

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Efecto de la temperatura de incubación, temperatura ambiental y precipitación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos en neonatos de la tortuga parlama (*Lepidochelys olivacea*) en nidos artificiales del tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala

Trabajo de graduación presentado por
Lesly Julissa González López
para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala
2020

Efecto de la temperatura de incubación, temperatura ambiental y precipitación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos en neonatos de la tortuga parlama (*Lepidochelys olivacea*) en nidos artificiales del tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Efecto de la temperatura de incubación, temperatura ambiental y precipitación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos en neonatos de la tortuga parlama (*Lepidochelys olivacea*) en nidos artificiales del tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala

Trabajo de graduación presentado por
Lesly Julissa González López
para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala
2020

Vo. Bo.



M.Sc. Daniel Ariano

Tribunal examinador:



M.Sc. Daniel Ariano



M.Sc. Gabriela Alfaro



Lic. Alejandro Vásquez

Guatemala, 24 de noviembre de 2020

PREFACIO

Esta investigación fue realizada gracias al apoyo de diversas personas. Agradezco a mi asesor Daniel Ariano por la ayuda incondicional a lo largo de todo el trabajo, asesoría y revisión de este estudio. Agradezco el apoyo de la Universidad del Sureste de Noruega por el material de investigación proporcionado. Agradezco a Daniela Duhová, José David Leal, Ieva Petraiuskae y Phi Nithus por la ayuda en la recopilación y documentación de datos. Agradezco al tortugario El Banco por permitir realizar investigación en sus instalaciones. Agradezco a don Juan Hidalgo y su familia por el apoyo y trabajo diario realizado en el tortugario El Banco.

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES	2
A. Cambio climático.....	2
B. Determinación del sexo dependiente de la temperatura	2
C. Tortugas marinas.....	3
D. Efectos de la temperatura de incubación en tortugas marinas	4
E. Tortuga parlama o golfina (<i>Lepidochelys olivacea</i>)	5
F. Amenazas de la tortuga golfina o parlama (<i>L. olivacea</i>)	6
G. Manejo y conservación de tortugas marinas en Guatemala.....	6
III. JUSTIFICACIÓN.....	8
IV. OBJETIVOS.....	9
A. Objetivo general.....	9
B. Objetivos específicos	9
V. HIPÓTESIS	10
VI. MÉTODOS.....	11
A. Sitio de estudio.....	11

B. Ética profesional	12
C. Obtención de datos ambientales	12
D. Obtención de datos morfométricos y temperatura de incubación.....	13
E. Determinación del sexo	14
F. Análisis estadístico	16
VII. RESULTADOS	17
A. Variables climáticas	17
B. Sexo	18
C. Morfometrías de neonatos de <i>L. olivacea</i>	18
D. Modelos lineales mixtos	21
VIII. DISCUSIÓN	26
A. Temperatura de incubación.....	26
B. Temperatura ambiental y precipitación	27
C. Implicaciones para la conservación	28
IX. CONCLUSIONES.....	29
X. RECOMENDACIONES	30
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	31
XII. APÉNDICES	35

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Promedio de la temperatura de incubación y variables climáticas correspondientes al período de incubación de neonatos de <i>L. olivacea</i> evaluados en el tortugario El Banco durante el 2019	17
Cuadro 2. Determinación del sexo de neonatos de <i>L. olivacea</i> en el tortugario El Banco durante el 2019 según la metodología de Michel-Morfin <i>et al.</i> (2001)	18
Cuadro 3. Resumen de modelos lineales mixtos (LMM) candidatos seleccionados para las variables explicativas sobre el peso y caracteres morfométricos de nidos artificiales en neonatos de <i>L. olivacea</i> en nidos artificiales del tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala con los valores de log-likelihood (LL), Criterio de información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), cambio en AICc (Δ AICc) y pesos de AICc (wAICc)	22
Cuadro 4. Resumen de modelos lineales mixtos (LMM) finales mostrando el tamaño del efecto (β), error estándar (SE), intervalo de confianza inferior (LCI) y superior (UCI) del 95% de los efectos de las variables explicativas sobre el peso y caracteres morfométricos en neonatos de <i>L. olivacea</i> de nidos artificiales del tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala. Los parámetros informativos se dan en negrita	23

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Ciclo de vida generalizado de las tortugas marinas (Chaudhari, Prasad y Shanker, 2009).	4
Figura 2. Localización tortugario El Banco	11
Figura 3. Áreas de manejo de <i>L. olivacea</i> del tortugario El Banco	12
Figura 4. Variables morfométricas registradas en neonatos de <i>L. olivacea</i> (Michel-Morfín et al., 2001).	15
Figura 5. Histograma del peso de neonatos evaluados de <i>L. olivacea</i> en el tortugario El Banco durante el 2019	18
Figura 6. Histograma de la longitud del caparazón curvado de neonatos evaluados de <i>L. olivacea</i> en el tortugario El Banco durante el 2019	19
Figura 7. Histograma del ancho del caparazón curvado de neonatos evaluados de <i>L. olivacea</i> en el tortugario El Banco durante el 2019	19
Figura 8. Histograma de la asimetría fluctuante de las aletas delanteras de neonatos evaluados de <i>L. olivacea</i> en el tortugario El Banco durante el 2019	20
Figura 9. Histograma de la asimetría fluctuante de los escudos pleurales de neonatos evaluados de <i>L. olivacea</i> en el tortugario El Banco durante el 2019	20
Figura 10. Análisis de multicolinealidad	21
Figura 11. Efecto de la T° ambiental máxima (°C) sobre la longitud de caparazón curvado (mm) en los neonatos de <i>L. olivacea</i> evaluados en el tortugario El Banco durante el 2019	24
Figura 12. Efecto de la precipitación (mm/período de incubación) sobre el peso de los neonatos de <i>L. olivacea</i> evaluados en el tortugario el Banco durante el 2019	25

Figura 13. Efecto de la precipitación (mm/período de incubación) sobre la asimetría fluctuante de los escudos pleurales de los neonatos de <i>L. olivacea</i> evaluados en el tortugario el Banco durante el 2019.....	25
Figura 14. Hoja de datos de morfometría de tortugas vivas	35

RESUMEN

Los efectos de cambio climático incluyen el aumento de la temperatura en superficie y cambios en los patrones de precipitación. Actualmente, se sabe que la temperatura de incubación de los nidos de tortugas marinas está relacionada con el sexo, dimensiones de caparazón, rendimiento locomotor, fitness de los neonatos y se ve influenciada por las variables climáticas. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue determinar los efectos de la temperatura de incubación, temperatura ambiental y precipitación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos en neonatos de tortuga parlama (*L. olivacea*) en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala. Durante este estudio se monitoreo la temperatura de incubación de los nidos artificiales del tortugario El Banco con data loggers Log-Tag® TRIX-8 y se tomó las morfometrías de los neonatos de los nidos evaluados durante agosto a diciembre del 2019. Se determinó que el 100% de los neonatos evaluados durante el 2019 fueron hembras y mediante el uso de modelos lineales mixtos se determinó que las variables explicativas sobre el peso y caracteres morfométricos son precipitación y temperatura ambiental máxima. Los resultados de este estudio sugieren que la precipitación tiene una relación positiva con respecto al peso y asimetría fluctuante en los escudos pleurales de los neonatos evaluados del tortugario El Banco. Además, se determinó que la temperatura ambiental máxima tiene una relación negativa sobre la longitud de caparazón curvado de los neonatos de *L. olivacea* evaluados en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala durante el 2019.

Palabras clave: tortugas marinas, cambio climático, TDS, tortugarios, *L. olivacea*.

ABSTRACT

The effects of climate change include rising surface temperature, and changes in the precipitation patterns. Nowadays, it is known that the nest incubation temperature of sea turtles is related to sex, shell dimensions, locomotion performance, neonate fitness, and is affected by climate variables. For this reason, the aim of this study was to determine the effects of incubation temperature, environmental temperature, and precipitation on sexual differentiation, weight, and morphometric characters of olive ridley sea turtle hatchlings (*L. olivacea*) at El Banco hatchery, Santa Rosa, Guatemala. During this study, the incubation temperature of the artificial nests of El Banco hatchery was monitored using data loggers Log-Tag® TRIX-8 and the neonates morphometric characters, of nests evaluated, were taken during August to December of 2019. It was determined that 100% of the neonates evaluated during 2019 were females, and using linear mixed models was determined that the explanatory variables on the weight and morphometric characters were precipitation and maximum environmental temperature. The results of the study suggest that precipitation has a positive relationship with weight, and fluctuant asymmetry of the pleural shields of the neonates evaluated on El Banco. It was determined that the maximum environmental temperature has a negative relationship over the curved carapace length of the *L. olivacea* neonates evaluated on El Banco hatchery, Santa Rosa, Guatemala during 2019.

Key words: sea turtles, climate change, TDS, hatchery, *L. olivacea*.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un factor que ha afectado la distribución, comportamiento y reproducción de diversas especies. El aumento de la temperatura media global de superficie y los cambios en patrones de precipitación pone en riesgo a las especies con determinación del sexo dependiente de la temperatura como algunos reptiles, peces, aves y todas las especies de tortugas marinas. El incremento acelerado de la temperatura global debido al cambio climático podría afectar negativamente a las poblaciones de tortugas marinas al alterar la proporción de sexos y disminuir la producción reproductiva. Asimismo, se ha encontrado que la temperatura de incubación altera e influye en factores como: éxito de eclosión, rasgos morfológicos y fisiológicos de las tortugas, tiempo de desarrollo, tamaño corporal, tasa de crecimiento y rendimiento locomotor. Por tal motivo, el objetivo de este estudio es determinar los efectos de la temperatura de incubación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos en neonatos de tortuga parlama (*L. olivacea*) en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala.

II. ANTECEDENTES

A. Cambio climático

Actualmente, algunos de los efectos del cambio climático conocidos incluyen el aumento de temperatura media global en superficie, cambios en los patrones de precipitación, derretimiento de los glaciares y aumento del nivel mar (IPCC, 2014). Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se ha establecido que dependiendo de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, la temperatura media global en superficie podría aumentar entre 0.3 a 4.8 °C a finales del siglo XXI (2081-2100) (IPCC, 2014). Por tal motivo, el cambio climático es reconocido como uno de los principales factores que impulsan la transformación de los ecosistemas y cambios en la distribución de especies a nivel mundial (Varela *et al.*, 2018).

Los cambios en el clima han afectado la fenología, comportamiento, fisiología y reproducción de diversas especies (Montero *et al.*, 2018). Las especies más vulnerables al cambio climático son aquellas que dependen en gran medida de la temperatura ambiental para sus rasgos de vida y aquellas que exhiben determinación del sexo dependiente de la temperatura como algunos peces, reptiles y todas las especies de tortugas marinas (Fisher, Godfrey y Owens, 2014; Montero *et al.*, 2018).

B. Determinación del sexo dependiente de la temperatura

En tortugas marinas, así como en otros peces y otros reptiles, la temperatura de incubación es un elemento crítico durante el desarrollo embrionario ya que influye en la diferenciación sexual (Fisher, Godfrey y Owens, 2014). En general, los animales con determinación del sexo dependiente de la temperatura (Temperature-dependent sex determination TSD), a temperaturas de incubación más altas producen una mayor cantidad hembras y a temperaturas de incubación más bajas producen una mayor cantidad de machos (Fisher, Godfrey y Owens, 2014). El sexo de los neonatos de las tortugas marinas se

determina durante el período termosensible que corresponde al final del primer tercio y al comienzo del segundo tercio del desarrollo embrionario o período de incubación (Mrosovsky y Pieau, 1991). La temperatura de incubación a la que se produce una proporción de sexos macho:hembra equitativa de 1:1 se le conoce como temperatura pivotal (Casthologe *et al.*, 2018).

C. Tortugas marinas

Las tortugas marinas se clasifican en dos familias taxonómicas, Cheloniidae con seis especies y Dermochelyiidae con una sola especie (Bowen y Karl, 2007). Las siete especies de tortugas marinas son: tortuga parlama, olivacea o golfina (*Lepidochelys olivacea*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), tortuga verde (*Chelonia mydas*), tortuga boba (*Caretta caretta*), tortuga de Kemp (*Lepidochelys kempi*), tortuga plana (*Natator depressus*) y tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) (Bowen y Karl, 2007).

En general, las tortugas marinas presentan de forma similar el mismo ciclo de vida con algunas variaciones (Bowen y Karl, 2007). El ciclo de vida consiste en la migración de los individuos hembras y machos de zonas de forrajeo a zonas de apareamiento. Posteriormente, los machos regresan a las zonas de forrajeo y las hembras viajan a zonas de anidamiento. Después del período reproductivo, las hembras regresan a las zonas de forrajeo y se mantienen en ellas hasta el siguiente período reproductivo (Figura 1) (Chaudhari, Prasad y Shanker, 2009).

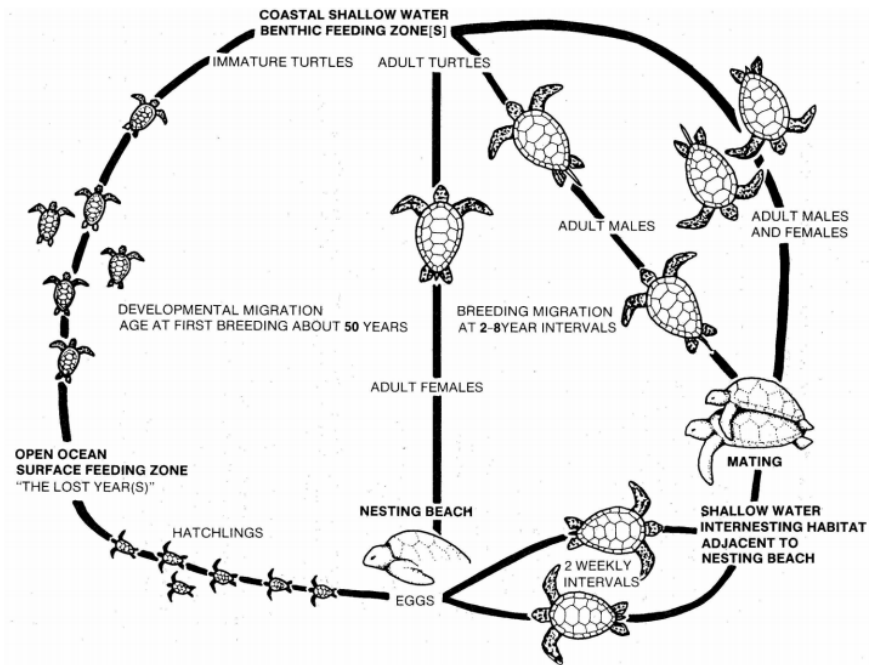


Figura 1. Ciclo de vida generalizado de las tortugas marinas (Chaudhari, Prasad y Shanker, 2009).

D. Efectos de la temperatura de incubación en tortugas marinas

La temperatura de incubación afecta el desarrollo embrionario y el crecimiento de animales ovíparos. Por ejemplo, un estudio encontró que los huevos de la tortuga *Elusor macrurus* incubados a 32°C tuvieron un menor éxito de eclosión en comparación con los huevos incubados a 26 y 29°C (Micheli-Campbell *et al.*, 2011). Algunos estudios han demostrado que variar la temperatura de incubación en algunos grados centígrados altera e influye en varios factores tales como: rasgos morfológicos y fisiológicos de las tortugas, tiempo de desarrollo, tamaño corporal, tasa de crecimiento y rendimiento locomotor (Fisher, Godfrey y Owens, 2014; Micheli-Campbell *et al.*, 2011). En otros estudios se ha encontrado que los neonatos de las tortugas boba (*C. caretta*), verde (*C. mydas*) y parlama (*L. olivacea*) incubados a temperaturas más cálidas tienden a ser más pequeños en dimensiones de caparazón (Fisher, Godfrey y Owens, 2014).

En particular, las tortugas y algunos reptiles han sido utilizados como modelos para el estudio de la inestabilidad del desarrollo embrionario porque las anomalías o asimetrías son detectables en forma de malformaciones, adiciones o reducciones en el número de escudos o escamas del organismo (Velo, Becker y Cordero, 2011). Los estudios han establecido que la aparición de anomalías en el caparazón está relacionada a condiciones de incubación como la temperatura y humedad, contaminación ambiental y bioacumulación de metales (Córtez, Romero y Girondot, 2018; Velo, Becker y Cordero, 2011).

E. Tortuga parlama o golfina (*Lepidochelys olivacea*)

La tortuga parlama, olivacea o golfina (*L. olivacea* (Eschscholtz, 1829)) es la especie más abundante de todas las tortugas marinas y actualmente se encuentra catalogada en estado vulnerable según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Hart *et al.*, 2014). La misma se caracteriza ya que posee una longitud recta de caparazón (SCL Straight Carapace Length) máxima de 73.5cm, color de caparazón verde o gris olivo en adultos, seis a nueve pares de escudos costales y 12 a 14 escudos marginales (Ernst y Lovich, 2009). Por otro lado, la dieta de esta especie es omnívora u oportunista. Los principales alimentos que ingiere son: gasterópodos, bivalvos, cnidarios, ctenóforos, invertebrados bentónicos y algunas algas (Varo *et al.* 2015).

En cuanto a reproducción, la tortuga parlama se caracteriza por un comportamiento de anidación variado, con algunas hembras anidando solitariamente y otras anidando de forma masiva conocida como arribadas (Bézy, Valverde y Plante, 2015). Algunos autores han estimado que la edad media de la madurez sexual de esta especie es alrededor de los 13 años. Generalmente, *L. olivacea* en cada anidada deposita entre 87 a 120 huevos y el período de incubación suele durar entre 45 y 65 días (Varo *et al.* 2015). La temperatura pivotal de la tortuga parlama *L. olivacea* en Costa Rica se determinó que oscila entre 30 a 31°C (Wibbels, Rostal y Byles, 1998). Asimismo, en otro estudio se determinó que la temperatura pivotal de *L. olivacea* en Brasil, es de 30.7°C con límites térmicos estimados de viabilidad embrionaria que oscilan entre 26°C y 34°C (Casthologe *et al.*, 2018).

F. Amenazas de la tortuga golfina o parlama (*L. olivacea*)

La tortuga *L. olivacea* ocupa varios hábitats durante su ciclo de vida, dicha distribución contribuye a que aumente la proporción de amenazas (Varo *et al.*, 2015). Las principales amenazas de las tortugas marinas son debido a impactos antropogénicos tales como: sobreexplotación de huevos en las playas de anidación para consumo y comercio, captura incidental, captura directa de individuos, degradación, transformación y destrucción de las condiciones naturales en las playas de anidación, entre otras (Campbell, 2007). En Guatemala, una de las amenazas que afecta a las tortugas marinas es la expansión de la agroindustria de caña de azúcar y palma africana a ecosistemas costeros (CONAP, 2015). Por tal motivo, se cree que las amenazas antropogénicas combinadas con los impactos del cambio climático podrían tener un gran impacto negativo en las poblaciones de tortugas marinas (Fisher, Godfrey y Owens, 2014).

G. Manejo y conservación de tortugas marinas en Guatemala

En Guatemala, se inició los esfuerzos de conservación de tortugas marinas a partir de los años ochenta, con el establecimiento de los primeros tortugarios y un sistema informal de medidas de conservación. El sistema de conservación consistía en el aprovechamiento de huevos de tortugas marinas siempre que un porcentaje de cada nido se entregara a un tortugario con el fin de incubarlo y posteriormente liberar las crías al mar (CONAP, 2015). La Dirección General de Bosques y Vida Silvestre (DIGEBOS) del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) estableció en 1971 el primer tortugario en la aldea Hawaii, Santa Rosa, Guatemala (Muccio, 2015). Un tortugario se define como un área de playa cerrada y protegida contra predadores en las cuales los huevos son incubados y posteriormente los neonatos son liberados al mar (CONAP, 2015). A través de los años, la cantidad de tortugarios activos en Guatemala ha variado entre 16 a 30. En el 2013, la cantidad de tortugarios activos en el país fue de 29 sitios con 10 o más años de experiencia (CONAP, 2015).

El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) en el año 2002 elaboró la Estrategia Nacional de Manejo y Conservación de Tortugas Marinas (ENTM). Asimismo, el CONAP en el 2012 realizó un Análisis Situacional de los esfuerzos de conservación de tortugas marinas durante el período 2002 a 2011 (CONAP, 2015). Según el Análisis Situacional de los esfuerzos de conservación de tortugas marinas se determinó que Guatemala posee 255 km de litoral de la costa Pacífica y 148 km de costa en el Caribe, en los cuales se ha reportado que anidan cinco de las siete especies de tortugas marinas (CONAP, 2015). Las especies *E. imbricata*, *C. caretta*, *D. coriacea* y *C. mydas* anidan en la costa del Caribe. Las especies *L. olivacea*, *D. coriacea* y *C. mydas agassizii* anidan en la costa del Pacífico, siendo la especie predominante en la costa del Pacífico la tortuga parlama (*L. olivacea*) (CONAP, 2015). Sin embargo, el Análisis Situacional de los esfuerzos de conservación de tortugas marinas estableció que los tortugarios de Guatemala carecen de un manejo adecuado, ya que solo algunos sitios registran sus datos y las instalaciones no son utilizadas como una herramienta de educación ambiental (CONAP, 2015).

Por otro lado, durante el 2018 se planteó una estrategia de conservación mediante la resolución 03-17-2017: normativo para el manejo y conservación de tortugas marinas. El mismo normativo tiene como objetivo regular el uso, manejo y conservación de tortugas marinas y promover los mecanismos necesarios de carácter institucional para promover playas naturales de anidación de tortugas marinas (CONAP, 2018).

En general, los tortugarios principalmente se mantienen debido a una base comunitaria, ya que la mayoría de los huevos incubados son productos de la entrega voluntaria por parte de colectores locales (CONAP, 2015). Por tal motivo, se cree que la principal estrategia de conservación de tortugas marinas se lleva a cabo mediante la incubación de un porcentaje del nido en tortugarios.

III. JUSTIFICACIÓN

El proceso de incubación de tortugas marinas está estrechamente relacionado a las condiciones térmicas del nido debido al efecto que la temperatura tiene en el éxito de eclosión, determinación del sexo, morfología y rendimiento de la locomoción en las crías (Wood, Booth y Limpus, 2014). El incremento de temperaturas debido al cambio climático podría afectar negativamente a los nidos de tortugas marinas al alterar la proporción de sexos y disminuir la producción reproductiva (Hill *et al.*, 2015). Un estudio encontró las temperaturas altas en los nidos de tortugas marinas se asocian con crías de menor tamaño (Wood, Booth y Limpus, 2014). Asimismo, se ha observado que nidos con condiciones climáticas más cálidas producen una mayor proporción de crías hembras a comparación de crías machos (Hill *et al.*, 2015).

En Guatemala anidan cinco especies de tortugas marinas y se ha trabajado en el establecimiento de tortugarios cuyo objetivo principal es contribuir a la conservación de las especies, sin embargo, existen vacíos de información sobre los efectos de la temperatura de incubación en neonatos de las tortugas marinas y planes de manejo acordes a las necesidades de las cinco especies (Montes, 2004). Por tal motivo, es necesario determinar los impactos del cambio climático sobre las tortugas marinas y los efectos de la temperatura de incubación sobre el fitness de neonatos en Guatemala. Asimismo, es necesario y prioritario el desarrollo de prácticas de manejo adaptativo capaces de minimizar los efectos de la temperatura en los nidos artificiales y la optimización del manejo de tortugarios puesto que la eclosión de *L. olivacea* en nidos silvestres es prácticamente inexistente en Guatemala.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Determinar los efectos de la temperatura de incubación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos en neonatos de tortuga parlama (*L. olivacea*) en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala.

B. Objetivos específicos

- Determinar la proporción de sexos en neonatos de *L. olivacea* mediante el análisis morfométrico de tortugas marinas en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala.
- Establecer el efecto de la temperatura de incubación sobre el tamaño y peso de los neonatos de las tortugas marinas en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala.
- Establecer el efecto de la temperatura de incubación sobre caracteres morfométricos en neonatos de las tortugas marinas en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala.

V. HIPÓTESIS

No existe efecto de temperatura de incubación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos en neonatos de tortugas marinas en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala, durante el año 2019.

Sí existe efecto de temperatura de incubación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos en neonatos de tortugas marinas en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala, durante el año 2019.

VI. MÉTODOS

A. Sitio de estudio

Este estudio se llevó a cabo durante los meses de agosto a diciembre del 2019 en el tortugario El Banco. Este tortugario se encuentra ubicado en el municipio Taxisco, Santa Rosa, Guatemala en las coordenadas N13°54'9.26" y W90°31'31.15" (Figura 2). El tortugario El Banco posee 4 áreas de manejo para la siembra y protección de los huevos de tortuga *L. olivacea* construidas a base de bloques de concreto y malla de alambre utilizando troncos de madera como columnas de construcción (Figura 3). Cada área de manejo del tortugario posee un tamaño de 30 m de largo x 15 de ancho x 3 m de alto y está cubierto de hojas de palma y sarán para la proporción de sombra (Figura 3).



Figura 2. Localización tortugario El Banco



Figura 3. Áreas de manejo de *L. olivacea* del tortugario El Banco

B. Ética profesional

Este estudio se realizó con base a los permisos de investigación con que cuenta el tortugario El Banco a nombre de FUNDASELVA. La revisión ética del estudio la realizó la Universidad del Sureste de Noruega (USN) puesto que este es un trabajo de apoyo a una investigación de maestrantes de dicha universidad. La revisión ética fue parte del convenio entre la USN y el tortugario El Banco.

C. Obtención de datos ambientales

Los datos de los factores ambientales de precipitación y temperatura ambiental se obtuvieron de la Estación La Candelaria del Instituto Privado de Cambio Climático (ICC) (<https://redmet.icc.org.gt/>) situada a 5 km del tortugario El Banco. Los datos de los factores ambientales corresponden a los periodos de incubación de los nidos artificiales analizados durante el estudio.

D. Obtención de datos morfométricos y temperatura de incubación

Las bases de datos de los caracteres morfométricos de los neonatos de *L. olivacea* de nidos artificiales y la temperatura de incubación provienen y fueron proporcionadas gracias a una investigación anterior por maestrantes de la Universidad Sureste de Noruega (USN) y el tortugario El Banco. Dicho estudio se llevó a cabo en un área de manejo del tortugario el Banco durante la temporada de anidación del 2019 de agosto a diciembre. El estudio dividió la temporada de anidación en dos series: la primera serie fue de agosto a octubre y la segunda serie de octubre a diciembre del 2019.

La investigación se realizó en un área de manejo del tortugario El Banco. Las mediciones de las bases de datos proporcionadas se obtuvieron de la siguiente forma: la temperatura se midió en 7 posiciones del nido artificial utilizando data loggers de temperatura Log-Tag® TRIX-8 (rango de temperatura -40 a +85 °C, precisión ± 0.5 °C para -20 °C ~ +40 °C) y los datos obtenidos fueron exportados a una computadora en Microsoft Excel mediante el software LogTag® Analyzer para Windows.

Los huevos de *L. olivacea* se obtuvieron mediante las donaciones y compra a recolectores de huevos locales (parlameros) del sitio de estudio que son entregados al tortugario El Banco. Posteriormente, dentro del área de manejo para cada nido artificial se cavó un agujero de aproximadamente 30 cm de diámetro y 50 cm de profundidad. En cada serie de incubación se trabajó y evaluó 13 nidos artificiales. En la primera serie de incubación en cada nido artificial se colocó un promedio de 66 huevos y en la segunda serie un promedio de 73 huevos.

Durante la investigación de la Universidad del Sureste de Noruega y el tortugario El Banco las variables morfométricas fueron evaluadas después de 45 a 65 días de la siembra de los nidos (período de incubación). Se registró la morfometría de los neonatos de tortuga siguiendo la metodología de Michel-Morfín *et al.* (2001). Dicha metodología consiste en obtención de diversas variables como el peso, longitud de caparazón curvado, longitud de caparazón recto, tamaño de cabeza, longitud de plastrón, longitud de aletas de

cada cría de tortuga, entre otros. Dichos datos se obtuvieron mediante un vernier digital, cinta métrica y una balanza digital.

E. Determinación del sexo

La determinación del sexo de los neonatos de *L. olivacea* se realizó mediante análisis morfométricos siguiendo la metodología de Michel-Morfín *et al.* (2001). Dicho análisis morfométrico para la determinación del sexo en *L. olivacea* es considerado un método no letal ya que únicamente utiliza 9 variables morfométricas y tiene una estimación correcta del sexo en un 95%. Las variables morfométricas utilizadas son: longitud del caparazón recto (carapace length curved CLC), ancho de caparazón recto (carapace width straight CWS), ancho de caparazón curvado (carapace width curved CWC), longitud de la cabeza (head length HELEN), longitud de la aleta delantera izquierda recta (front left flipper length straight FLFL), longitud del plastrón recto (plastron length straight PLS), peso húmedo (wet weight WEIGHT), punto B a C en el caparazón (point B to C on the carapace BC) y punto D a F en el plastrón (point D to F on the plastron PDF) (Figura 4) (Michel-Morfín *et al.*, 2001). Todas las medidas morfométricas se toman en cm y el peso en g. La función discriminante establecida en la metodología de Michel-Morfín *et al.* 2001 es: $Fd = ((1.63*CLC) + (-5.9*CWS) + (-4.95*CWC) + (-3.54*HELEN) + (2.75*FLFL) + (3.56*PLS) + (0.29*WEIGHT) + (3.20*BC) + (-3.94*PDF)) + 32.99$. El resultado de la función discriminante con un valor positivo corresponde a una hembra y con un valor negativo corresponde a un macho.

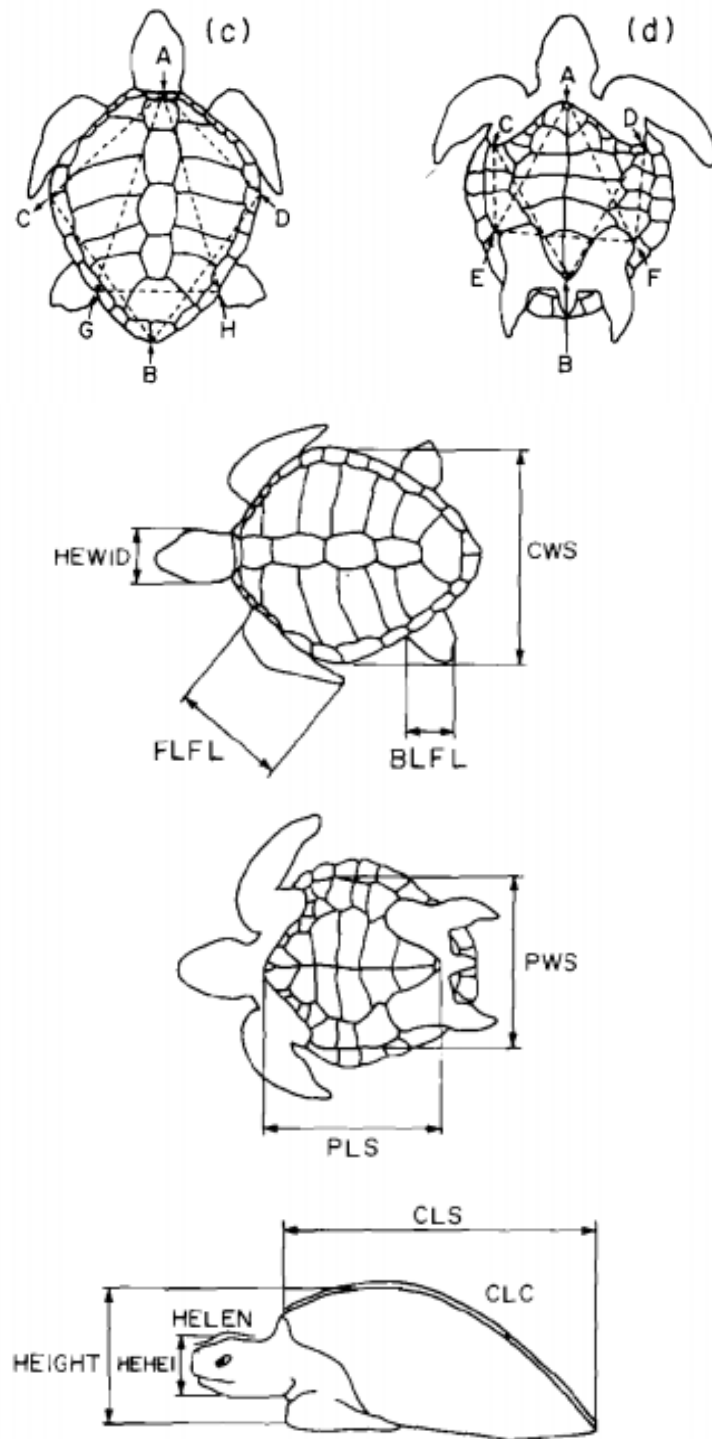


Figura 4. Variables morfométricas registradas en neonatos de *L. olivacea* (Michel-Morfín *et al.*, 2001).

F. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el uso de modelos lineales mixtos (LMM por sus siglas en inglés) en el software R (Versión 1.1.453- 2008-2018 RStudio, Inc.) para determinar los efectos de la temperatura de incubación, temperatura ambiental y precipitación sobre los neonatos de tortugas marinas en nidos artificiales del tortugario El Banco. Se tomó como variables respuesta las morfometrías y el sexo de los neonatos, como efecto fijo la temperatura de incubación, temperatura ambiental y precipitación y como efecto aleatorio el número de nido artificial evaluado.

VII. RESULTADOS

Según la metodología de Michel-Morfil *et al.* (2001) se determinó que el 100% de los neonatos evaluados del tortugario El Banco durante el 2019 fueron hembras (Cuadro 2). Asimismo, se creó una lista de trece modelos candidatos para representar los efectos de la temperatura de incubación, temperatura ambiental y precipitación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos de los neonatos de los nidos artificiales en el tortugario El Banco mediante el uso de modelos lineares mixtos (LMM) (Cuadro 3). Según el criterio de Akaike corregido para un tamaño de muestra pequeño (AICc) (Burnham y Anderson, 2002), se determinó que la precipitación y la temperatura ambiental máxima tienen un efecto sobre el peso, longitud de caparazón curvado y asimetría fluctuante en los escudos pleurales de los neonatos de *L. olivacea* (Cuadro 4).

A. Variables climáticas

Cuadro 1. Promedio de la temperatura de incubación y variables climáticas correspondientes al período de incubación de neonatos de *L. olivacea* evaluados en el tortugario El Banco durante el 2019

Variable	Ronda	
	(1) agosto - octubre	(2) octubre – diciembre
Temperatura de incubación	30.90 ± 0.26 °C	28.48 ± 0.99 °C
Temperatura de incubación período termosensible	30.30 ± 0.31 °C	28.54 ± 1.05 °C
Temperatura ambiental máxima	31.57 ± 0.061 °C	31.42 ± 0.03 °C
Precipitación	4.63 ± 0.70 mm/período de incubación	3.02 ± 0.08 mm/período de incubación

La temperatura de incubación, temperatura ambiental y precipitación fue mayor en los meses de agosto a octubre.

B. Sexo

Cuadro 2. Determinación del sexo de neonatos de *L. olivacea* en el tortugario El Banco durante el 2019 según la metodología de Michel-Morfin *et al.* (2001)

Ronda	No. de individuos	Sexo
1	727	Hembra
2	677	Hembra

Se determinó que el 100% de los individuos evaluados de los nidos artificiales del tortugario El Banco durante el 2019 fueron hembras.

C. Morfometrías de neonatos de *L. olivacea*

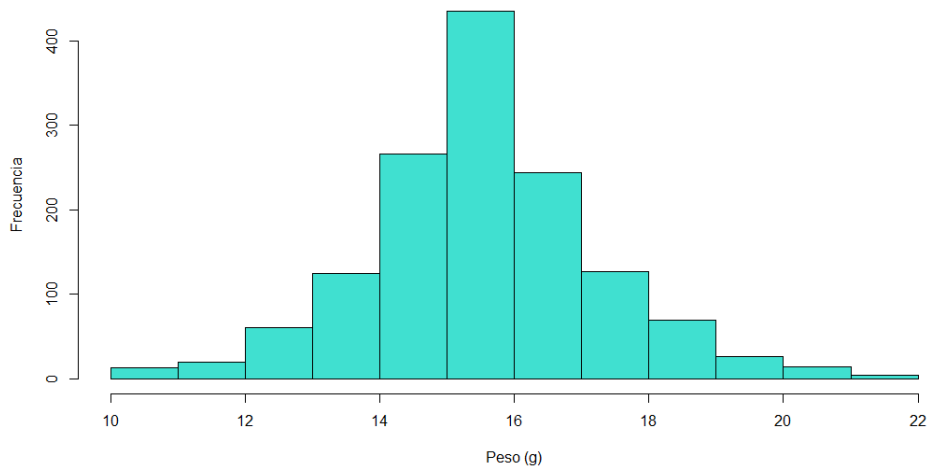


Figura 5. Histograma del peso de neonatos evaluados de *L. olivacea* en el tortugario El Banco durante el 2019

Los neonatos de *L. olivacea* de los nidos artificiales evaluados del tortugario El Banco durante el 2019 tuvieron un peso entre 10 a 22 g.

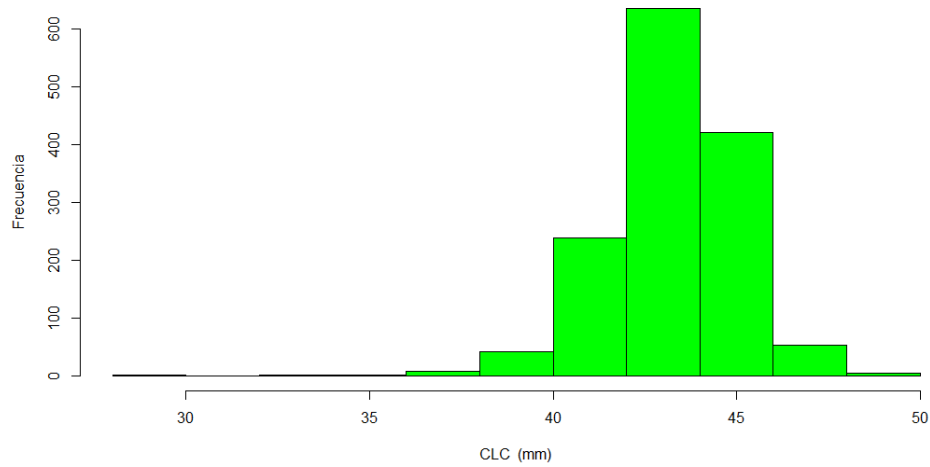


Figura 6. Histograma de la longitud del caparazón curvado de neonatos evaluados de *L. olivacea* en el tortugario El Banco durante el 2019

Los neonatos de *L. olivacea* de los nidos artificiales evaluados del tortugario El Banco durante el 2019 tuvieron una longitud del caparazón curvado entre 30 a 50 mm.

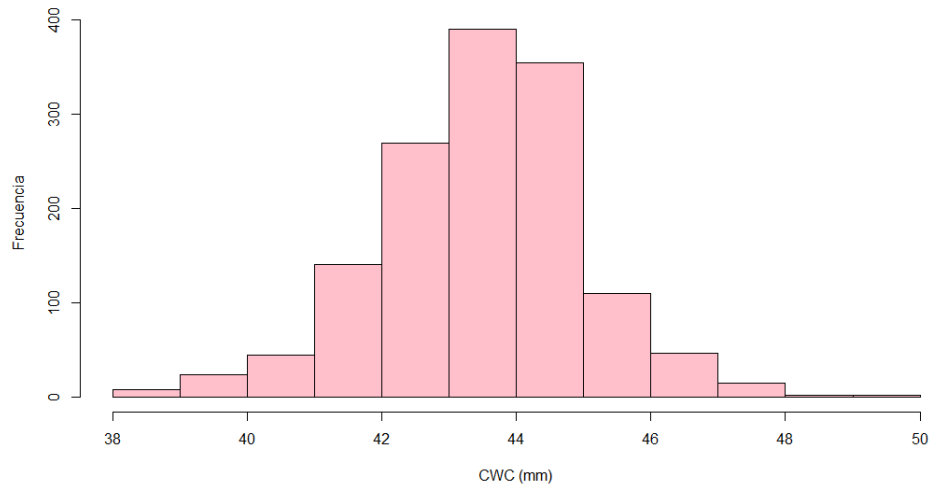


Figura 7. Histograma del ancho del caparazón curvado de neonatos evaluados de *L. olivacea* en el tortugario El Banco durante el 2019

Los neonatos de *L. olivacea* de los nidos artificiales evaluados del tortugario El Banco durante el 2019 tuvieron un ancho del caparazón curvado de 38 a 50 mm.

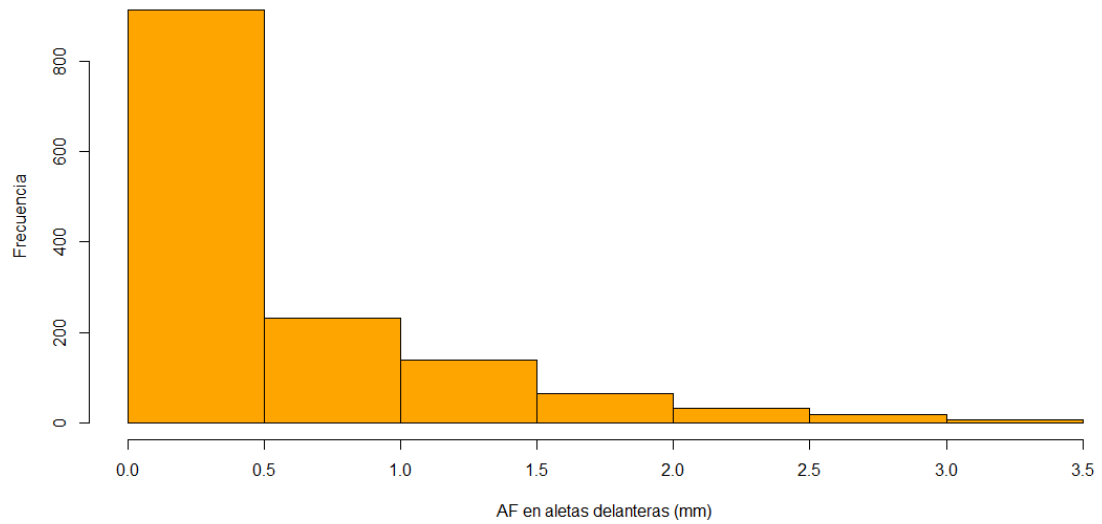


Figura 8. Histograma de la asimetría fluctuante de las aletas delanteras de neonatos evaluados de *L. olivacea* en el tortugario El Banco durante el 2019

Los neonatos de *L. olivacea* de los nidos artificiales evaluados del tortugario El Banco durante el 2019 presentaron una asimetría fluctuante de aletas delanteras entre 0 a 3.5 mm.

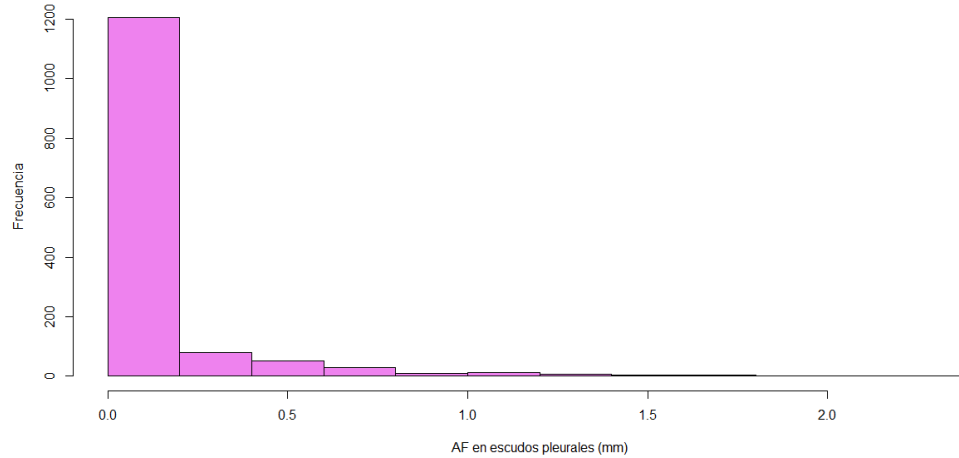


Figura 9. Histograma de la asimetría fluctuante de los escudos pleurales de neonatos evaluados de *L. olivacea* en el tortugario El Banco durante el 2019

Los neonatos de *L. olivacea* de los nidos artificiales evaluados del tortugario El Banco durante el 2019 presentaron una asimetría fluctuante de escudos pleurales entre 0 a 2 mm.

D. Modelos lineales mixtos

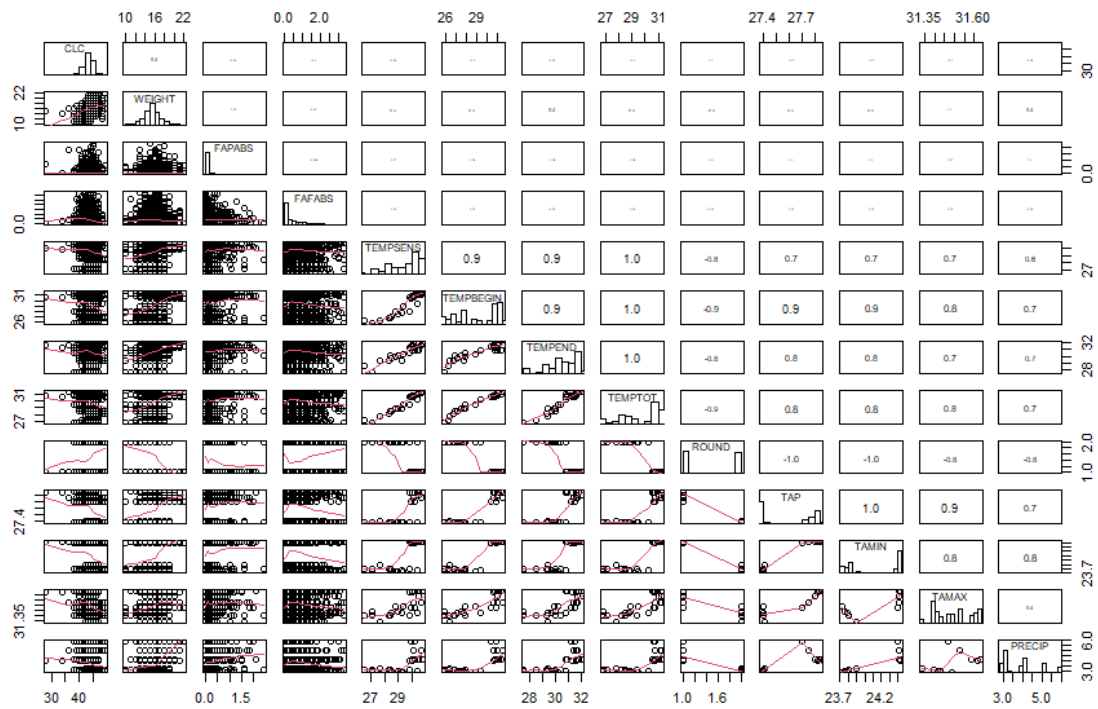


Figura 10. Análisis de multicolinealidad

Únicamente las variables temperatura de incubación del período termosensible (TEMPESENS) con precipitación (PRECIP) y temperatura ambiental máxima (TAMAX) con precipitación (PRECIP) presentaron un valor de dispersión menor a 0.7.

Cuadro 3. Resumen de modelos lineales mixtos (LMM) candidatos seleccionados para las variables explicativas sobre el peso y caracteres morfométricos de nidos artificiales en neonatos de *L. olivacea* en nidos artificiales del tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala con los valores de log-likelihood (LL), Criterio de información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), cambio en AICc (Δ AICc) y pesos de AICc (wAICc)

Modelos candidatos	LL	AICc	Δ AICc	wAICc
<i>Peso</i>				
Peso ~ Precipitación	-2490.358	4988.7	0.00	0.560
Peso ~ T° de incubación período termosensible + Precipitación	-2490.259	4990.6	1.82	0.226
Peso ~ T° ambiental máxima + Precipitación	-2490.313	4990.7	1.92	0.214
<i>Longitud del caparazón curvado (CLC)</i>				
CLC ~ T° ambiental máxima	-2655.462	5319.0	0.00	0.527
CLC ~ T° ambiental promedio	-2656.101	5320.2	1.28	0.278
CLC ~ T° ambiental máxima + Precipitación	-2655.450	5320.9	1.99	0.195
<i>Asimetría fluctuante en aletas delanteras (AFA)</i>				
AFA ~ T° ambiental máxima	-1387.707	2783.4	0.00	0.132
AFA ~ T° ambiental máxima + Precipitación	-1386.881	2783.8	0.36	0.110
AFA ~ Precipitación	-1387.911	2783.9	0.41	0.108
<i>Asimetría fluctuante en escudos pleurales (AFEP)</i>				
AFEP ~ Precipitación	-109.920	227.9	0.00	0.403
AFEP ~ T° ambiental mínima	-110.466	229.0	1.09	0.233
AFEP ~ T° ambiental máxima + Precipitación	-109.579	229.2	1.33	0.207
AFEP ~ T° de incubación período termosensible + Precipitación	-109.853	229.7	1.88	0.157

La selección del modelo se basó en el Criterio de información de Akaike corregido para un tamaño de muestra pequeño (AICc) (Burnham y Anderson 2002), utilizando el paquete R MuMIn y $\Delta AICc < 2$.

Cuadro 4. Resumen de modelos lineales mixtos (LMM) finales mostrando el tamaño del efecto (β), error estándar (SE), intervalo de confianza inferior (LCI) y superior (UCI) del 95% de los efectos de las variables explicativas sobre el peso y caracteres morfométricos en neonatos de *L. olivacea* de nidos artificiales del tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala. Los parámetros informativos se dan en **negrita**

Variables	Tamaño de efecto (β)	SE	LCI	UCI	p
<i>(a) Peso</i>					
Intercepto	11.27493	4.51436	2.6344673	19.916755	0.01977
T° incubación período termosensible	0.07121	0.16957	-0.2534073	0.395761	0.67830
Precipitación	0.69587	0.22561	0.2639449	1.127893	0.00525
<i>(b) Longitud del caparazón curvado</i>					
Intercepto	174.86656	54.05270	71.3669963	278.3098972	0.00361
T° ambiental máxima	-4.16557	1.72584	-7.4683960	-0.8609435	0.02402
Precipitación	0.02626	0.17452	-0.3078745	0.3603471	0.88172
<i>(c) Asimetría fluctuante en aletas delanteras (AFA)</i>					
Intercepto	-19.92498	14.91736	-48.4733007	8.61727358	0.195
T° ambiental máxima	0.65643	0.47625	-0.2548107	1.56786529	0.181
Precipitación	-0.05881	0.04784	-0.1504122	0.03274437	0.232
<i>(d) Asimetría fluctuante en escudos pleurales (AFEP)</i>					
Intercepto	0.043572	0.277829	-0.48902730	0.57408155	0.87666
T° incubación período termosensible	-0.003277	0.010366	-0.02306385	0.01658575	0.75465
Precipitación	0.039986	0.012990	0.01517095	0.06482724	0.00588

Únicamente la precipitación y la temperatura ambiental máxima fueron variables informativas sobre el peso, longitud de caparazón curvado y asimetría fluctuante en escudos pleurales de los neonatos evaluados.

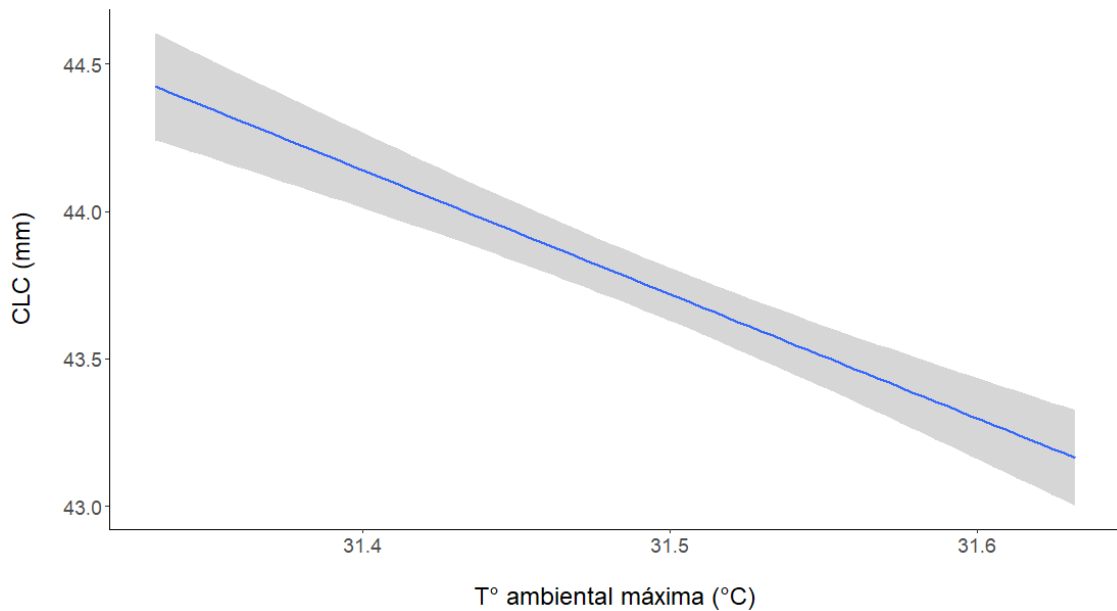


Figura 11. Efecto de la T° ambiental máxima (°C) sobre la longitud de caparazón curvado (mm) en los neonatos de *L. olivacea* evaluados en el tortugario El Banco durante el 2019

La temperatura ambiental máxima tuvo una relación negativa sobre la longitud de caparazón curvado en los neonatos de *L. olivacea* evaluados en el tortugario El Banco durante el 2019.

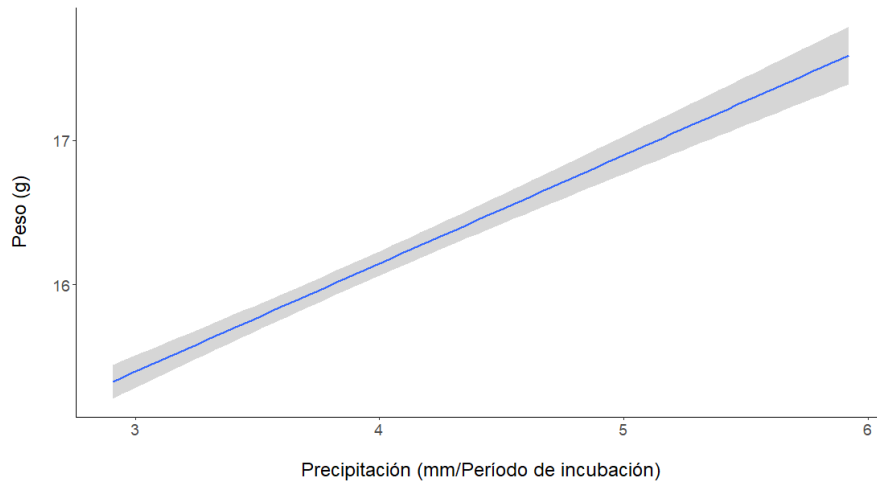


Figura 12. Efecto de la precipitación (mm/periodo de incubación) sobre el peso de los neonatos de *L. olivacea* evaluados en el tortugario el Banco durante el 2019

La precipitación por periodo de incubación tuvo una relación positiva sobre el peso de los neonatos de *L. olivacea* evaluados en el tortugario El Banco durante el 2019.

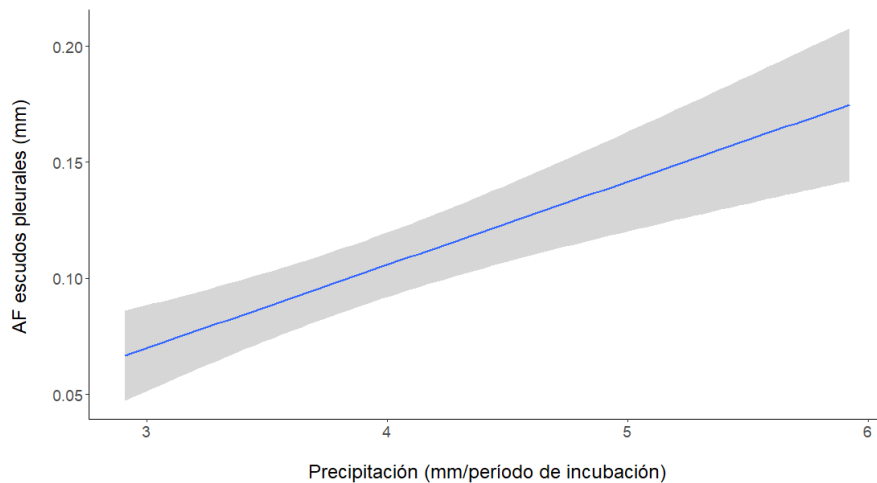


Figura 13. Efecto de la precipitación (mm/periodo de incubación) sobre la asimetría fluctuante de los escudos pleurales de los neonatos de *L. olivacea* evaluados en el tortugario el Banco durante el 2019

La precipitación por periodo de incubación tuvo una relación positiva sobre la asimetría fluctuante de los escudos pleurales de los neonatos de *L. olivacea* evaluados en el tortugario El Banco durante el 2019.

VIII. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de la temperatura de incubación, temperatura ambiental y precipitación sobre el sexo, peso y caracteres morfométricos en neonatos de tortuga parlama (*L. olivacea*) en el tortugario El Banco, Santa Rosa, Guatemala. Actualmente, se sabe que la temperatura de incubación de tortugas marinas afecta la proporción de sexo, la duración del período de incubación, el éxito de eclosión, entre otros rasgos de supervivencia (Tomillo *et al.*, 2009; Matsuzawa *et al.*, 2002). Por tal motivo, es necesario monitorear y evaluar cómo los cambios en la temperatura de incubación debido al cambio climático están influyendo en el sexo, éxito de eclosión y fitness de dichos organismos.

A. Temperatura de incubación

La determinación del sexo dependiente de temperatura y el aumento de temperaturas en superficie debido al cambio climático afecta negativamente a todas las especies de tortugas marinas (Fisher, Godfrey y Owens, 2014). En algunos estudios controlados se ha establecido que la temperatura pivotal de *L. olivacea* en Costa Rica oscila entre 30 a 31°C (Wibbels, Rostal y Byles, 1998) y en Brasil se determinó que era de 30.7 °C (Casthologe *et al.*, 2018). En este estudio según la metodología de Michel-Morfin *et al.* (2001) se encontró que el 100% de los neonatos evaluados durante el 2019 fueron hembras (Cuadro 2) a pesar de que las temperaturas de incubación estuvieron dentro del rango o por debajo de la temperatura pivotal (Cuadro 1). Este resultado podría sugerir que la temperatura pivotal de *L. olivacea* en Guatemala es menor a la establecida en Costa Rica y Brasil, por lo que es importante evaluar e implementar nuevas estrategias para disminuir la temperatura de incubación en los nidos artificiales del tortugario.

B. Temperatura ambiental y precipitación

Algunos estudios han sugerido que los huevos de tortugas marinas incubados a temperaturas más cálidas tienden a tener un menor rendimiento locomotor y ser más pequeños en dimensiones de caparazón (Fisher, Godfrey y Owens, 2014). La temperatura de incubación de los nidos está influenciada por las características de la playa tales como el albedo de la arena y cobertura vegetal (Hays *et al.*, 2001; Spotilla *et al.*, 1987), pero se ve afectada principalmente por las condiciones climáticas locales. Los resultados de este estudio coinciden con la literatura ya que a temperaturas ambientales más cálidas los neonatos de *L. olivacea* evaluados fueron más pequeños en longitud de caparazón curvado (Cuadro 4, Figura 11). Según Deeming y Ferguson (1991), los huevos incubados a temperaturas más cálidas tienen un período de incubación más corto como resultado de una mayor tasa de desarrollo embrionario. Sin embargo, un período de incubación más corto puede provocar que menos material de yema se convierta en tejido y en consecuencia obtener un tamaño corporal menor (Booth, 2000).

La precipitación es otro factor que interactúa con la temperatura de incubación de tortugas marinas ya que contribuye a reducir la temperatura de los nidos y aumentar la producción de neonatos machos (Houghton *et al.*, 2007). En este estudio se encontró que la precipitación tiene un efecto positivo en el peso de los neonatos de *L. olivacea* evaluados (Cuadro 4), ya que a mayor precipitación (mm) por período de incubación, los neonatos presentaron un peso más alto (Cuadro 4, Figura 12). El hecho de que los neonatos tengan un peso mayor podría ayudar a mejorar la aptitud física, huir de depredadores y tener mejor rendimiento de natación (Booth, 2004).

Por otro lado, se encontró que la precipitación también tiene un efecto positivo en la asimetría fluctuante de los escudos pleurales de los neonatos evaluados (Cuadro 4, Figura 13). La aparición de anomalías en el caparazón de tortugas está relacionada a las condiciones de incubación como temperatura, humedad, bioacumulación de metales, factores genéticos, entre otros (Córtez, Romero y Girondot, 2018; Velo, Becker y Cordero, 2011). El efecto de la precipitación sobre la asimetría fluctuante de escudos pleurales en

los neonatos de este estudio podría explicarse ya que en algunos estudios se ha establecido que el aumento de precipitaciones puede aumentar el contenido de humedad en la arena y afectar negativamente las condiciones óptimas necesarias para el desarrollo embrionario (Rivas *et al.*, 2019). Además, la presencia de precipitación prolongada de menos de una semana disminuye el éxito de eclosión de neonatos de tortugas marinas (Rivas *et al.*, 2018). Por lo tanto, es necesario establecer estrategias adecuadas para el manejo y control de los tortugarios ante las variaciones en los patrones de precipitación.

C. Implicaciones para la conservación

La influencia de las condiciones ambientales en la temperatura de incubación de nidos de tortugas marinas y el desarrollo embrionario está sujeta a las fluctuaciones de los efectos del cambio climático. El aumento de la temperatura de la arena y los cambios en los patrones de precipitación hacen necesario el desarrollo de estrategias e investigación que permitan la adaptación y optimización del manejo en tortugarios ante los efectos del cambio climático en el futuro (Micheli-Campbell *et al.*, 2011). Los resultados de este estudio sugieren que la precipitación tiene un efecto positivo sobre el peso de los neonatos evaluados y que a temperaturas ambientales más cálidas disminuyen las longitudes de caparazón curvado de los neonatos evaluados. Por lo tanto, algunas estrategias planteadas en otros estudios que podrían ser implementadas en Guatemala para la adaptación ante los efectos del cambio climático son: la irrigación de nidos y la proporción de sombra como posibles herramientas para disminuir la temperatura de incubación de los nidos artificiales de tortugas marinas (Hill *et al.*, 2015). Sin embargo, la herramienta de riego debe usarse con precaución ya que el exceso de agua podría provocar alterar el desarrollo embrionario y éxito de eclosión en tortugas marinas (Rivas *et al.*, 2018). Asimismo, es necesario realizar más estudios en los tortugarios de Guatemala para evaluar la proporción de sexos y tomar acciones que permitan tener un equilibrio de machos y hembras en las nidadas futuras.

IX. CONCLUSIONES

Se determinó que el 100% de los neonatos evaluados del tortugario El Banco durante el 2019 fueron hembras de acuerdo a medidas morfométricas.

Se determinó que la temperatura ambiental máxima tiene una relación negativa sobre la longitud de caparazón curvado de los neonatos evaluados durante el 2019.

Se estableció que la precipitación tiene una relación positiva con respecto al peso y asimetría fluctuante en los escudos pleurales de los neonatos evaluados del tortugario El Banco.

X. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio sobre las condiciones de humedad y sus efectos sobre el sexo y caracteres morfométricos en neonatos de nidos artificiales del tortugario El Banco ya que es necesario identificar cuáles son los factores más importantes que influyen en el fitness de las tortugas.

Evaluar la herramienta de riego cómo adaptación al cambio climático para el control de la temperatura de incubación en el tortugario El Banco.

Determinar el sexo y temperaturas de incubación de los nidos artificiales de los tortugarios de Guatemala.

Determinar el sexo de los neonatos recolectados durante este estudio mediante análisis histológicos de gónadas con el objetivo de evaluar la eficacia de la ecuación morfométrica de Michel-Morfín *et al.*, 2001.

Realizar investigación para determinar la temperatura pivotal real de *L. olivacea* en las playas guatemaltecas.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Bézy, V., Valverde, R., y Plante, C. (2015). Olive ridley sea turtle hatching success as a function of the microbial abundance in nest sand at Ostional, Costa Rica. *PloS one*, *10*(2), e0118579.

Booth, D.T. (2000). Incubation of eggs of the Australian broad-shelled turtle, *Chelodina expansa* (Testudinata:Chelidae), at different temperatures: effects on pattern of oxygen consumption and hatchling morphology. *Austral. J. Zool*, *48*, 369–378.

Booth, D. T., Burgess, E., McCosker, J., y Lanyon, J. M. (2004). The influence of incubation temperature on post-hatching fitness characteristics of turtles. *Elsevier*, *1275*, 226-233.

Bowen, B., y Karl, S. (2007). Population genetics and phylogeography of sea turtles. *Molecular ecology*, *16*(23), 4886-4907.

Burnham, K., y Anderson, D. (2002). *Model Selection and Multi-model Inference*. Estados Unidos: Springer.

Campbell, L. (2007). *Understanding human use of olive ridleys. Biology and Conservation of Ridley Sea Turtles*. Estados Unidos: The Johns Hopkins University Press.

Casthologe, V., Dos Santos, M., Castilhos, J., Filho, P., Gomes, L., Clemente, R., y Ferreira, P. (2018). Pivotal Temperature and Hatchling Sex Ratio of Olive Ridley Sea Turtles *Lepidochelys olivacea* from the South Atlantic Coast of Brazil. *Herpetological Conservation and Biology*, *13*(2), 488–496.

Chaudhari, S., Prasad, K., y Shanker, K. (2009). *Impact of casuarina plantations on olive ridley turtle nesting along the Northern Tamil Nadu Coast*. India: ATREE.

Consejo Nacional de Áreas protegidas (CONAP). (2015). *Estrategia nacional de manejo y conservación de tortugas marinas de Guatemala*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

Consejo Nacional de Áreas protegidas (CONAP). (2018). *RESOLUCIÓN 03-17-2017. Normativo para el manejo y conservación de tortugas marinas*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

Cortés-Gómez, A. A., Romero, D., y Girondot, M. (2018). Carapace asymmetry: A possible biomarker for metal accumulation in adult olive Ridley's marine turtles?. *Marine pollution bulletin*, 129(1), 92-101.

Deeming, D. C., y Ferguson, M.W. (1991). *Physiological effects of incubation temperature on embryonic development in reptiles and birds*. Reino Unido: Cambridge University Press.

Ernst, C., y Lovich, J. (2009). *Turtles of the United States and Canada*. Estados Unidos: The Johns Hopkins University Press.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Suiza: IPCC.

Hart, C., Ley, C., Maldonado, A., Zavala, A., y Abreu, A. (2014). Nesting characteristics of olive ridley turtles (*Lepidochelys olivacea*) on el naranjo beach, Nayarit, Mexico. *Herpetological Conservation and Biology*, 9(2), 524–534.

Hays, G. C., Ashworth, J. S., Barnsley, M. J., Broderick, A. C., Emery, D. R., Godley, B. J., y Jones, E. L. (2001). The importance of sand albedo for the thermal conditions on sea turtle nesting beaches. *Oikos*, 93(1), 87-94.

Houghton, J. D., Myers, A. E., Lloyd, C., King, R. S., Isaacs, C., y Hays, G. C. (2007). Protracted rainfall decreases temperature within leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) clutches in Grenada, West Indies: ecological implications for a species displaying temperature dependent sex determination. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 345(1), 71-77.

Matsuzawa, Y., Sato, K., Sakamoto, W., y Bjorndal, K. (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(3), 639-646.

Mrosovsky, N., y Pieau, C. (1991). Transitional range of temperature, pivotal temperatures and thermosensitive stages for sex determination in reptiles. *Amphibia- Reptilia*, 12(2), 169-179.

Montes, N. (2004). *Estimación de la abundancia relativa de tortugas marinas que anidan en las costas de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala

Micheli-Campbell, M. A., Campbell, H., Cramp, R., Booth, D., y Franklin, C. (2011). Staying cool, keeping strong: incubation temperature affects performance in a freshwater turtle. *Journal of Zoology*, 285(4), 266-273.

Montero, N., dei Marcovaldi, M. A., Lopez–Mendilaharsu, M., Santos, A. S., Santos, A. J., y Fuentes, M. M. (2018). Warmer and wetter conditions will reduce offspring production of hawksbill turtles in Brazil under climate change. *PLoS One*, 13(11), e0204188.

Muccio, C. (2015). *Guía para la conservación de las tortugas marinas en Guatemala, con énfasis en el manejo de tortugarios*. Guatemala: Asociación de Rescate y Conservación de Vida Silvestre (ARCAS).

Red de estaciones meteorológicas – ICC. (2020). Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático – ICC. Recuperado de: <https://redmet.icc.org.gt/>.

Rivas, M. L., Esteban, N., y Marco, A. (2019). Potential male leatherback hatchlings exhibit higher fitness which might balance sea turtle sex ratios in the face of climate change. *Climatic Change*, 156(1-2), 1-14.

Spotila, J. R., Standora, E. A., Morreale, S. J., y Ruiz, G. J. (1987). Temperature dependent sex determination in the green turtle (*Chelonia mydas*): effects on the sex ratio on a natural nesting beach. *Herpetologica*, 43(1), 74-81.

Tomillo, P. S., Suss, J. S., Wallace, B. P., Magrini, K. D., Blanco, G., Paladino, F. V., y Spotila, J. R. (2009). Influence of emergence success on the annual reproductive output of leatherback turtles. *Marine Biology*, 156(10), 2021-2031.

Varela, M. R., Patrício, A. R., Anderson, K., Broderick, A. C., DeBell, L., Hawkes, L. A., y Godley, B. J. (2019). Assessing climate change associated sea-level rise impacts on sea turtle nesting beaches using drones, photogrammetry and a novel GPS system. *Global change biology*, 25(2), 753-762.

Varo, N., Monzón, C., Carrillo, M., Calabuig, P., y Liria, A. (2015). *Tortuga olivácea—Lepidochelys olivacea (Eschscholtz, 1829)*. España: Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Velo-Antón, G., Becker, C. G., y Cordero-Rivera, A. (2011). Turtle carapace anomalies: the roles of genetic diversity and environment. *PLoS One*, 6(4), e18714.

Wibbels, T., Rostal, D., y Byles, R. (1998). High pivotal temperature in the sex determination of the olive ridley sea turtle, *Lepidochelys olivacea*, from Playa Nancite, Costa Rica. *Copeia*, 1998(4), 1086-1088.

Wyneken, J., Epperly, S., Crowder, L., Vaughan, J., y Blair, K. (2007). Determining sex in posthatchling loggerhead sea turtles using multiple gonadal and accessory duct characteristics. *Herpetologica*, 63(1): 19-30.

