambridge University Press (Reino Unido), 383–398.
- Owens, D. W., Hendrickson JR, Lance, V. and Canard, P., 1978. A technique for determining sex of immature *Cbelonia mydas* using a radioimmunoassay. *Herpetologica* 34:270-273.
- Owens, D. W. 1997. Hormones in the life history of sea turtles, 315-341. En: Lutz, P. L. & J. A. Musick. (Ed.) *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 432 p.
- Pacheco Ruíz I., J.A. Zertuche González, A. Cabello Pasini, y B.H. Brinkhuis, 1992. Growth responses and seasonal biomass variation of *Gigartina pectinata* Dawson (*Rhodophyta*) in the Gulf of California. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Elsevier. 157: 263–274 p.
- Pacheco-Ruíz, I. and J. A. Zertuche-González. 1996a. Brown algae (*Phaeophyta*) from Bahía de Los Angeles, Gulf of California, México. *Hydrobio.* 326/327:169-172.
- Pacheco-Ruíz, I. and J. A. Zertuche-González. 1996b. Green algae (*Chlorophyta*) from Bahía de Los Angeles, Gulf of California, México. *Botanica Marina* 39:431-433.
- Pacheco-Ruíz, I. and J. A. Zertuche-González. 1996c. The commercially valuable seaweeds of the Gulf of California. *Botanica Marina* 1:201-206.
- Pacheco Ruíz, I., J. A. Zertuche González, F. Correa Díaz , F. Arellano Carbajal, y A. Chee Barragan. 1999. *Gracilariopsis lemaneiformis* beds along the west coast of the Gulf of California, Mexico. *Hydrobiologia* 398–399: 509–514 p.
- Pacheco-Ruíz I, Zertuche-González JA, Chee-Barragán A. 2003a. Commercial exploitation of *Gracilariopsis lemaneiformis* in the Gulf of California. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 17: 101–105.
- Pacheco-Ruiz I., J. A. Zertuche-González, J. Espinosa-Ávalos y R. Riosmena-Rodríguez. 2008. Macroalgas. En: GD Danemann y E Ezcurra (Eds.). *Bahía de los Ángeles: recursos naturales: línea base 2007*. Primera Edición. México. 181-214 pp.
- Palmer, B. D., L.K. Huth, D.L. Pioto y K.W. Selcer. 1998. Vitellogenin as a biomarker for xenobiotic estrogens in an amphibian model system. *Environmental Toxicology and Chemistry.* 17(1):30-36.
- Parmesan, C. y Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.

- Peter R.E., Trudeau, V.L., Sloley, B.D., Peng, C., y Nahorniak, C.S., 1991. Actions of the catecholamines, peptides and sex steroids in regulation of gonadotropin-II in the goldfish. En Proc. of the Fourth International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish. Scott, A.P., Sumpter, J.P., Kime, D.E., y Rolfe, M.S., Eds., University of East Anglia. Norwich, U.K., FishSyp91.Sheffield. pp 30-33.
- Peters, R. H. 1993. The ecological implications of body size. McGill University. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, USA, 329 p.
- Pike, D. A., Antworth R.L. y Stiner, J.C., 2006. Earlier nesting contributes to shorter nesting seasons for the loggerhead turtle, *Caretta caretta*. J. Herpetol., 40:91–94.
- Pike, D. y Stiner, J.C. 2007. Sea turtle species vary in their susceptibility to tropical cyclones. *Oecologia*, 153:471–478.
- PNCTM, 2009. Distribución y hábitad de *Chelonia mydas* en México. Consultado el 17 de abril de 2016, de <http://www.conanp.gob.mx/sig/imgmapoteca/mapoteca.htm>. CONANP, 2008.
- Pough, F. H., R. M. Andrews, J. E. Cadle, M. L. Crump, A. H. Savitzky and K. D. Wells. 2004. *Herpetology* (3rd edition). Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Pritchard, P. C. H. and J. A. Mortimer. 1999. Taxonomy, External Morphology, and Species Identification, p.21- 38. In: Karen L. Eckert, Karen A. Bjorndal, F. Alberto Abreu-Grobois 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.
- Reich, K. J., Bjorndal, K. A., Bolten, A. B., 2007. The 'lost years' of green turtles: using stable isotopes to study cryptic lifestages. *Biology Letters*, 3: 712-714.
- Rimblot, F., Fretey, J., Mrosovsky, N., Lescure, J. and Pieau, C. 1985. Sexual differentiation as a function of the incubation temperature of eggs in the sea turtle *Dermochely coriacea* (Vandelli, 1761). *Amphibia-Reptilia*, 6: 83 - 92.
- Riosmena-Rodríguez, R., W.J. Woelkerling and M.S. Foster, 1999. Taxonomic reassessment of rhodolith-forming species of *Lithophyllum* (Corallinales: *Rhodophyta*) in the Gulf of California, Mexico. *Phycologia* 38: 401–417.
- Saba, V.S., Santidrián-Tomillo, P., Reina, R.D., Spotila, J.R., Musick, J.A., Evans, D.A., Paladino, F.V., 2007. The effect of the El Niño Southern Oscillation on the reproductive frequency of eastern Pacific leatherback turtles. *J. Appl. Ecol.* 44, 395–404.
- Saba, V. S., Spotila, J. R., Chavez, F. P., and Musick, J. A., 2008. Bottom-up and climatic forcing on the worldwide population of leatherback turtles, *Ecology*, 89: 1414–1427.
- Salinas-Zavala, C.A., R. Coria-Benet, E. Díaz-Rivera, 1991, "Climatología y meteorología". En: A. Ortega y L. Arriaga (comps.), *La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno en la Península de Baja California*, Centro de Investigaciones Biológicas de b.c.s., La Paz, México, 417 pp.
- Santamaría-Del-Ángel, E., Alvarez-Borrego S., y Muller-Karger F. E., 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99:7411-7431 p.

- Sato, K., Matsuzawa, Y., Tanaka, H., Bando, T., Minamikawa, S., Sakamoto, W., Naito, Y., 1998. Internesting intervals for loggerhead turtles, *Caretta caretta*, and green turtles, *Chelonia mydas*, are affected by temperature. *Can. J. Zool.* 76, 1651–1662.
- Secretaría de Manejo de Recursos Naturales. 2011. *Chelonia mydas*. Ficha de identificación.
- Seminoff J. A., Nichols WJ, Resendiz A, Galvan A. 1999. Diet composition of the black sea turtle *Chelonia mydas agassizii*, near Baja California, México. *Proc. Int. Sea Turtle Symp.* 18: 1–4.
- Seminoff J. A., 2000. Biology of the east Pacific green turtle, *Chelonia mydas agassizii*, at a warm temperate feeding area in the Gulf of California, Mexico. PhD thesis, University of Arizona, Tucson
- Seminoff, J. A., A. Resendiz, W. J. Nichols, and T. T. Jones. 2002b. Growth rates of wild green turtles (*Chelonia mydas*) at a temperate foraging area in the Gulf of California, Mexico. *Copeia* 2002:610–617.
- Seminoff J. A., Alvarado J, Delgado C, López JL, Hoeffler G, 2002c. First direct evidence of migration by an east pacific green sea turtle from Michoacán, México to a feeding ground in the Sonoran coast of the Gulf of California. *The Southwestern Naturalist* 47(2): 314-16.
- Seminoff J. A., Reséndiz A, Nichols WJ. 2002d. Diet of the East Pacific green turtle, *Chelonia mydas*, in the central Gulf of California, México. *J. Herpetology* 36: 447–453.
- Seminoff, J. A., T. T. Jones, A. Resendiz, W. J. Nichols y M. Y. Chaloupka , 2003a. Monitoring green turtles (*Chelonia mydas*) at a coastal foraging area in Baja California, México: multiple indices describe population status. *Journal of the Marine Biological association of the U.K.* 83: 1355-1362 p.
- Seminoff J. A. 2004. *Chelonia mydas*. In: IUCN (ed). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. Southwest Fisheries Science Center, IUCN. <http://www.iucnredlist.org/details/4615/0>
- Seminoff, J. A., Reséndiz, A., Jiménez de Reséndiz, B., Wallace J.N. y Todd T. Jones, 2007. Tortugas Marinas. En: Danemann G. D. y Ezcurra E. (eds.). Bahía de los Ángeles: recursos naturales u comunidad. Pronatura Noroeste/INE/SEMARNAT/San Diego Nat. Hist. Mus., México D. F. 457-494 p.
- Solow, A. R., Bjorndal, K. A. & 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.
- Standora, E. A., and Spotila, J. R. 1985. Temperature dependent sex determination in sea turtles. *Copeia* 85, 711-722.
- Steller, D., R. Riosmena Rodríguez, y M. Foster, 2009. Living Rhodolith Bed Ecosystems in the Gulf of California (6)
- 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, 74–81.
- Spotila, J. R., M. P. O'Connor y F. V. Paladino. 1997. Thermal biology. En: *The Biology of Sea Turtles*, Edit. Lutz P. y J. A. Musick CRC Press, New York; New York 297-314 pp.

- Spotila, J. R., 2004. Sea turtles, a complete guide to their biology, behavior and conservation. Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- Suzuki, K., Kawauchi, H. and Nagahama, Y. 1988a. Isolation and characterization of two distinct gonadotropins from chum salmon pituitary glands. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 71: 292–301.
- Suzuki, K., Kawauchi, H. and Nagahama, Y. 1988b. Isolation and characterization of subunits from two distinct salmon gonadotropins. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 71: 302–306.
- Swanson, P. 1991. Salmon gonadotropins: Reconciling old and new ideas. In: A.P. Scott, J.P. Sumpter, D.E. Kime and M.S. Rolfe (eds.), *Proc. Fourth International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish*. Fish Symp. 91, Sheffield, pp. 2–7.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. 2001. *Using Multivariate Statistics*. Boston: Allyn and Bacon.
- Trudeau, V.L. 1997. Neuroendocrine regulation of gonadotrophin II release and gonadal growth in the goldfish, *Carassius auratus*. *Rev. Reprod.* 2: 55-68.
- Ugalde, A., 1986. La temperatura como factor determinante del sexo en la tortuga lora *Lepidochelys olivacea* Eschscholtz. Graduate thesis in Biology with emphasis in Ecology. In Department of Biology, Universidad de Costa Rica.
- Walther, G. R., Post, E, Convey, P. et al. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395.
- Weishampelm, J.F., Bagley, D.A. y Ehrhart, L.M. 2004. Earlier nesting by loggerhead sea turtles following sea surface warming. *Global Change Biol.*, 10:1424–1427.
- Wellins, D. J. 1987. Use of an H-Y antigen assay for sex determination in sea turtles. *Copeia* 1:46-52
- Wibbels, T., D.W. Owens, Y.A. Morris, and M.S. Amoss. 1987. Sexing techniques and sex ratios for immature Loggerhead Sea Turtles captured along the Atlantic coast of the United States. Pp. 65-74 In *Ecology of East Florida Sea Turtles*. Witzell, W. (Ed.). U.S. Dept. Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS 53.
- Wibbels, T., D.W. Owens, Y.A. Morris, and M.S. Amoss. 1987b. Sexing techniques and sex ratios for immature Loggerhead Sea Turtles captured along the Atlantic coast of the United States. Pp. 65-74 In *Ecology of East Florida Sea Turtles*. Witzell, W. (Ed.). U.S. Dept. Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS 53.
- Wibbels, T. 1988. Gonadal steroid endocrinology of sea turtle reproduction. Unpubl. Ph.D. Diss., Texas A&M University, College Station, Texas.
- Wibbels, T., D.W. Owens, C.J. Limpus, P.C. Reed & M.S. Amoss, Jr. 1990. Seasonal changes in serum gonadal steroids associated with migration, mating, and nesting in the Loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). *Gen. Comp. Endocrinol.* 79:154-164.
- Wibbels, T., 2000. Determinación del sexo de Tortugas marinas en hábitats de alimentación. En Eckert, K.L., K.A. Bjørndal, F.A. Abreu-Grobois, y M. Donnelly, 2000 (Ed.) *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*. Grupo de Especialistas En tortugas Marinas UICN/CSE Publicación. No 4: 160-164 p.

- Wood, J. R., F. E. Wood y K. Kritchley, 1983, "Hybridization of *Chelonia mydas* and *Eretmochelys imbricata*", *Copeia* (3): 829-842.
- Wyneken, J. 2004. La Anatomía de las Tortugas Marinas. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-470. Miami, Florida, EEUU.
- Yntema CL y Mrosovsky N, 1980. Sexual differentiation in hatchling loggerheads (*Caretta caretta*) incubated at different controlled temperatures. *Herpetologica*, 36, 33–36.
- Yntema CL y Mrosovsky N, 1982. Critical periods and pivotal temperatures for sexual differentiation in loggerhead sea turtles. *Canadian Journal of Zoology*, 60, 1012–1016.