



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO

---

FACULTAD DE BIOLOGÍA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN

**Efectos maternos en la aptitud biológica en crías de  
*Chelonia mydas agassizii***

Tesis

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**Esperanza Vianney Núñez Cárdenas**

**Asesor: Dr. Omar Domínguez Domínguez**

**Co asesor: M.C. Carlos Delgado Trejo**

**Morelia, Michoacán. agosto del 2022**



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesor y co-asesor de tesis Dr. Omar Domínguez Domínguez, y M.C, Carlos Delgado Trejo, nuevamente mil gracias por tenerme tanta paciencia, por su apoyo, confianza e interés en la realización del presente trabajo y por la motivación durante todo el trayecto.

Les agradezco también a mis maestros Luis Felipe, Alan Alfredo, y Omar Chassin, muchas gracias por su tiempo, por su apoyo en esta formación profesional y por cada uno de sus sugerencias y comentarios y por lo que pude aprender de ustedes.

Al Dr. Leonel López Toledo por su ayuda que es parte fundamental en este trabajo, que a pesar de que no formaba parte de mi comité siempre estuvo para ayudarme.

Adrián quien fue mi compañero de campo y quien hizo el trabajo menos pesado y más ameno, Iveth por su ayuda en el procesamiento de las muestras estoy infinitamente agradecido con ustedes.

A Lucas y a mis compañeros de Colola, que gracias a ellos pase una estancia increíble en el campamento, con sus platicas, risas, comidas y demás.

A Yovani por su cariño, paciencia, consejos, y apoyo incondicional durante toda mi carrera.

A mis padres Ma. Del Carmen, y Homero que sin ustedes no podría haber concluido esto, a mis hermanos Erandu, Rica, Janhsi, Pelón, Tatis, que de alguna u otra forma estuvieron apoyándome, aun cuando estoy lejos de ustedes.

## ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 HIPÓTESIS .....	4
3 OBJETIVOS .....	5
3.1 Objetivo General .....	5
3.2 Objetivos Particulares .....	5
4 ÁREA DE ESTUDIO.....	6
5 MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
5.1 Salud de las hembras anidadoras.....	7
5.2 Manejo de huevos y diseño experimental .....	10
5.3 Aptitud biológica.....	13
5.4 Análisis estadístico.....	17
6. RESULTADOS .....	18
6.1 Índice Fulton.....	19
6.2 Parámetros hematológicos .....	22
6.3 Variables ambientales.....	24
6.4 Efectos maternos en aptitud biológica .....	25
7. DISCUSIÓN .....	32
7.1 Condición corporal .....	32
7.2 Parámetros hematológicos .....	34
7.3 Efectos maternos y reproductivos (tamaño de nidada y diámetro de huevos) en la aptitud biológica de las crías .....	36
8. CONCLUSIONES.....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio .....	6
Figura 3. Pesaje de las hembras anidadoras .....	8
Figura 2. Medición del largo curvo de carapacho.....	8
Figura 6. Separación de sangre en tubos .....	9
Figura 5. Extracción de la muestra de sangre.....	9
Figura 7. Tinción del frotis sanguíneo .....	10
Figura 8. Toma de muestra para el hematocrito.....	10
Figura 9. Nidos pareados .....	11
Figura 10. Medición de huevos .....	11
Figura 11. Pesaje de huevos.....	11
Figura 13. Malla de protección de nidadas.....	12
Figura 12. Malla de división circular .....	12
Figura 15. Pesaje de arena húmeda .....	13
Figura 14. Secado de arena.....	13
Figura 17. Evaluación de la velocidad de desplazamiento.....	14
Figura 16. Recolección de crías .....	14
Figura 19. Pesaje de las crías.....	15
Figura 18. Prueba de autoenderezamiento .....	15
Figura 21. Medición del ancho de la cría.....	15
Figura 20. Medición de largo recto de carapacho .....	15
Figura 23. Medición del tamaño de vitelo.....	16
Figura 22. Medición de la altura de la cría .....	16

Figura 24. Limpieza de nidos .....	16
Figura 25. Frecuencia de tamaños de las hembras anidadoras.....	18
Figura 26. Frecuencia de pesos de las hembras anidadoras .....	19
Figura 27. Frecuencia inicial y final del índice de condición corporal (Fulton).....	20
.....	21
Figura 28. A-Prueba t-Student de la variable tamaño de cría respecto al índice de condición corporal. B- Prueba t-Student de la variable ancho de cría respecto al índice de condición corporal.....	21
Figura 30. Heterófilos de tortuga negra. Se observan como células redondas con un borde citoplasmático liso y núcleo ubicado excéntricamente. Observados a 100x .....	23
Figura 29. Linfocitos de tortuga negra. Se observan redondos o de forma irregular, cromatina finamente distribuida de color violeta. Observados a 100x.....	23
Figura 32. Monocitos de tortuga negra. Se observaron como células con bordes externos lisos y abundante citoplasma teñido de violeta. Observados a 100x.....	23
Figura 30. Eosinófilos de tortuga negra. Se observan como células redondas u ovaladas con borde citoplasmático liso y gránulos redondos grandes. Observados a 100x .....	23
Figura 34. Regresiones A . Peso cría – peso huevo B. Tamaño cría- peso huevo C. Tamaño vitelo D. Enderezamiento-peso huevo .....	26
Figura 35. Regresiones A . Altura cría – peso huevo B. Ancho cría- peso huevo C. Velocidad- peso huevo D. Tamaño cría-velocidad cría .....	27
Figura 36. Superficie de números predichos del tamaño de crías en base al tamaño de la hembra y número de huevos. (El corrimiento al color azul indica un mayor tamaño de la cría y el corrimiento al color rosa indica un menor tamaño de la cría) .....	29
Figura 37. Superficie de números predichos del ancho del cuerpo de crías en base al tamaño de la hembra y número de huevos. (El corrimiento al color azul indica un	

mayor ancho de cuerpo de la cría y el corrimiento al color rosa indica un menor ancho de cuerpo..... 29

Figura 38. Superficie de números predichos de la altura del cuerpo de crías en base al tamaño de la hembra y número de huevos. (El corrimiento al color azul indica una mayor altura de cuerpo de la cría y el corrimiento al color rosa indica una menor altura de cuerpo de las crías) ..... 30

Figura 39. Superficie de números predichos del tamaño de vitelo de crías en base al número de heterófilos y tamaño de la hembra. (El corrimiento al color azul indica un mayor tamaño de vitelo y el corrimiento al color rosa indica un menor tamaño de vitelo) ..... 30

Figura 40. Porcentaje de eclosión y emergencia de las crías ..... 31

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Criterio para interpretar el valor del índice de Fulton (Tomado de Labrada-Mortagón et al. 2010) ..... 8

Tabla 2. Valores del índice de condición corporal de Fulton (final) para cada una de las hembras anidadoras ..... 20

Tabla 3. Variables hematológicas de tortuga negra (*Chelonia mydas agassizii*) capturadas en Colola Michoacán (N=30) ..... 22

## RESUMEN

La influencia del efecto materno es de suma importancia en especies de tortugas marinas, ya que está estrechamente relacionado con la aptitud biológica de las crías. Algunas teorías sugieren una compensación de energía materna en el tamaño de los huevos y el tamaño de la descendencia. Por lo general individuos con salud subóptima pueden producir huevos provistos de reservas nutricionales disminuidas, lo que puede afectar la supervivencia inicial y la aptitud biológica de las crías, reduciendo las poblaciones de tortugas marinas a largo plazo. Es por ello que en este trabajo se pretende conocer el estado de salud y rasgos reproductivos (largo curvo del carapacho, peso, número de huevos, diámetro del huevo, masa del huevo, factor de condición corporal) de las hembras anidadoras de *Chelonia mydas agassizii*, para determinar el impacto que tiene el efecto materno sobre algunos estimadores de la aptitud de las crías (e.g. tamaño, peso, velocidad de desplazamiento) en la playa de Colola Michoacán, durante la temporada de anidación 2020-2021.

Se utilizó el diseño de nidada dividida con el fin de proporcionar información sobre el estado de salud de las hembras anidadoras y el posible efecto en las condiciones de aptitud biológica de las crías. Al comparar los valores obtenidos, en promedio, las hembras anidadoras presentaron una condición corporal regular con variaciones en la categorización. Los resultados sugieren una relación entre el efecto materno (tamaño y número de huevos) y las crías (tamaño del cuerpo, altura del cuerpo y ancho del cuerpo), incluyendo además relación entre variables de las crías y el peso de los huevos. Sin embargo, los datos no pueden considerarse conclusivos dado que la variación explicada es muy baja, requiriéndose más estudios en torno a estas posibles relaciones.

**Palabras clave:** Efecto, nidos, aptitud, *Chelonia mydas agassizii*, condición.

## ABSTRACT

The influence of the maternal effect is of the utmost importance in species of sea turtles, since it is closely related to the biological aptitude of the offspring. Some theories suggest a trade-off of maternal energy in the size of the eggs and the size of the offspring. Generally, individuals in suboptimal health may produce eggs with diminished nutritional reserves, which may affect the initial survival and fitness of hatchlings, reducing sea turtle populations in the long term. That is why in this work it is intended to know the health status and reproductive traits (curved length of the carapace, weight, number of eggs, egg diameter, egg mass, body condition factor) of the nesting females of *Chelonia mydas agassizii*, to determine the impact of the maternal effect on some estimators of hatchling fitness (e.g. size, weight, movement speed) on the Colola Michoacán beach, during the 2020-2021 nesting season.

The split clutch design was achieved in order to provide information on the health status of the nesting females and the possible effect on the fitness conditions of the young. When comparing the values obtained, the nesting females presented a regular body condition. The results suggest a relationship between the maternal effect (size and number of eggs) and the pups (body size, body height and body width), also including a relationship between variables of the pups and the weight of the eggs. However, the data cannot require conclusions since the explained variation is very low, requiring more studies on these possible relationships.

Keywords: Effect, nests, fitness, *Chelonia mydas agassizii*, condition.

## 1 INTRODUCCIÓN

El estado de salud de los individuos de las poblaciones de tortugas marinas puede repercutir en la calidad de la descendencia (Casal *et al.* 2009). La mayoría de los individuos adultos con salud subóptima pueden producir huevos provistos de reservas nutricionales disminuidas, lo que puede afectar la supervivencia de los neonatos, debido a que la aptitud de las crías está directamente relacionada con el efecto materno (Booth *et al.* 2013). La inversión reproductiva materna de las tortugas marinas está directamente representada por la asignación de energía y nutrientes, y no hay cuidado parental durante la incubación y posterior a la eclosión (Rafferty *et al.* 2011), sin embargo, el tamaño de un individuo es un aspecto importante, pues es un factor determinante dentro de las características reproductivas, como es tamaño de la nidada y tamaño de crías (Benabib 2016)

La aptitud biológica de las crías al nacer puede determinar su historia de vida, debido a que afecta su probabilidad de supervivencia y su tasa de crecimiento, esta última debido a que una cría más grande compite más eficazmente por el alimento, además de que las crías más grandes puedan llegar a la madurez a una edad más temprana (Rusli *et al.* 2015).

Algunos trabajos realizados en aves demuestran que análisis hematológicos de la bioquímica sanguínea e índice de condición corporal reflejan el estado de salud materna (Lewbart *et al.* 2014; Montilla *et al.* 2006). Existe una diversidad de trabajos sobre hematología en tortugas, un estudio hematológico realizado en *Chelonia mydas* determinó que una reducción en el recuento total de eritrocitos y hematocrito se puede considerar como anemia (Prieto *et al.* 2012), además el recuento total de leucocitos permite identificar el estado del sistema inmunitario, por ejemplo, recuentos altos o bajos reflejan infección o inflamación (Bolten *et al.* 1992, Martínez *et al.* 2011).

Estudios realizados en la playa de Colola, Michoacán, determinaron valores hematológicos y bioquímicos en hembras anidantes de tortuga negra (*Chelonia*

*mydas agassizii*), todos los parámetros hematológicos se encontraron dentro de los rangos reportados para poblaciones de tortugas sanas, con excepción de parámetros bioquímicos tales como el colesterol y triglicéridos, parámetros asociados con enfermedades en el hígado, hipotiroidismo e influencia de la vitelogenina (proteína que transporta e incorpora material lipídico) (Rocha 2012).

Se sabe que el efecto materno está relacionado con el tamaño del huevo, pues huevos más grandes tienen como resultado crías de mayor peso y mayor tamaño (Booth *et al.* 2013), por otra parte, algunos estudios han demostrado que a medida que avanza la temporada de anidación se observa una disminución en el tamaño de la nidada, diámetro del huevo, masa del huevo, longitud de cría y peso de crías, esto debido a que se agotan las reservas de grasa corporal de la hembra anidadora (LeBlanc *et al.* 2014).

Otro factor importante en la aptitud de las crías son las variables físicas del nido, la temperatura de incubación juega un papel crítico en el desarrollo de los neonatos. Estudios previos han demostrado que la temperatura de incubación influye en el desarrollo embrionario de tortugas marinas, principalmente en la proporción sexual de la nidada, tamaño, forma, color, comportamiento, emergencia de las crías del nido, reservas de energía, periodo de incubación, y rendimiento locomotor (Booth 2017; Hart *et al.* 2016,).

Según Miller & Limpus (1981), para la especie *Chelonia mydas*, las temperaturas por debajo de 26°C y por encima de los 33°C reducen el éxito de eclosión y de emergencia, e incrementan la mortalidad embrionaria de incubación temprana y retardada, este mismo autor determina que una temperatura de 26°C conlleva a un periodo de incubación de 79 días, y a una temperatura de 33°C a un periodo de 48 días. Diversos estudios han demostrado que a temperaturas más altas resultan periodos de incubación más cortos, y temperaturas más bajas aumenta el periodo de incubación (Usategui *et al.* 2019). Incluso pequeños cambios de temperatura del nido pueden modificar el tamaño y la velocidad de desplazamiento de las crías de tortuga, por lo tanto, puede influir en la viabilidad de poblaciones de tortugas marinas en un futuro (Booth, 2017).

Fisher *et al.* (2015) determinaron que para la tortuga caguama (*Caretta caretta*), a temperaturas fuera del rango de 27°C y 31°C, se producen crías más pequeñas, más lentas y con menos capacidad de auto enderezarse, mientras que dentro de ese rango de temperatura se obtienen crías más grandes, más rápidas y con mayor capacidad de auto enderezarse. Se ha reportado también que la humedad y la temperatura del nido afectan la masa embrionaria hacia el último tercio del desarrollo, al mismo tiempo el tamaño de las crías esta positivamente correlacionado con el contenido de humedad del nido (Tezak *et al.* 2020).

Las condiciones hídricas (humedad en la arena) del entorno del nido resultan de gran importancia, pues afectan la cantidad y la dirección del intercambio de agua entre los huevos y el nido (Booth *et al.* 2013) además, mantiene estable la temperatura del nido, impactando en la proporción sexual, desarrollo de los embriones, periodo de incubación, éxito de emergencia y además evita el colapso del nido durante su construcción (Fisher *et al.* 2014). De la misma manera, la composición granulométrica es considerada como uno de los principales elementos responsables de los cambios de temperatura que afecta a los embriones de tortugas marinas, los huevos requieren de ciertos niveles de textura en la arena para evitar desecación, puesto que, la arena es una barrera a través de la cual el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbón deben pasar, ya que controla la disipación del calor, además, se reporta que entre menor sea la profundidad del nido, menor es el éxito de eclosión (Gifari *et al.* 2018; Ríos *et al.* 2021).

La aptitud biológica de las crías al nacer es de gran importancia para su supervivencia, existiendo una relación positiva entre la condición de las hembras anidadoras y las crías (Ensminger *et al.* 2018), siendo un factor determinante dentro de sus características de historia de vida. Por lo anterior se estableció como objetivo de este trabajo evaluar la condición corporal, estado de salud de las hembras anidadoras y la aptitud biológica de sus crías, a fin de indagar en el posible efecto materno en la calidad de las crías de tortuga negra, con el propósito final de aportar información base para futuros estudios y resulte útil para la conservación y el manejo de especies amenazadas.

## 2 HIPÓTESIS

La condición de las hembras anidadoras de la tortuga negra (*Chelonia mydas agassizii*) y las variables ambientales dentro del nido (humedad y temperatura) tienen efectos en las crías al momento de la emergencia del nido y, por lo tanto, en su aptitud biológica.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Evaluar el efecto de variables maternas y ambientales sobre la aptitud biológica de las crías de tortuga negra (*Chelonia mydas agassizii*) en nidos incubados en corral en la playa de Colola.

#### **3.2 Objetivos Particulares**

- 1) Comprobar el efecto de la condición corporal (tamaño y peso) de las hembras anidadoras sobre la aptitud biológica de crías de tortuga negra.
- 2) Evaluar la relación entre las variables hematológicas de las hembras anidadoras con la aptitud biológica de las crías al momento de la emergencia.
- 3) Determinar el efecto de las variables ambientales (temperatura y humedad) sobre la aptitud biológica de las crías de tortuga negra.

## 4 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la playa de Colola, dentro del municipio de Aquila, en el estado de Michoacán, siendo este el principal sitio de anidación para la tortuga negra (*Chelonia mydas agassizii*) a nivel mundial. Esta especie de tortuga anida a lo largo de 4.8 km totales de la playa de Colola, su temporada de anidación inicia a principios de agosto y concluye a finales de marzo (Alvarado *et al.* 2003) (fig. 1).

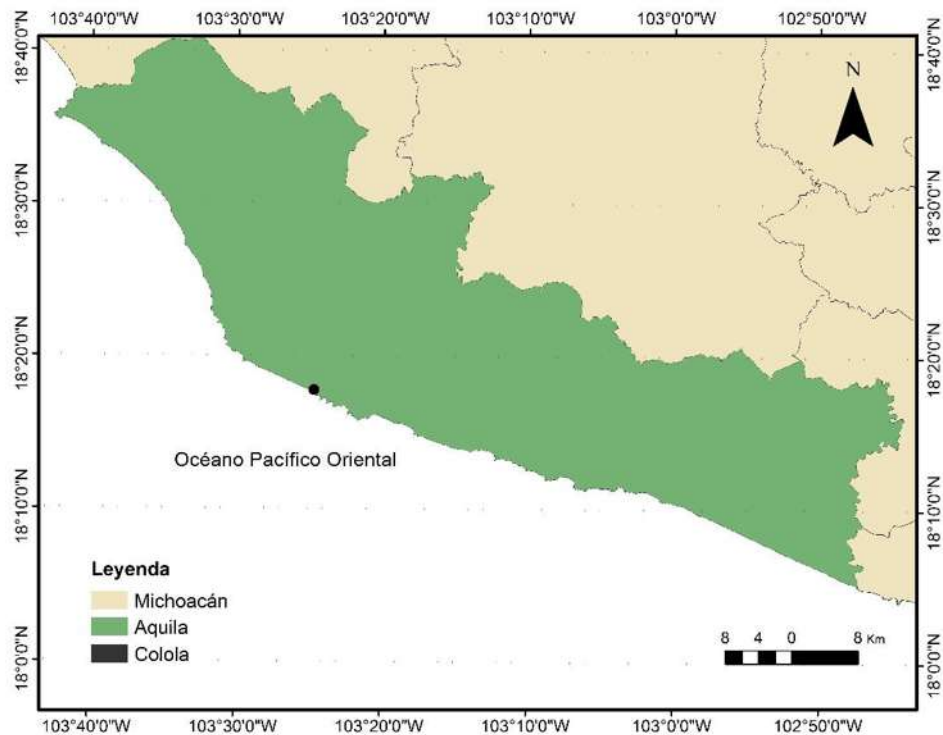


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó trabajo de campo durante la temporada de anidación que comprendió de agosto del 2020 a marzo del 2021 mediante el permiso SEMARNAT (SGPA/DGVSV/02056/21), el estudio se realizó en la línea de costa durante el mes de diciembre y enero con recorridos nocturnos desde las 8:30 pm hasta las 4:00 am.

### 5.1 Salud de las hembras anidadoras

Se utilizó una muestra de 30 hembras anidadoras dentro de la playa de Colola, Michoacán. Una vez que las hembras terminaron el proceso de anidación, a estas se les midió el largo curvo del caparazón (LCC) (fig. 2) con una cinta métrica y se pesaron con ayuda de una báscula electrónica (300 kg) (fig. 3). Con esos datos y el de los huevos se determinó el índice de condición corporal de Fulton (K) inicial (Labrada 2011) y final, con el fin de dilucidar si hay un efecto posterior al desove de huevos. El inicial se refiere al índice antes de la ovoposición, este se obtiene sacando el peso promedio de los huevos y multiplicándolo por el total de huevos, este resultado se agrega al peso de la hembra multiplicándolo por cien y se divide entre la longitud de la hembra elevándolo al cubo:

$$(K = \frac{100 * (\bar{x} \text{ huevos} * \text{total huevos} + \text{peso hembra})}{(\text{longitud})^3})$$

El índice final hace referencia al índice después de la ovoposición, este se obtiene multiplicando el peso de la hembra por cien y dividiéndolo entre la longitud de la hembra elevándolo al cubo:

$$(K = \frac{100 * \text{peso}}{(\text{longitud})^3})$$

con este índice se determinó su estado de condición corporal (índice de Fulton) de acuerdo al criterio establecido en la Tabla 1. El muestreo de las hembras se llevó a cabo en un periodo de 4 días, cada hembra muestreada se marcó con placas de acero inoxidable en la aleta superior para evitar el remuestreo, ya que por

el retraso de la temporada no se tenía la seguridad de poderlas muestrear en pocos días. (fig. 4).

Tabla 1. Criterio para interpretar el valor del índice de Fulton (Tomado de Labrada-Mortagón et al. 2010)

Valor del índice de condición corporal	Interpretación
>1.20	Muy buena
1.11-1.20	Buena
1.00-1.10	Regular
<1.00	Pobre



Figura 2. Medición del largo curvo de carapacho



Figura 3. Pesaje de las hembras anidadoras



Figura 4. Marcaje con placas de acero inoxidable

Posteriormente se extrajeron de 4 a 7 ml de sangre del seno cervical posterior (fig. 5), utilizando guantes de látex y alcohol isopropílico al 70% para desinfectar el área donde se tomó la muestra. Se utilizaron agujas de doble punta calibre 21 por 1.5 pulgadas y tubos Vacutainer© de (7 ml) sin anticoagulante (fig. 6).

A las muestras se les realizó un análisis hematológico mediante el recuento total de eritrocitos y leucocitos (heterófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos, y basófilos), mediante la técnica de tinción de Wright (Wright 1902), esto con la finalidad de tener un parámetro del estado de salud de las hembras anidadoras. La tinción se realizó colocando la muestra en un extremo del portaobjetos, para posteriormente distribuir la muestra de manera homogénea con la ayuda de otro portaobjetos. La muestra se dejó secar y se agregó colorante Wrigth (compuesto por azul de metileno y eosina) de manera uniforme, dejando reposar por 1-2 minutos (fig. 7). Posteriormente se agregó agua destilada como amortiguador por 5 min, y finalmente se retiró el exceso de colorante con agua destilada, una vez seca la muestra se agregó una gota de aceite de inmersión sobre la tinción para su observación al microscopio óptico (100x). Para el hematocrito la muestra se colocó en tubos banda roja Vacutainer© para posteriormente colocarlos en tubos capilares (fig. 8). El cálculo del hematocrito se obtuvo por el método de micro hematocrito propuesto por Cabrera (2008).



Figura 5. Extracción de la muestra de sangre



Figura 6. Separación de sangre en tubos



Figura 7. Tinción del frotis sanguíneo



Figura 8. Toma de muestra para el hematocrito

## 5.2 Manejo de huevos y diseño experimental

Después de la ovoposición se extrajeron los huevos y se trasladaron inmediatamente al corral de incubación. Se recolectaron 30 nidadas completas de huevos de tortuga negra. Cada unidad experimental consistió en nidos pareados (fig. 9), cada nido del corral de incubación contiene la mitad de la nidada (aprox. 60-80 huevos por hembra) de una hembra y la mitad de la nidada de otra hembra, por lo tanto, se evaluó un total de 30 nidos, donde cada nido se utilizó en dos unidades experimentales, esto con la finalidad de que las condiciones de incubación fueran homogéneas para todos los huevos y descartar una posible variación en la aptitud biológica de las crías debido a variaciones en las condiciones de incubación. Este diseño experimental tomo de base el diseño realizado por Booth *et al.* (2013), sin embargo, se realizaron cambios en cuanto a la zona de incubación de los nidos ya que, en nuestro estudio, se utilizó solo un área para incubación de los huevos y el autor antes mencionado utilizó dos sitios contrastantes de la playa. Los nidos fueron recolectados de dos hembras que anidaron en un lapso no mayor a 30 minutos, para evitar afectar el disco germinal (polaridad del huevo) al manipularlos (Arzola 2007). Estas nidadas fueron transportadas individualmente en bolsas de plástico al vivero. Para reducir el tiempo que toma en medir toda la nidada y evitar efectos negativos en la eclosión, sobrevivencia de las crías y aptitud biológica de las crías,

se midieron al azar 30 huevos por nidada con ayuda de un vernier (cm) y se pesaron mediante una báscula digital (0.001 gramos) (fig. 10 y 11).



Figura 9. Nidos pareados



Figura 10. Medición de huevos



Figura 11. Pesaje de huevos

Finalmente se contó el número total de huevos de cada nidada y se dividió en partes iguales, para posteriormente colocarlos en un mismo nido con los huevos de la otra hembra. Los nidos fueron cavados a una profundidad aproximada de 60 cm de acuerdo a los criterios de Carr (2006). Durante la incubación se midió la temperatura mediante un medidor de temperatura tipo Hobbo colocado al centro de la masa de huevos de cada nido (fig. 9). Las medias de las nidadas se colocaron dentro del nido separadas por una malla (80 cm de largo, 20 cm de ancho)

sobresaliendo a la superficie de la arena (fig. 9 y 12), esto para evitar la mezcla de las crías a la hora de emerger. Para la retención de los neonatos, el día 45 se colocó un tubo de malla de protección circular (65cm de diámetro x 50cm de altura) alrededor del nido a 25 cm de profundidad (fig. 13). La translocación de los huevos y la reconstrucción del nido se realizaron dentro de las 2 horas posteriores a la ovoposición.



Figura 12. Malla de división circular



Figura 13. Malla de protección de nidadas

Para determinar el contenido de humedad de los nidos, se colectaron muestras de arena de la base del nido antes del trasplante de los nidos en el vivero, posteriormente se colectaron muestras semanales de arena húmeda a un costado de los nidos. Para cada una de las muestras de arena se determinó el contenido de humedad por diferencia de peso, secando una porción (aprox. 100 gr) de arena húmeda de las muestras en un horno Coleman de campo a  $\pm 200^{\circ}\text{C}$  durante 20 minutos (fig. 14). Al final del proceso de secado se registró el peso seco, la diferencia entre el peso húmedo y peso seco se asumió como pérdida de humedad (fig. 15). De la misma forma, para cada una de las muestras de arena colectadas se obtuvo el porcentaje de saturación de humedad por medio de la técnica propuesta por McGehee (1979), la cual consiste en obtener la constante de saturación de humedad, que es la cantidad de agua necesaria para saturar el 100% de humedad 100 g de arena totalmente seca de cada una de las muestras. Los 100 g de arena seca se colocaron en una bolsa de plástico con orificios pequeños en uno de los

extremos, posteriormente se colocó la bolsa dentro de un recipiente con 100 ml de agua destilada, procurando que el extremo con los orificios quedara dentro del nivel de agua para que esta absorbiera agua por capilaridad hasta la saturación en un lapso de tiempo de 12 hrs. Una vez que la arena se saturó al 100% de humedad, se determinó la cantidad de agua que fue absorbida por la arena, la cantidad de agua requerida para saturar 100 g de arena seca se asumirá como constante de saturación.

Posterior al día 45 de incubación los corrales fueron revisados constantemente para registrar de manera precisa el tiempo de emergencia de las crías y asegurar que las crías no permanecieran más de 30 minutos fuera del nido.



Figura 14. Secado de arena



Figura 15. Pesaje de arena húmeda

### 5.3 Aptitud biológica

Para medir la aptitud biológica de las crías se recolectaron todas las crías del nido (fig.16) y se midió la velocidad de desplazamiento, para lo cual se utilizó un metro de tubo de PVC de 5 pulgadas cortado a lo largo, lo que permitió observar a la cría, el tubo se enterró y se cubrió a la mitad con arena, simulando la playa en dirección al mar, colocando una luz al final del tubo (Ischer *et al.* 2009). El recorrido de las crías se registró con un cronómetro (fig.17). Al terminar esta prueba se colocó la cría con el plastrón hacia arriba sobre la arena para la prueba de auto-enderezamiento, registrando el tiempo en que tarda la cría en volver a su postura

normal (Booth et al. 2013) (fig. 18). Posteriormente se midió la masa corporal de cada cría en una balanza digital (g) (fig. 19), y se midió la longitud recta, ancho y largo del carapacho utilizando un vernier (cm) (fig.20, 21, 22). Después se midió la abertura del botón vitelino utilizando el mismo vernier, midiendo por la parte del plastrón el ancho y largo (fig. 23).

Se analizó el éxito de emergencia y el éxito de eclosión de cada nido de acuerdo a las categorías propuestas por Miller (2000), realizándose un día después de que emerjan las crías para dar tiempo a que todas salgan por su propio esfuerzo (fig. 24). Se midió el éxito de emergencia =  $\text{No. de neonatos vivos} / \text{Total de huevos}$  y el éxito de eclosión =  $\text{No. de neonatos} / \text{Total de huevos}$ .



Figura 16. Recolección de crías



Figura 17. Evaluación de la velocidad de desplazamiento



Figura 18. Prueba de autoenderezamiento



Figura 19. Pesaje de las crías



Figura 20. Medición de largo recto de carapacho



Figura 21. Medición del ancho de la cría



Figura 22. Medición de la altura de la cría



Figura 23. Medición del tamaño de vitelo



Figura 24. Limpieza de nidos

## 5.4 Análisis estadístico

Se realizó un histograma de frecuencias mediante la regla de Sturges con valores de peso y tamaño (LCC) de las hembras anidadoras con el fin de obtener los intervalos de tallas y pesos de las hembras.

Se hicieron pruebas de t-student para evaluar diferencias entre variables de las crías provenientes de hembras con condición corporal final mala y muy buena.

Los valores obtenidos de los parámetros de hematología se expresaron como promedio  $\pm$  la desviación estándar, valores máximos y mínimos.

Se realizó una prueba de MANOVA entre las variables ambientales (humedad y temperatura) para determinar si había diferencias significativas entre los nidos, estas variables no fueron incluidas en los modelos mixtos debido a que no mostraron diferencias significativas.

Posteriormente se realizaron análisis de correlación y regresión entre todas las variables de hembras, huevos y crías.

Finalmente se realizó un modelo mixto lineal con cada una de las variables dependientes (crías) y todas las independientes (hembras y hematológicas), posteriormente, mediante análisis de varianza (ANOVAS) se fueron descartando variables combinadas independientes y complejas sin significancia, quedando únicamente las que presentaban valores inferiores al 0.05, a partir de estas variables con significancia se realizaron graficas 3D, con el fin de dilucidar que variables tienen más relación a la aptitud biológica de las crías.

## 6. RESULTADOS

Se muestrearon un total de 30 hembras anidadoras de tortuga negra (*Chelonia mydas agasszii*) en la playa de Colola Michoacán, durante la temporada de anidación 2020-2021. El rango de tamaño para las tortugas muestreadas fue de 72.7 a 97.2 cm de LCC. Con un promedio de  $80.10 \pm 5.43$  cm (fig. 25). El 90% de las tortugas capturadas presentaron tallas entre 72.7 y 84.9 cm. El peso promedio de las tortugas capturadas (n=30) fue de  $53.48 \pm 10.30$  kg. Con un rango de 41.1 a 89.6 kg. El 90% de las tortugas presentaron un peso de entre 41.1 a 65.3 kg (fig. 26).

El peso promedio para las crías fue de  $21.83 \pm 1.98$  gr y el LRC promedio fue de  $4.77 \pm 0.20$  cm.

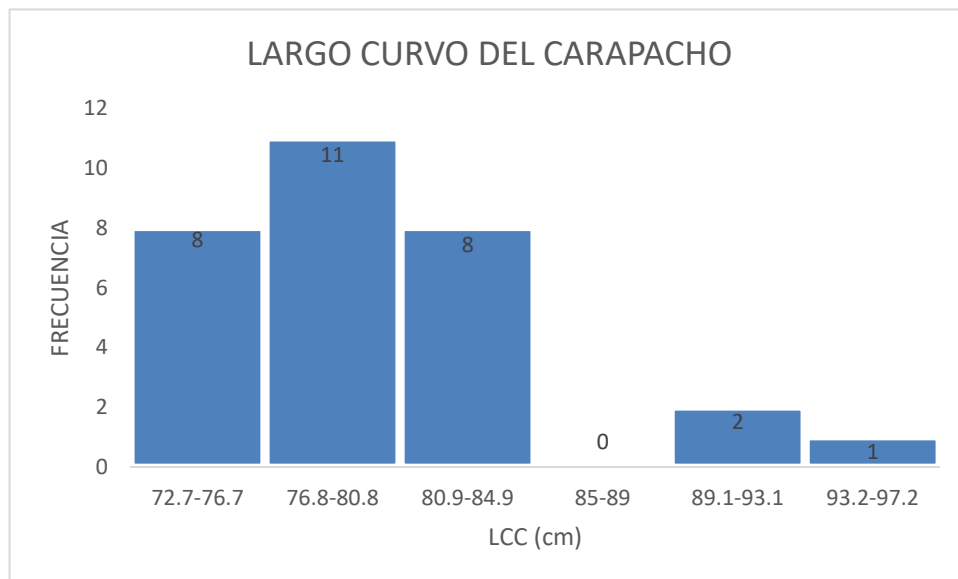


Figura 25. Frecuencia de tamaños de las hembras anidadoras

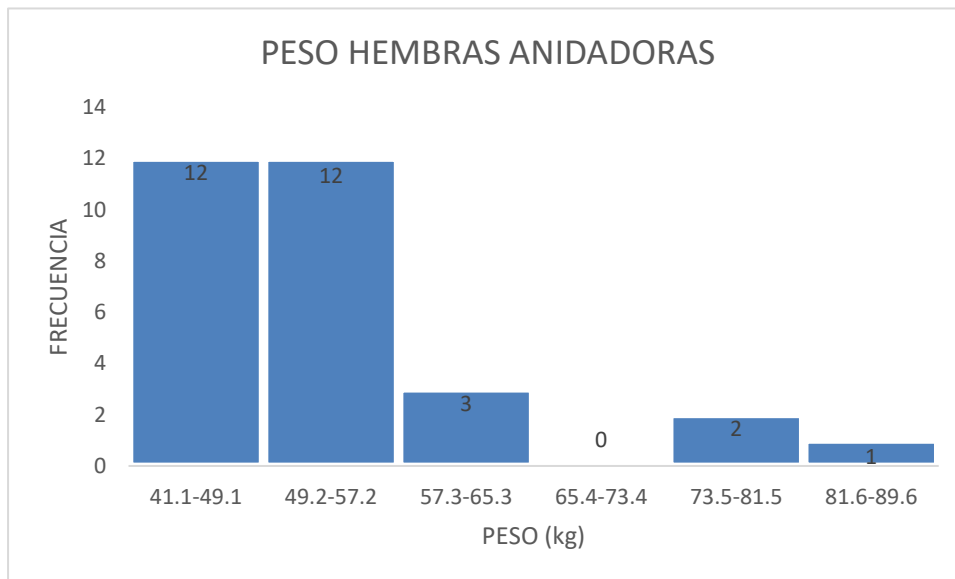


Figura 26. Frecuencia de pesos de las hembras anidadoras

## 6.1 Índice Fulton

El índice de condición corporal de Fulton inicial promedio fue de  $1.10 \pm 0.11$ , que las coloca en el rango regular para las hembras muestreadas (Flint, 2009), el 13.3 % corresponde a un rango pobre, el 40% en un rango regular, el 26.6 en bueno y el 20% en muy bueno. El índice final promedio fue de  $1.04 \pm 0.11$ , el 36.6% se encuentra en rango pobre, el 33.3% en el rango regular, el 20% en el rango bueno y finalmente el 10% muy bueno (fig.27).

Tabla 2. Valores del índice de condición corporal de Fulton (final) para cada una de las hembras anidadoras

Individuo	Índice F.	Individuo	Índice F.	Individuo	Índice F.
<b>1</b>	0.95	<b>11</b>	0.97	<b>21</b>	1.06
<b>2</b>	0.92	<b>12</b>	1.01	<b>22</b>	1.20
<b>3</b>	0.99	<b>13</b>	1.03	<b>23</b>	1.03
<b>4</b>	0.99	<b>14</b>	1.15	<b>24</b>	1.06
<b>5</b>	0.96	<b>15</b>	0.92	<b>25</b>	1.08
<b>6</b>	1.10	<b>16</b>	1.05	<b>26</b>	1.14
<b>7</b>	1.13	<b>17</b>	1.20	<b>27</b>	0.89
<b>8</b>	0.94	<b>18</b>	1.26	<b>28</b>	1.14
<b>9</b>	1.14	<b>19</b>	1.08	<b>29</b>	0.85
<b>10</b>	1.17	<b>20</b>	0.74	<b>30</b>	1.00

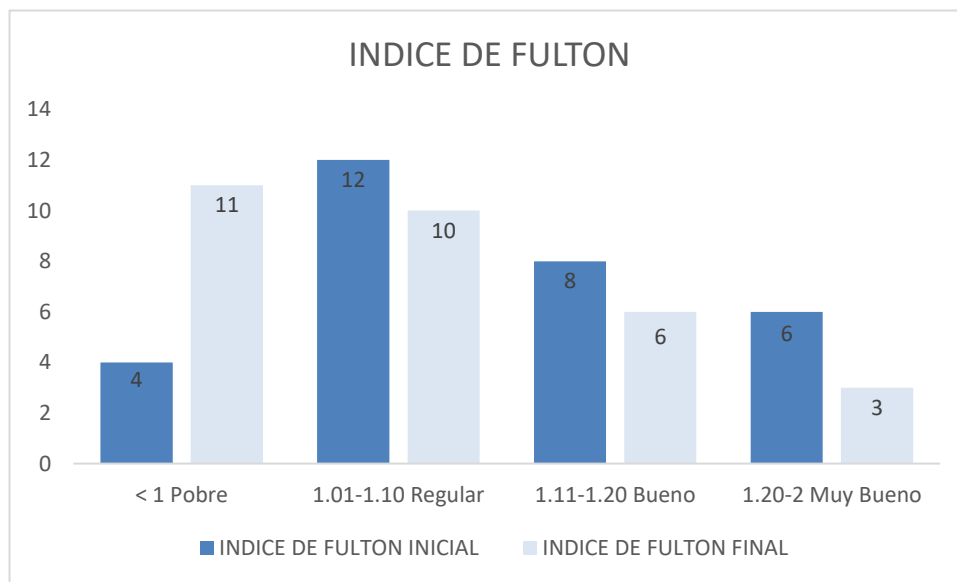


Figura 27. Frecuencia inicial y final del índice de condición corporal (Fulton)

La prueba de t-Student mostró diferencias significativas entre las hembras de condición corporal mala y muy buena en las variables de tamaño ( $t = 3.7965$ ,  $df = 467.19$ ,  $p\text{-value} = 0.0001661$ ) y ancho del cuerpo de las crías ( $t = 2.0947$ ,  $df = 453.22$ ,  $p\text{-value} = 0.03676$ ), las dos clases intermedias (regular y buena) no mostraron diferencias significativas (fig. 28).

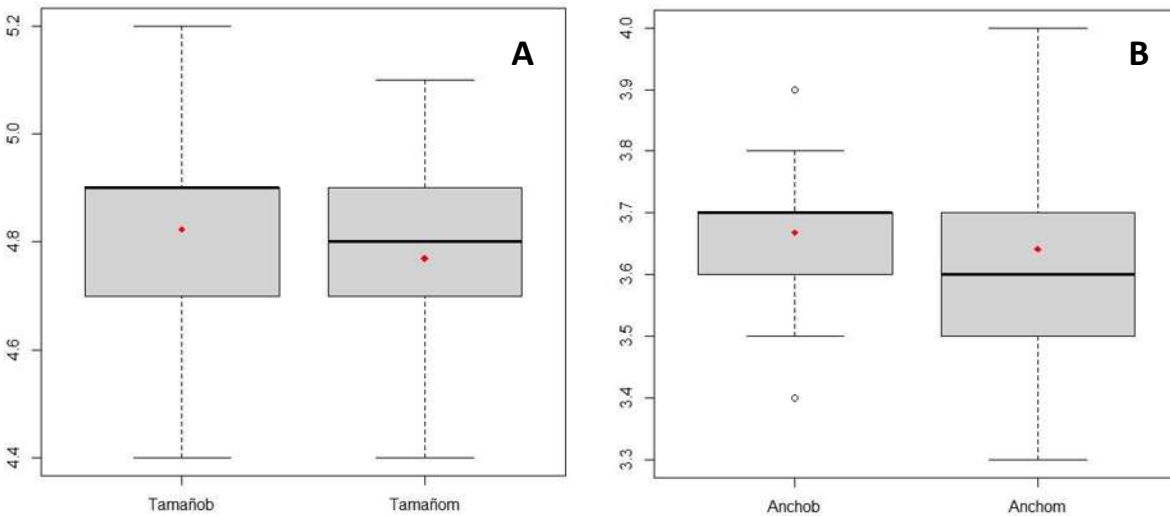


Figura 28. A-Prueba t-Student de la variable tamaño de cría respecto al índice de condición corporal. B- Prueba t-Student de la variable ancho de cría respecto al índice de condición corporal.

## 6.2 Parámetros hematológicos

Se identificaron cuatro tipos de leucocitos: heterófilos, linfocitos, eosinófilos, y monocitos, todos ellos con proporciones similares a las ya reportadas por otros autores en *Chelonia mydas* (Montilla *et al.* 2003) (Tabla 2). Los basófilos no fueron observados en las muestras estudiadas. Se presenta el valor promedio, error estándar, máxima y mínima para cada parámetro. Los leucocitos de mayor abundancia fueron los linfocitos ( $13.232 \pm 10.982$  % n=30) (fig.29), seguido por los heterófilos ( $11.445 \pm 11.593$  % n=30) (fig. 30), eosinófilos ( $5.47 \pm 14.320$  % n=31) (fig. 31) y finalmente los monocitos ( $0.025 \pm 0.353$  % =30) (fig. 32, tabla 3).

Tabla 3. Variables hematológicas de tortuga negra (*Chelonia mydas agassizii*) capturadas en Colola Michoacán (N=30)

<b>Variables</b>	<b>Media% <math>\pm</math> DE</b>	<b>Min-Max</b>
<b>Heterófilos</b>	$11.445 \pm 11.593$	12-61
<b>Linfocitos</b>	$13.232 \pm 10.982$	25-62.5
<b>Eosinófilos</b>	$5.47 \pm 14.320$	3-62.5
<b>Monocitos</b>	$0.025 \pm 0.353$	1-1.5
<b>Basófilos</b>	$0 \pm -$	0
<b>Hematocrito</b>	$27.32 \pm 2.8$	15.36



Figura 29. Linfocitos de tortuga negra. Se observan redondos o de forma irregular, cromatina finamente distribuida de color violeta. Observados a 100x

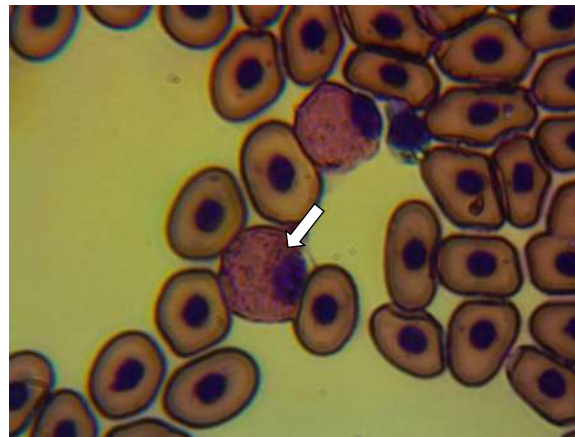


Figura 30. Heterófilos de tortuga negra. Se observan como células redondas con un borde citoplasmático liso y núcleo ubicado excéntricamente. Observados a 100x



Figura 30. Eosinófilos de tortuga negra. Se observan como células redondas u ovaladas con borde citoplasmático liso y gránulos redondos grandes. Observados a 100x

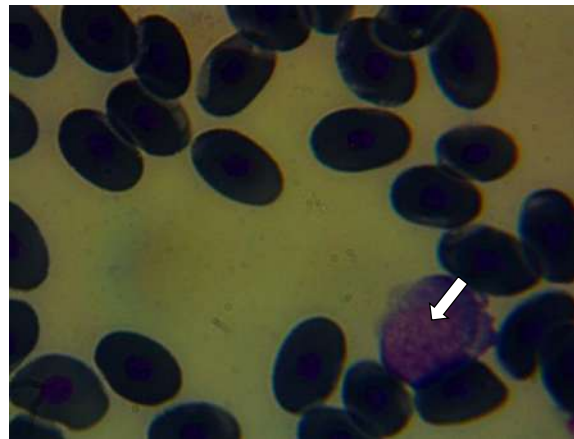


Figura 32. Monocitos de tortuga negra. Se observaron como células con bordes externos lisos y abundante citoplasma teñido de violeta. Observados a 100x

### 6.3 Variables ambientales

Se realizó una prueba de MANOVA para determinar si había diferencias entre variables ambientales de todos los nidos sembrados en al área de corral, obteniendo un valor de  $F_{1,58} = 1.45$ ,  $p = 0.21$ , no significativo para esta prueba (fig.33), por lo que las variables ambientales no fueron utilizadas en los análisis subsiguientes.

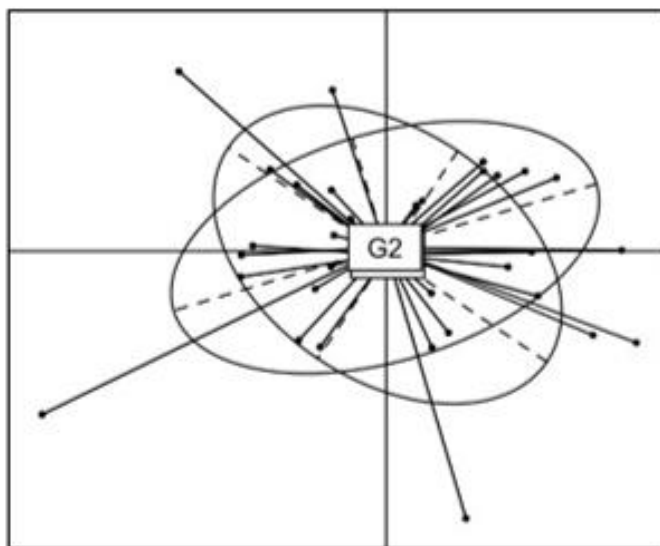


Figura 33. Prueba de MANOVA para las variables ambientales de diferentes nidos.

## 6.4 Efectos maternos en aptitud biológica

En los análisis de correlación pareados de todas las variables, las que presentaron valores significativos fueron el peso de la cría- peso del huevo con una  $p=9.64e-09$   $R^2=0.03$ , tamaño cría- peso del huevo  $p=1.152e-09$   $R^2=0.04$ , tamaño de vitelo-peso del huevo  $p=0.0027$   $R^2=0.004$ , enderezamiento- peso del huevo  $p=0.033$   $R^2=0.003$  (fig. 34), altura cría- peso del huevo  $p=3.624e-11$   $R^2=0.04$ , ancho cría- peso del huevo  $p=8.059e-05$   $R^2=0.01$ , velocidad cría-peso del huevo  $p=4.502e-05$   $R^2=0.01$ , tamaño cría- velocidad cría  $p=0.0067$   $R^2=0.07$  (fig. 35), sin embargo, el valor de la variación explicada es muy bajo, por lo tanto estos resultados tienen que tomarse con cautela. Todas las demás comparaciones pareadas resultaron no significativas.

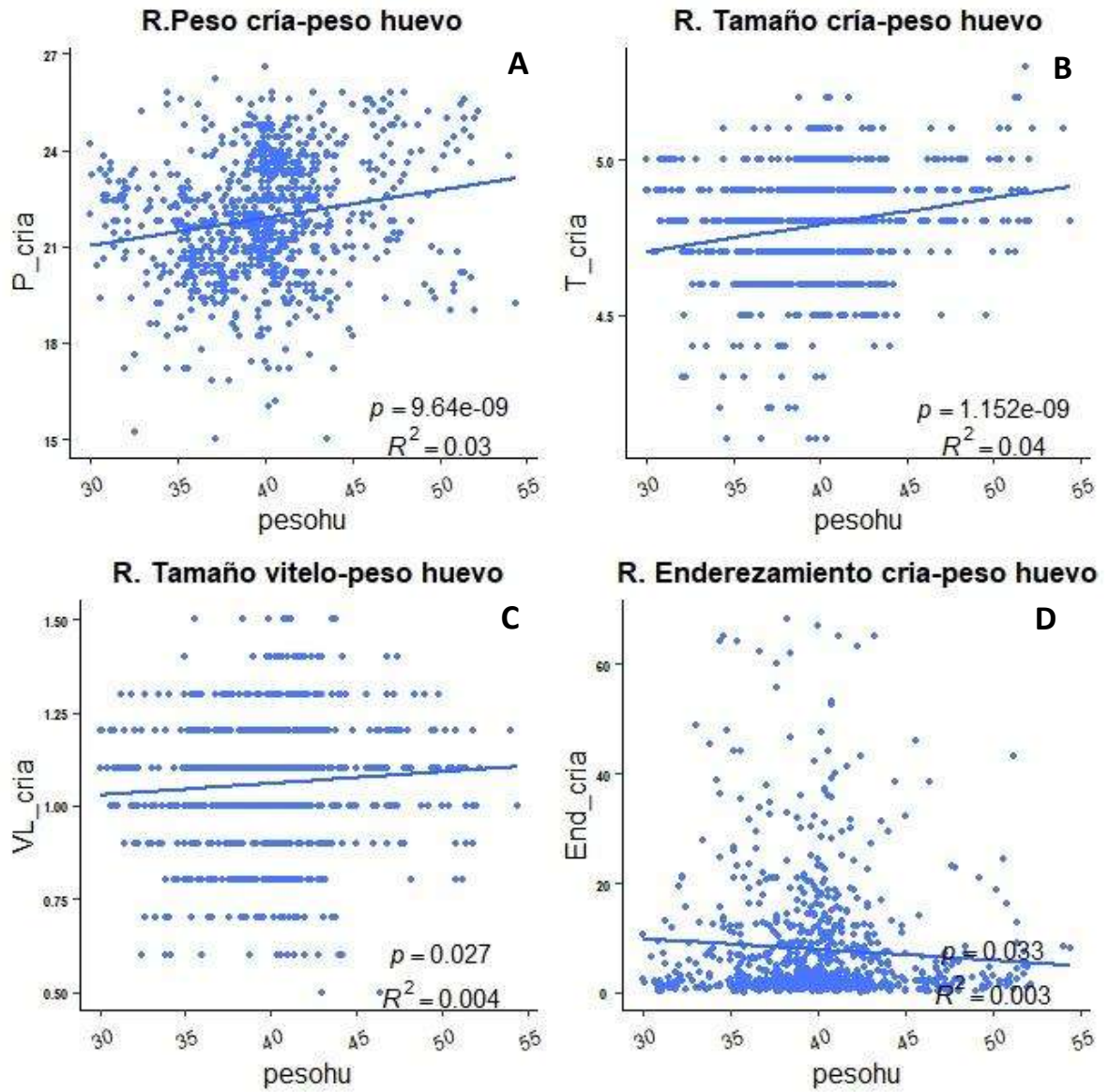


Figura 34. Regresiones A . Peso cría – peso huevo B. Tamaño cría-  
 peso huevo C. Tamaño vitelo D. Enderezamiento-peso huevo

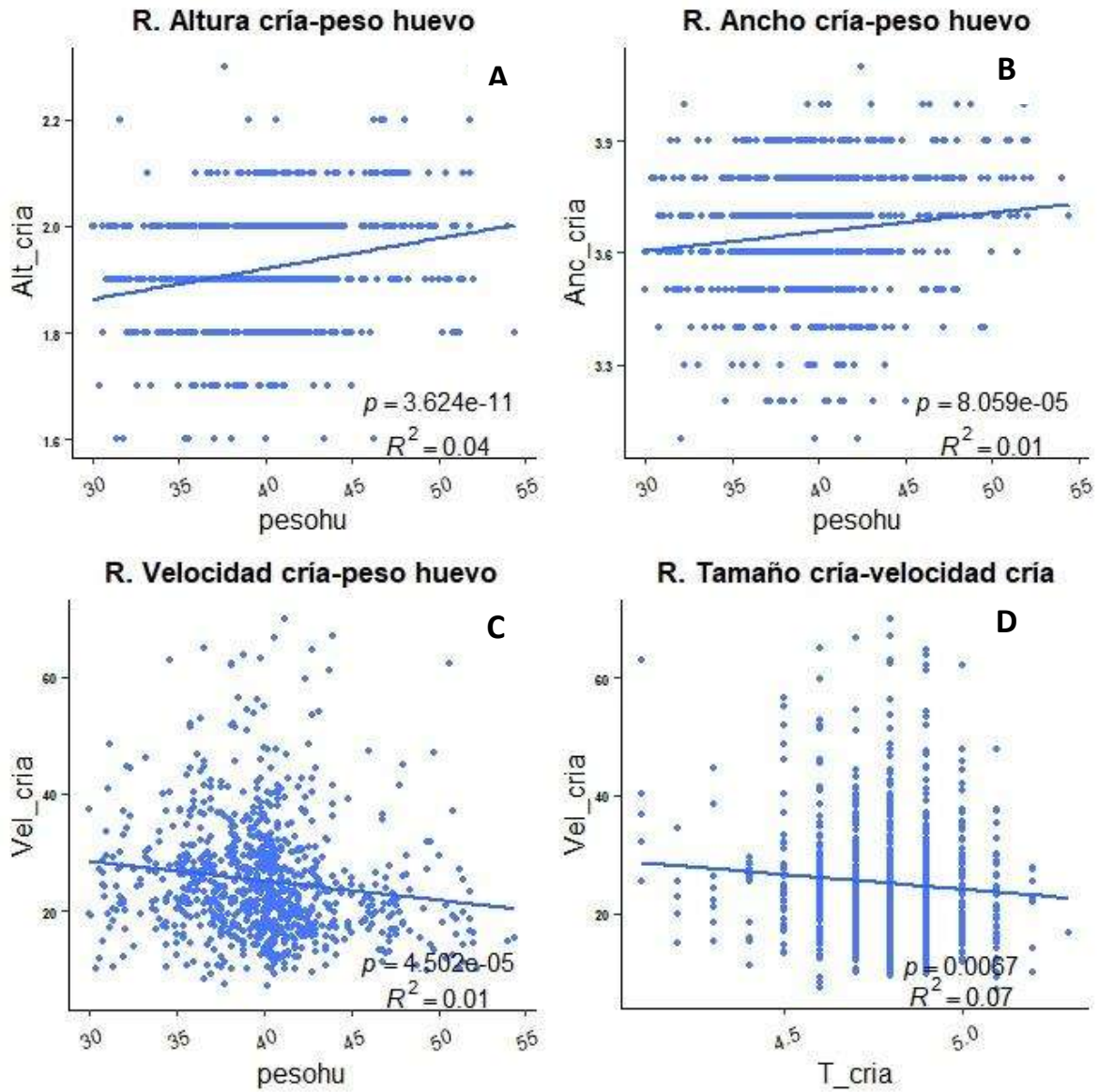


Figura 35. Regresiones A . Altura cria – peso huevo B. Ancho cria- peso huevo C. Velocidad- peso huevo D. Tamaño cria-velocidad cria

Para los modelos mixtos y análisis de varianza (ANOVA) utilizando todas las variables de las hembras, huevos y crías solo se retuvieron aquellas variables que presentaron valores de significancia, como el tamaño de la hembra, porcentaje de heterófilos, número de huevos, tamaño de crías, ancho del cuerpo de las crías, altura del cuerpo y tamaño de vitelo, con estas variables resultantes se hicieron gráficos de 3D.

El modelo mixto y el análisis de varianza arrojó que el tamaño del cuerpo de la hembra (LCC) y el tamaño de la nidada, se relacionan positivamente con el tamaño de las crías (LRC) ( $F=6.053$ ,  $gl=28$   $p=0.01$ ), el ancho del cuerpo de las crías ( $F=-2.917$ ,  $gl=28$   $p=0.007$ ) y la altura del cuerpo ( $F=-2.201$ ,  $gl=29$   $p=0.02$ ). Encontramos que las hembras con tallas mayores a 85 cm de LCC producen crías más grandes, más anchas y con mayor altura corporal, mientras que hembras con tallas por debajo de los 85 cm producen crías más pequeñas, menos anchas y con menor altura corporal (fig. 36, 37 y 38).

El tamaño de la nidada también se correlaciona negativamente con el tamaño de las crías, la anchura del cuerpo y la altura del cuerpo, esto es; nidadas por debajo de 80 huevos produjeron crías más grandes, más anchas y con mayor altura corporal, mientras que nidadas por arriba de 80 huevos produjeron crías más pequeñas (fig. 36, 37 y 38). Los análisis de varianza demostraron que las hembras con tamaño de cuerpo grande que producen nidadas con pocos huevos, producen crías más grandes.

Las variables asociadas con la abertura del botón vitelino fueron los heterófilos y el tamaño de las hembras ( $F=3.13$ ,  $gl=28$   $p=0.004$ ), el índice de los heterófilos mayor a 10% produjo crías con un tamaño menor de botón vitelino, por el contrario, heterófilos menor a 10% produjo crías con un mayor tamaño de botón vitelino. Por su parte, un tamaño de las hembras menor a 85 cm produce crías con un mayor tamaño de botón vitelino y mayor a 85 cm un menor tamaño de botón vitelino. Este análisis sugiere que entre menos heterófilos se encuentren y menor sea el tamaño de hembra, mayor es el tamaño de la abertura de vitelo (fig. 39).

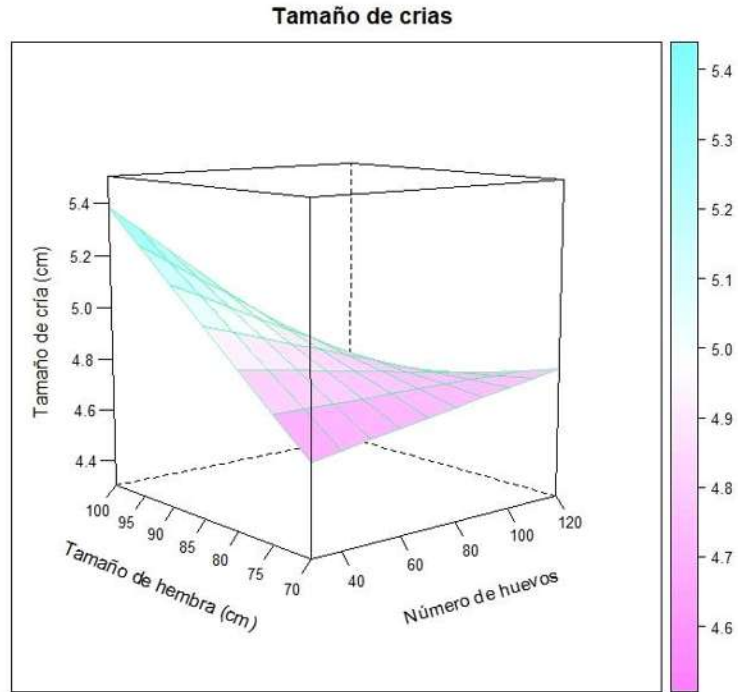


Figura 36. Superficie de números predichos del tamaño de crías en base al tamaño de la hembra y número de huevos. (El corrimiento al color azul indica un mayor tamaño de la cría y el corrimiento al color rosa indica un menor tamaño de la cría)

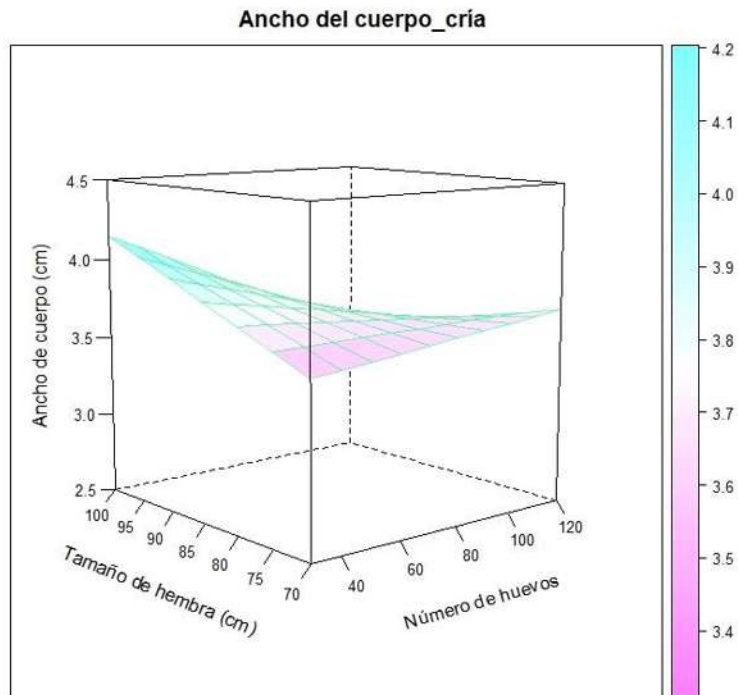


Figura 37. Superficie de números predichos del ancho del cuerpo de crías en base al tamaño de la hembra y número de huevos. (El corrimiento al color azul indica un mayor ancho de cuerpo de la cría y el corrimiento al color rosa indica un menor ancho de cuerpo)

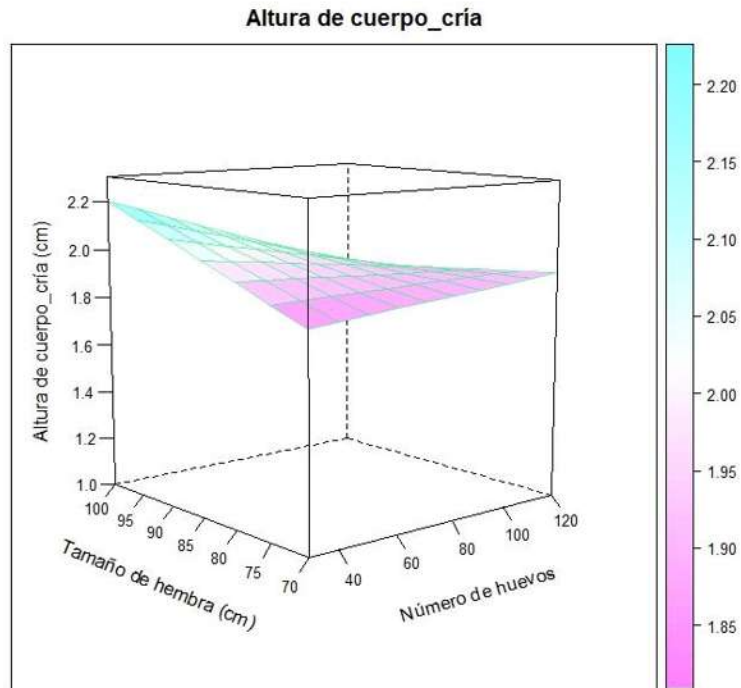


Figura 38. Superficie de números predichos de la altura del cuerpo de crías en base al tamaño de la hembra y número de huevos. (El corrimiento al color azul indica una mayor altura de cuerpo de la cría y el corrimiento al color rosa indica una menor altura de cuerpo de las crías)

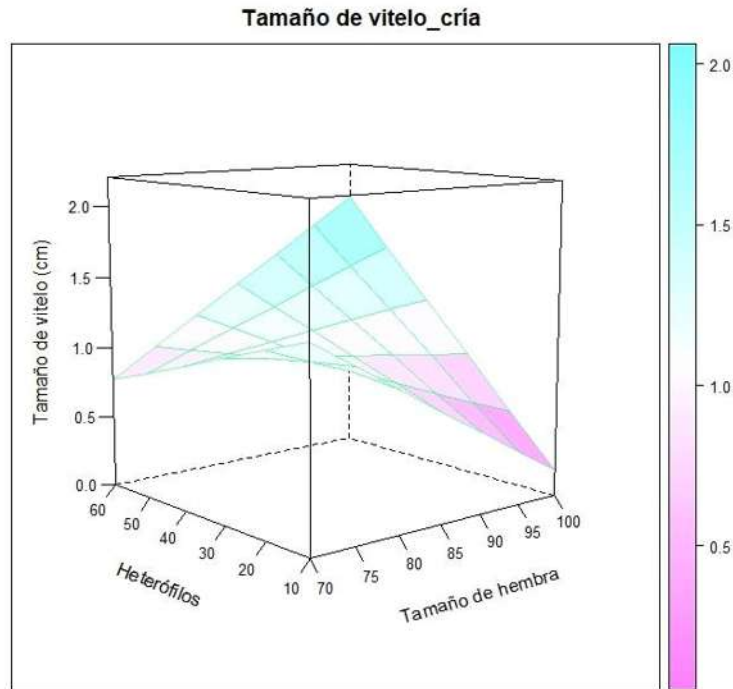


Figura 39. Superficie de números predichos del tamaño de vitelo de crías en base al número de heterófilos y tamaño de la hembra. (El corrimiento al color azul indica un mayor tamaño de vitelo y el corrimiento al color rosa indica un menor tamaño de vitelo)

Finalmente, el éxito de emergencia para los huevos incubados en corral obtuvo un 80.6% y el éxito de eclosión un 81.4% (fig. 40).

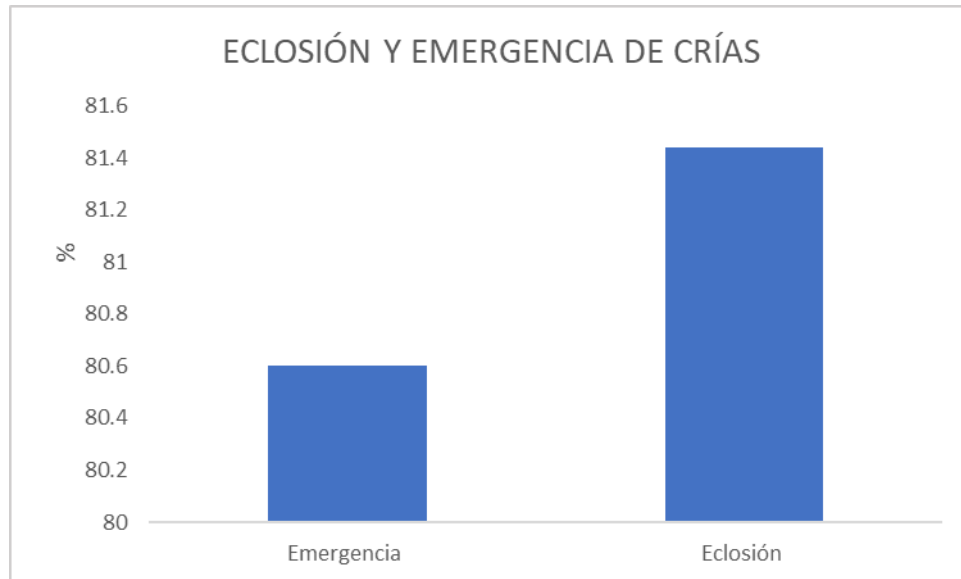


Figura 40. Porcentaje de eclosión y emergencia de las crías

## 7. DISCUSIÓN

A pesar de la gran diversidad de los rasgos de historia de vida entre las especies de tortuga marina, existen pocos análisis comparativos o de síntesis de estos patrones de vida (Lewvart *et al.* 2014).

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, se encontró una talla corporal promedio de 80.10 cm de LCC para las hembras anidadoras de tortuga negra, estos resultados son similares a los reportados por Mariño (2014), quien encontró un promedio de 77.9 cm de LCC.

### 7.1 Condición corporal

La condición corporal de un individuo se refiere, en términos generales, al estado energético del mismo; se asume que un animal con buena condición corporal tiene mayores reservas energéticas que un animal con condición pobre (Harder y Kirlpatric, 1996) sin embargo, es importante considerar que una población puede prosperar o decaer dependiendo de la salud de los individuos que la conforman (Stevenson y Woods 2006).

En la presente investigación encontramos que las hembras muestreadas se encuentran en condiciones regulares utilizando el índice final de condición de Fulton, sin embargo, existen variaciones en la categorización de estas, con mala y buena condición. Además, se encontró una disminución en el índice de condición de Fulton inicial y final pero dentro del rango, este análisis se realizó con el fin de indagar que tanto afecta el proceso de ovoposición, esta disminución podría estar aunada al número de anidaciones previas que tuvieron ya que las hembras una vez que ovopositan pierden peso (Hirt 1997).

Seminoff *et al.* (2003) reporta un índice de condición corporal mejor (1.16) al encontrado en este trabajo para la especie *Chelonia mydas* en Baja California Sur. Sin embargo, se sabe que, en las costas de la península de Baja California Sur, son

sitios importantes de alimentación para los juveniles de tortuga negra (Labrada-Mortagón *et al.* 2011), la mayor abundancia de alimento que existe en estos sitios puede significar un mayor aporte energético a los individuos y traducirse en una mejor condición corporal (Seminoff *et al.* 2003). A esto se le suma que, en Michoacán, las hembras anidadoras realizan importantes migraciones desde sus sitios de alimentación, además que dejan de alimentarse durante el periodo de reproducción y van perdiendo peso, esto por el desgaste energético que implica la migración desde sus sitios de alimentación en Centroamérica y el noroeste de México (Alvarado y Figueroa 1990). Por lo que, probablemente los resultados de este estudio, en relación a la condición corporal de los organismos, están relacionados con el esfuerzo y el gasto de energía durante el viaje migratorio que va desde el Este de Baja California hasta las Islas Galápagos y Perú hasta su área de anidación (Mora *et al.* 2010). Otra posible causa en la variación de condición corporal encontrada en ambos estudios puede estar vinculado con las anidaciones sucesivas que presenta la especie, ya que esta especie por lo regular anida de 2 a 3 veces por temporada (Hirth 1997), lo que puede reducir su masa y/o peso corporal.

En trabajos previo se ha reportado que a medida que avanzaba la temporada de anidación existe una disminución en el peso de la hembra (Hays *et al.* 2002), el tamaño de la nidada, diámetro del huevo, masa del huevo por nidada, longitud de las crías y masa de las crías (Leblanc *et al.* 2014). Sin embargo, en este estudio no se pudo determinar el número de anidación puesto que solo se evaluó un evento anidatorio. En nuestro estudio se encontraron diferencias en cuanto a tamaño y ancho del cuerpo en las crías provenientes de hembras con buena condición corporal y mala condición corporal, indicando que las hembras con buena condición corporal producen crías más grandes y viceversa, lo que concuerda con lo reportado por LeBlanc *et al.* (2014).

De acuerdo a Cotton (2006), los organismos que presentan mejor condición corporal tienen más posibilidades de sobrevivir a los largos viajes migratorios, que pueden extenderse hasta 2,000 km, esto a consecuencia de la grasa corporal que han acumulado, de igual forma los individuos con mayor condición corporal pueden

presentar mayor éxito reproductivo (Booth *et al.* 2013) sin embargo, en este estudio no se analizó el éxito reproductivo de las hembras con la condición corporal, debido a que éxito reproductivo contempla la producción total de huevos producidos en una temporada.

## 7.2 Parámetros hematológicos

Las células de defensa del sistema inmunitario más importantes son los leucocitos o células blancas. El recuento de glóbulos blancos en este trabajo está en el rango que ha sido documentado por otros autores (Fei-Yang *et al.* 2011; Labrada-Martagón 2010; Lewbart *et al.* 2014; Zhang *et al.* 2009) en hembras anidadoras.

Los leucocitos de mayor abundancia presentes en este estudio fueron los linfocitos y heterófilos, estos resultados son similares a los reportados por Lewbart *et al.* (2014). Los linfocitos son los responsables de iniciar la respuesta inmunológica, ya que producen anticuerpos, mientras que los heterófilos tienen como función principal la fagocitosis y digestión de material extraño como parásitos, bacterias, protozoarios, virus, hongos y otras partículas ajenas. Aunado a esto, los valores altos de heterófilos en reptiles están asociados a estrés, neoplasias y leucemia hetrofílica, mientras que valores bajos son asociados a la hibernación (Fong *et al.* 2010, Quiceno *et al.* 2005). Sin embargo, los valores observados en esta investigación se encuentran dentro de los establecidos para poblaciones sanas. Además, nuestros resultados sugieren que entre menos heterófilos se encuentren en las hembras anidadoras más grande será el tamaño de vitelo de la cría, aunque hasta la fecha no se ha descrito alguna relación entre estas dos variables, por lo que es difícil discutir una relación madre/cría.

Otras células sanguíneas estudiadas en esta investigación son los eosinófilos, monocitos y basófilos. Los eosinófilos regulan respuestas alérgicas y de

inflamaciones agudas (Labrada-Martagón 2010). Grumbles *et al.* (1990) reporta rangos de células eosinófilos de 3-61% para tortugas negras en Colola, estos resultados coinciden con nuestros resultados. Sin embargo, el estudio realizado por Lara (2010), documenta porcentajes más altos comparados con esta investigación, diferencia que podría estar atribuida al periodo de muestreo y a la edad de las tortugas, ya que el estudio de Lara se realizó a final de la temporada en tortugas juveniles. Esta variación hematológica en función de la época del año ha sido reportada por varios autores (Trioano *et al.* 1998; Zhang *et al.* 2011), quienes documentan valores anormales debido a factores como la temperatura y radiación solar excesiva. Otras variables que pueden influir en los valores hematológicos y la bioquímica sanguínea en los reptiles pueden ser la especie, edad, sexo, dieta, estado nutricional y etapa reproductiva de los individuos (Montilla *et al.* 2006).

Por otra parte, los monocitos, células consideradas fagocíticas, presentaron un promedio de 0.25%. Lewbart *et al.* (2014) reportan un rango de monocitos que va de 0.18 a 2.92% en hembras anidantes en el Archipiélago de Galápagos, estas células pueden indicar algún proceso infeccioso crónico o de estimulación inmunogénica (Prieto *et al.* 2012). Sin embargo, aunque en el rango más bajo, en este estudio los valores relativos de monocitos se encontraron dentro de los valores normales citados en la literatura (Lewbart *et al.* 2014).

Los basófilos se relacionan con la presencia de infecciones parasitarias (básicamente parásitos intestinales y ocasionalmente hemoparásitos) e infecciones virales (Martínez *et al.* 2011), el no encontrar este tipo de célula en este estudio puede estar indicando que las tortugas estudiadas, y quizá la población en general, no presentan signos de infecciones parasitarias importantes.

En general las células sanguíneas (leucocitos) que se reportaron en esta investigación son similares a los reportados previamente en la mayoría de las investigaciones en tortuga verdes clínicamente sanas y otras especies de quelonios.

### 7.3 Efectos maternos y reproductivos (tamaño de nidada y diámetro de huevos) en la aptitud biológica de las crías

El desarrollo embrionario es un proceso que está fuertemente influenciado por una serie de factores que van desde la composición genética del embrión, la salud de la hembra, hasta el entorno de incubación (Tezak *et al.* 2020). Debido a que estos reptiles carecen de cuidado parental, es de gran importancia la relación entre el entorno de incubación y la influencia materna en la calidad de las crías (Rusli *et al.* 2015).

Existen muchos mecanismos posibles por los cuales la influencia materna pueda manifestarse en las crías, desde la alteración epigenética de la expresión génica, hasta niveles de hormonas disponibles para las crías durante su desarrollo y el sitio de selección de anidación (Mitchell *et al.* 2015). Algunos estudios que abordan este tema muestran que la influencia materna puede afectar una amplia gama de características reproductivas, incluyendo el éxito de eclosión, el tamaño de las crías y tasas de crecimiento de las crías (Ahles *et al.* 2015).

Aunque en los resultados obtenidos se menciona una correlación significativa entre diversas variables relacionadas con la cría y el huevo, es importante tomar en cuenta que los valores de  $R^2$  son sumamente bajos ( $<0.04$ ), por lo que los resultados no arrojan datos concluyentes, pero si se pueden tomar como una tendencia que tendría que ser puesta a prueba en futuras investigaciones. Por lo que, tomando en cuenta lo anterior, discutiremos los resultados que mostraron valores significativos.

Los resultados obtenidos en los modelos mixtos sugieren que el efecto materno está relacionado al tamaño, ancho y altura del cuerpo de la cría, hembras más grandes que producen pocos huevos tienen como respuesta crías grandes. Autores como Booth *et al.* (2012) han documentado la relación entre un tamaño grande de hembra y tamaño grande de cría. Esto se ha relacionado con una mayor carga de vitelo en los huevos, entre menos huevos sean, el vitelo de la madre se distribuye en un menor número de huevos, teniendo en proporción más vitelo por huevo las nidadas más chicas que las más grandes (Ensminger *et al.* 2001).

El tamaño de las crías tiene relevancia ecológica; un tamaño corporal más grande puede ser ventajoso si las crías están entrando en un ambiente con abundantes depredadores, en el cual algunos de ellos tienen un tamaño de boca pequeño y solo pueden capturar presas más pequeñas (Fisher *et al.* 2015, Hart *et al.* 2016; Odzemir *et al.* 2007).

En muchos organismos el tamaño corporal se correlaciona positivamente con rasgos que están relacionados con la forma física, sin embargo, existe la hipótesis de “entre más grande mejor” (Janzen 1993). No obstante, los resultados obtenidos aquí son similares a los reportados por Mickelson *et al.* (2010), quienes mencionan que las crías más grandes tienen un rendimiento locomotor menor pero aletas proporcionales a su tamaño de cuerpo, lo que compensa un desplazamiento óptimo favoreciendo la distancia de desplazamiento y la velocidad de nado posterior a la emergencia, ya que permite recorrer una mayor distancia durante cada movimiento, contrario a esto, las crías con carapacho más estrecho crean menos resistencia y un efecto más aerodinámico durante el movimiento hacia adelante (Burgess *et al.* 2006).

Por otra parte, en los modelos mixtos realizados encontramos que a menor tamaño de la hembra mayor será el tamaño de la abertura del vitelo de la cría. Es una desventaja en la aptitud biológica de la cría en tierra el tener una abertura vitelo grande al nacer, puesto que es un pequeño brote en la parte ventral de la cría, que influye el desplazamiento por la zona de playa y los individuos son más susceptible a los depredadores (Ríos *et al.* 2021). Estas reservas de energía (botón de vitelo), son utilizadas en las actividades de romper y salir del cascarón y posteriormente salir del nido, sin embargo, dentro del mar es una ventaja tener el tamaño de vitelo grande ya que es una reserva de energía que les permite alejarse de la zona litoral y alcanzar las zonas pelágicas (Abella *et al.* 2007; Booth 2013).

Autores como Wallace *et al.* (2006) encontraron una correlación significativa entre el peso de huevo y crías de la tortuga *Dermochelys coriacea*, esto es similar a lo encontrado en las regresiones de este trabajo, donde se sugiere una correlación entre el peso de huevos vs tamaño, peso, altura, ancho, velocidad, tamaño de vitelo

y enderezamiento de la cría, sin embargo, los resultados de la relación deben ser interpretada con cautela debido a los bajos valores de  $R^2$ .

Por otra parte, Booth *et al.* (2012) ha documentado que tanto el efecto materno como el entorno de incubación influyen en la aptitud biológica de las crías, ya que el efecto materno influye principalmente en atributos morfológicos como es el peso y tamaño del carapacho de las crías (LRC), mientras que la temperatura tiene mayor influencia en el rendimiento locomotor (auto-enderezamiento, velocidad de desplazamiento, y brazada de nado). Debido al diseño experimental, no fue posible evaluar el efecto del ambiente en las crías, pues los parámetros tomados no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, por lo que no es posible discutir la posible influencia del entorno de incubación. Sin embargo, al igual que Booth *et al.* (2012), los resultados de nuestra investigación sugieren que el tamaño de la hembra influye en el tamaño de la cría.

Otros trabajos realizados en Colola, durante la temporada de anidación 2010/2011, evaluaron la influencia del tamaño de las hembras de tortuga negra sobre algunos parámetros reproductivos (tamaño de la nidada, peso de la nidada, tamaño del huevo y peso del huevo) y la aptitud de las crías, encontrando una correlación significativa entre el tamaño de la hembra, el tamaño de la nidada y el peso de la nidada (Mariño 2014) esto es similar a lo reportado en nuestro trabajo. Además, el tamaño de las hembras (LCC) no se correlaciono con el tamaño de las crías ni con el peso de las mismas, esto es contrario a lo encontrado en la presente investigación, donde se sugiere una relación entre el tamaño de la hembra y el tamaño de las crías.

Cabe destacar que las contribuciones paternas también pueden tener un papel en el desarrollo embrionario, sin embargo, hasta el momento los efectos paternos no han sido estudiados en tortugas (Booth *et al.* 2012, Tezak 2020, Hart *et al.* 2016), ya que es desafiante evaluar estas influencias paternas puesto que las nidadas tienen paternidad múltiple (Chassin *et al.*, 2017; Lasala *et al.* 2018) y los machos rara vez llegan a tierra, lo que hace complicado su muestreo.

## 8. CONCLUSIONES

El tamaño de las hembras de tortuga negra presentó una correlación con el tamaño de las crías, lo que sugiere que hembras más grandes producen crías más grandes.

Las hembras anidadoras que producen menos huevos, producen crías más grandes.

Los organismos que presentan mejor condición corporal producen crías más grandes.

Las hembras de menor tamaño con un número bajo de heterófilos, producen crías más pequeñas que probablemente tengan menores probabilidades de sobrevivir.

En este trabajo se sugiere que la influencia materna está relacionada con variables morfológicas de sus crías, como el tamaño corporal, el tamaño de vitelo y el ancho del cuerpo, que son utilizadas para determinar la aptitud biológica de estas, sin embargo, debido a los bajos valores de correlación, los resultados son poco concluyentes y requieren que estos resultados sean explorados en investigaciones futuras.

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron diferencias importantes, que pueden estar atribuidas a diferentes orígenes, como pueden ser el diseño experimental, la diferencia en la forma de analizar los datos, efectos que no se han tomado en cuenta como la influencia genética, influencia de las características del ambiente, el efecto paterno en la nidada, entre otras, por lo que es un campo de investigación que requiere de un trabajo sistemático más intensivo.

Debido a la importancia de este tema, se recomienda incrementar el número de muestra y continuar con este tipo de estudios, que nos ayuden a dilucidar la relación de los aspectos paternos y maternos con la aptitud biológica de las crías.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

- Abella E., Marco A., y López L. (2007). **Success of Delayed Traslocation of Loggerhead Turtle Nest.** *The journal of wildlife management.* 71 (7), 2290-2296.
- Ahles N., Milton S. L. (2015). **Mid- incubation relocation and embryonic survival in loggerhead sea turtle eggs.** *The journal of wildlife management* 80 (3), 430-437.
- Alvarado- Díaz J., Arias –Coyotl E.y Delgado- Trejo C. (2003). **Clutch frequency of the Michoacan Green seaturtle.** *Herpetology*, 183-185.
- Alvarado- Díaz J. y Figueroa A. (1990) **Ecología y conservación de las tortugas marinas de Michoacán, México.** Cuadernos de investigación (4) UMSNH.
- Arzola-Gonzalez J.F. (2007). **Humedad y temperatura en nidos naturales y artificiales de tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschsholtz 1829).** *Revista de biología marina y oceanografía*, 42 (3), 377-383.
- Benabib, M. (1993). **Los vertebrados y las historias de vida. Centro de ecología UNAM.** *Revista Ciencias* (7):25-30.
- Booth D.T., Feeney R., y Shibata Y. (2013). **Nest and maternal origin can influence morphology and locomotor performance of hatchling green turtles (*Chelonia mydas*) incubated in field nests.** *Marine Biology*, 160 (1), 127-137.
- Booth D. T., (2017). **The influence of incubación temperatura on sea turtle hatchling quality.** *Zoología Integrativa* 12, 352–60.
- Bolten, A. B., & Bjorndal, K. A. (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*, 28(3), 407-413.

- Burgess A.E., Booth T.D., Lanyon M.J. (2006). **Swimming performance of hatchling green turtles is affected by incubation temperature.** *Coral Reefs* 25, 341-349.
- Carr A. 2006. **The navigation of the green turtle.** *Scientific American* 212, 78-86.
- Casal A.B., Freire F., Bautista G., Arenciba A., y Oros J. (2009). **Ultrastructural characteristics of blood cells of juvenile Loggerhead sea turtles *Caretta caretta*** *Anat. Histol. Embryol.*, 36:332-335.
- Chassin-Noria, O., Macip-Ríos, R., Dutton, P. H., & Oyama, K. (2017). **Multiple paternity in the East Pacific green turtle (*Chelonia mydas*) from the Pacific coast of México.** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 495, 43-47.
- Cotton S., Small J., y pomiankowski A. (2006) **Sexual selection and condition dependent mate preferences.** *Current Biology*, 16:R755-R765.
- De La Federación, D. O. (1994). **Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-1994) que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección.** 488, 10-16.
- Ensminger, David C., et al. 2018. **Maternal stress alters the phenotype of the mother, her eggs and her offspring in a wild-caught lizard.** *Journal of Animal Ecology*, vol. 87, no 6, p. 1685-1697.
- Fei-Yan, a.; Pi-Peng, l.; He-Xiang, g.; Ming-Bin, (2011). **Hematology, Morphology, and Ultrastructure of Blood Cells of Juvenile Olive Ridley sea Turtles (*Lepidochelys olivacea*).** *Chelonian. Cons. And Biol.* 10(2):250-256.
- Fong C. H., Chen I., y Cheng I. (2010). **Blood profiles from wild populations of green sea turtles in Taiwan.** *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health.* 2(2): 008-010.

- Fisher L. R., Godfrey M. H., Owens D. W. (2014). **Incubation temperature effects on hatchling performance in the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*)**. *PloS one*, 9 (12).
- Fong C. H., I. Chen, I. Cheng. (2010). **Blood profiles from wild populations of green sea turtles in Taiwan**. *Journal of veterinary Medicine and Animal Health*, 2 (2):008-010.
- Gifari T., Elfidasari D., y Sugoro I. (2018). **The effects of contaminant microorganism towards *Chelonia mydas* eggs hatchery results in pangumbaham Green Sea Turtles**. *Biodiversitas* 19(4), 1207-1212
- Grumbles J., Rostal D., Alvarado J., y Owens D. (1990). **Hematology study on the black turtle, *Chelonia agassizii*, at playa Colola, Michoacan, México. Proceedings of the tenth Annual workshop on sea turtle biology and conservation**. NOAA, Technical memorandum NMFS-SEFC-278, Miami. 235-237 pp.
- Harder J. D., y Kirpatrick R.L. (1996). **Physiological methods in wildlife research and habitats**. *The Wildlife Society, U.S.A.* 275-306 pp.
- Hays, G. C., Broderick, A. C., Glen, F., & Godley, B. J. (2002). **Change in body mass associated with long-term fasting in a marine reptile: the case of green turtles (*Chelonia mydas*) at Ascension Island**. *Canadian Journal of Zoology*, 80(7), 1299-1302.
- Hart C. E., Zavala-Norzagaray A. A., Benítez-Luna O., Plata-Rosas, L. J., Abreu-Grobois F. A., & Ley-Quiñonez C. P. (2016). **Effects of incubation technique on proxies for olive ridley sea turtle (*Lepidochelys olivacea*) neonate fitness**. *Amphibia-Reptilia*, 37(4), 417-426.
- Hirth, H. F. (1997). *Synopsis of the biological data on the green turtle *Chelonia mydas* (Linnaeus 1758)*.

- Ischer T., Ireland K. y Booth D. T. (2009). **Locomotion performance of Green turtle hatchlings from the Heron Island Rookery, Great Barrier Reef.** *Marine Biology*, 156 (7), 1339-1409.
- Janzen, Fredric J. 1993. **An experimental analysis of natural selection on body size of hatchling turtles.** *Ecology*, vol. 74, no 2, p. 332-341.
- Labrada M.V., Méndez L.C. Garder S.C., López M., Zenteno T. (2010). **Health indices of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the pacific coast of Baja California Sur, México. I. Blood biochemistry values.** *Chelonian Conserv. Biol.* 9:162-172.
- Lasala J.A., Hughes C. y Wyneken J. (2018). **Female loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) during nesting season.** *Ecology and evolution*, 10:163-174.
- Lara U.M. 2010 **Establecimiento de valores hematológicos y bioquímicos de las tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*) y blanca (*Chelonia mydas*), con y sin parásitos o fibropapiloma, que anidan en Yucatán.** Tesis de doctorado. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. México. 105 p.
- LeBlanc A. M., Rostal D.C., Drake K.K., Williams K. L., Frick M.G., Robinette J. y Bernard-Keinath D. E. (2014) **The influence of maternal size on the Eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles.** *Southeastern Naturalist*. 13 (x).
- Lewbart G. a., Hirschfeld M., Denkinger J., Vasco K., Guevara N., García J., Muñoz J., Lohmann K. (2014). **Blood gases, Biochemistry, and Hematology of Galapagos Green turtles (*Chelonia mydas*).** *PLoS ONE* 9(5): e96487
- Mariño, R.L. (2014) **Efecto maternal sobre los parámetros reproductivos y adecuación de las crías de tortuga negra (*Chelonia agassizii*).** Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- Martínez S. A., Lavín S., Cuenca R. (2011) **Hematología y citología sanguínea en reptiles.** *Clin. Vet. Peq. Anim*, 31 (3): 131-141
- McGehee A. (1979). **Factors affecting the hatchling success of loggerhead sea turtle eggs (*Caretta caretta*).** Thesis University of Florida.
- Miller, J. D., & Limpus, C. J. (1981). **Incubation period and sexual differentiation in the green turtle *Chelonia mydas* L.** In *Proceedings of the Melbourne Herpetological Symposium* (pp. 66-73). Melbourne, Australia: The Zoological Board of Victoria.
- Mitchell T. S., Maciel J. A., Janzen F. J. (2015). **Maternal effects influence phenotypes and survival during early life in an aquatic turtle.** *Functional Ecology*, 29, 268-276.
- Mora, J. M., & Fornelino, M. M. (2000). **Biología, distribución y conservación de la tortuga negra en Costa Rica.** *Reptilia: revista especializada en reptiles, anfibios y artrópodos*, (26), 32-38.
- Montilla Fuenmayor A. J., Hernandez Rangel J. L., Alvarado Arraga. (2006). **Valores hematológicos de la Tortuga verde (*Chelonia mydas*) presente en la Alta Guajira.** *Maracaibo*, 16 (3), 219-226.
- Mickelson L.E., Downie J.R. (2010). **Influence of incubation temperature on morphology and locomotion performance of Leatherback (*Dermochelys coriacea*) hatchlings.** 88(4), 359-368.
- Odzemir B. y Turkozan O. (2006). **Hatching success of original and hatchery nests of the green turtle *Chelonia mydas*, in Northern Cyprus.** *Turkish Journal of zoology*. 30:377-381.
- Rafferty A.R., Tomillo P.S., Spotila J.S., Paladino F.V. y Reina R.D. (2011) **Embryonic death is linked to maternal identity in the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*).** *PLoS One* 6 (6).

- Rafferty A.R., Scheelings T.F., Foley L.J., Johnstones C.P., y Reina R.D. (2014). **Reproductive investment compromises maternal health in three species of freshwater turtle.** *Zoología fisiología y bioquímica*, 87 (3), 411-419.
- Rocha Rodríguez, A. M. (2012). **Determinación de parámetros hematológicos y bioquímicos de hembras anidantes de tortuga negra (*Chelonia agassizii*) en la playa de Colola, Michoacán.** Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Ríos-Huerta, D. R., González-Hernández, M., Hart, C. E., Ramírez-Guillén, A., & Santos, K. E. (2021). **Evaluación de 2 métodos de incubación ex situ para huevos de tortugas marinas considerando temperatura del nido, éxito de eclosión, y calidad de los neonatos.** *Ciencias Marinas*, 47(4), 241-254.
- Rusli M.U., Hock-Chark J., y Bachok Z. (2015). **Effects of Egg Incubation Methods on Locomotor Performances of Green Turtle (*Chelonia mydas*) Hatchlings.** *Sains Malaysiana* 44 (1),49-55.
- Seminoff J.A. Resendiz A. y Nichols W. J. (2003). **Diet of East Pacific green turtles (*Chelonia mydas*) in the central Gulf of California, México.** *J. Herpetol.*, 36:447-453.
- Stevenson R.D., Y Woods W. A. (2006). **Condition indices for conservation: new uses for evolving tools.** *Integrative and Comparative Biology*, 46:1169-1190.
- Owens D. y Ruíz G. (1980). **New methods of obtaining blood and cerebrospinal fluids from marine turtles.** *Herpetol*, 36 17-20.
- Prieto T.D., Hernández J.L., Bravo A.R., Alvarado M., Davila M.O., Quiroz J.S.(2012). **Valores Hematológicos de la población anidadora de Tortuga verde (*Chelonia mydas*) en el refugio de fauna silvestre Isla Aves, Venezuela.** *Redalib*. 22(3):273-280.

- Quiceno, V. H. A., Navarro, R., Real, W., Rincon, M., & Villamizar, M. (2005). **Hematología y química sérica en hembras quelonios (*Trachemys scripta callirostris*) en la ribera del río Lebrija, Puerto Wilches (Santander) Parte I. *Spei Domus*, 1(2).**
- Tezak B., Bentley B., Arena M., Muller S., Snyder T. y Sifuentes R. I. (2020) **Incubation environment and parental identity affect sea turtle development and hatchling phenotype. *Oecologia* 192 (4), 939.**
- Troiano, J.C.; Silva, M.C. (1998). **Valores Hematológicos de Referencia en Tortuga Terrestre Argentina (*Chelonoidis chilensis chilensis*). *Analecta Vet.* 18: 47-51.**
- Usategui- Martín A., Liria- Loza Ana., Miller J. D., Mediina-Suarez M., Jiménez-Bordón S., Pérez- Mellado V. y Montero D. (2019). **Effects of incubation temperature on hatchling performance and phenotype in loggerhead sea turtle *Caretta caretta*. *Endang Species Res*, 38, 45-43.**
- Velásquez F., Prieto A., Prieto E. (2014). **Mortalidad embrionaria en cuatro nidos de tortuga cardón *Dermochelys coriácea* en playa San Luis, sector Los Chivos, Cumaná, Estado Sucre Saber. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 26 (3), 243-248.**
- Wallace, B. P., Sotherland, P. R., Tomillo, P. S., Bouchard, S. S., Reina, R. D., Spotila, J. R., & Paladino, F. V. (2006). **Egg components, egg size, and hatchling size in leatherback turtles. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 145(4), 524-532.**
- Work T.M., Raskin R.E., Balazs G.H., Wittaker S.D. (1998). **Morphologic statistics of fish populations. Bulletin of the blood cells from Hawaiian green turtles. 59 (10): 1252-1257.**
- Zhang, F.Y., Gu, H.X., Chen, H.L., Xia, Z.Y., And Li, P.P. (2009). **Blood cells morphology and hematology of *Eretmochelys imbricata* and *Chelonia mydas*. *Chinese Journal of Zoology* 44(6):113–121.**

Zhang, F.; Hexiang, G.U.; Pipeng, L.I. (2011). A **Review of Chelonian Hematology**.  
*AHR*. 2(1): 12-20.