


Sandoval Ramírez, J. L., Solana Arellano, E., Flores Garza, R., Flores Rodríguez, P., García Ibáñez, S., & Castro Mondragón, H. (2021). Efecto de la reubicación de nidos en el éxito reproductivo de la tortuga marina *Lepidochelys olivacea* (Testudinata: Cheloniidae). *Revista de Biología Tropical*, 69(4), 1233-1241. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i4.46689>


<https://doi.org/10.15517/rbt.v69i4.46689>


## Efecto de la reubicación de nidos en el éxito reproductivo de la tortuga marina *Lepidochelys olivacea* (Testudinata: Cheloniidae)

José Luis Sandoval Ramírez<sup>1\*</sup>;  <https://orcid.org/0000-0003-2830-0075>

Elena Solana Arellano<sup>2</sup>;  <https://orcid.org/0000-0001-8299-7753>

Rafael Flores Garza<sup>1,3</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-6926-3250>

Pedro Flores Rodríguez<sup>1,3</sup>;  <https://orcid.org/0000-0003-3246-5788>

Sergio García Ibáñez<sup>3</sup>;  <https://orcid.org/0000-0003-0967-6878>

Himmer Castro Mondragón<sup>3</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-9342-5184>

1. Centro de Ciencias de Desarrollo Regional, Universidad Autónoma de Guerrero, Acapulco, Guerrero, México; [joseluissandovalramirez@gmail.com](mailto:joseluissandovalramirez@gmail.com) (\*Correspondencia), [rfloresgarza@yahoo.com](mailto:rfloresgarza@yahoo.com)
2. Departamento de Ecología Marina, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California, México; [esolana@cicese.mx](mailto:esolana@cicese.mx)
3. Departamento de Ecología Marina, Facultad de Ecología Marina, Universidad Autónoma de Guerrero, Acapulco, Guerrero, México; [pfloresrodriguez@gmail.com](mailto:pfloresrodriguez@gmail.com), [sergariba@yahoo.com.mx](mailto:sergariba@yahoo.com.mx), [himmercm@gmail.com](mailto:himmercm@gmail.com)

Recibido 21-IV-2021. Corregido 27-VII-2021. Aceptado 16-XI-2021.

### ABSTRACT

#### Effect of nest relocation on the reproductive success of the marine turtle *Lepidochelys olivacea* (Testudinata: Cheloniidae)

**Introduction:** In order to increase the number of sea turtle hatchlings, it is necessary to improve conservation strategies, such as nest incubation in hatchery conditions that counteract the effects of extreme climatic conditions.

**Objective:** To compare five reproductive success parameters (hatching success, eggs with no apparent embryonic development, dead hatchlings, embryonic mortality, and incubation period) of the sea turtle *Lepidochelys olivacea*.

**Methods:** The incubation of nests was evaluated under two periods of nest relocation, P1 ~28.8 °C (August and September) and P2 ~27.1 °C (October and November), average ambient temperature, under hatchery condition, in 2018 in Guerrero, Mexico.

**Results:** Significant differences were found in hatching success and embryonic mortality between nest relocation periods ( $P < 0.001$ ). In P1, lower values of hatching success (77.0 % P1 vs 88.6 % P2) and higher values of embryonic mortality (13.7 % P1 vs 3.3 % P2) were observed compared to those of P2. It's important pointing that, in the present study, embryonic mortality occurred at a late stage of development, that is, in almost fully developed embryos. No differences were found between periods regarding the parameters eggs with no apparent embryonic development, dead hatchlings and incubation period.

**Conclusions:** The differences between the environmental conditions during the first period of nest relocation compared to the second period, respectively, seem to affect the hatching success and embryonic mortality of *L. olivacea*. Therefore, it is important to take action on this issue during this incubation stage to try to improve the incubation of nests under hatchery conditions.

**Key words:** sea turtle; reproductive success; nest incubation; hatching success; embryonic mortality.



Las especies de tortugas marinas son altamente vulnerables dadas las diversas amenazas naturales y antropogénicas a las que están expuestas, particularmente durante la etapa de incubación (Ackerman, 1997; Miller, 1985). Numerosos estudios han indicado que las temperaturas extremas de los nidos ( $> 34^{\circ}\text{C}$ ) reducen el éxito de eclosión de las nidadas de tortugas marinas (Kobayashi, et al., 2017; Matsuzawa et al., 2002; Maulany et al., 2012; Rafferty & Reina, 2014; Sandoval-Ramírez & Solana-Arellano, 2019; Van Lohuizen et al., 2016; Wood et al., 2014). De manera similar, se ha encontrado que las temperaturas elevadas aumentan la mortalidad embrionaria en los periodos de incubación temprano y tardío (Bladow & Milton, 2019; López-Correa et al., 2010). La precipitación es otro factor importante que puede modificar la temperatura de los nidos (Lolavar & Wyneken, 2015), y se ha reportado que las lluvias severas disminuyen el éxito de la eclosión (Kraemer & Bell, 1980; Pike & Stiner, 2007; Ragotzkie, 1959; Rivas et al., 2018). También, lluvias escasas afectan el éxito de eclosión (Santidrián-Tomillo et al., 2015). El cambio climático también puede afectar los ciclos de vida y la supervivencia de estas especies debido al aumento global de las temperaturas, el aumento del nivel del mar, los cambios en la cantidad de precipitación y el aumento de la intensidad de los huracanes (Fuentes et al., 2012; Poloczanska et al., 2009). Se sabe que el aumento de temperatura pudiera estar afectando la proporción de sexos y la mortalidad embrionaria en tortugas marinas (Hawkes, et al., 2009; Laloë et al., 2017). Varios estudios donde se han evaluado diferentes sitios de anidación han encontrado un fuerte sesgo hacia la producción de crías hembras en casi todas las especies de tortugas marinas en todo el mundo (Booth & Astill, 2001; Booth & Freeman, 2006; Jensen et al., 2018; LeBlanc et al., 2012; Lolavar & Wyneken, 2015). Por otra parte, autores reportan que los aumentos en el nivel del mar disminuyen la disponibilidad de sitios de anidación, mientras que el aumento de la intensidad de los huracanes y las precipitaciones pueden afectar la composición de la

arena (tamaño de grano de la arena, humedad, materia orgánica, etc.) del sitio de anidación, el desarrollo embrionario y la supervivencia de las crías (Hawkes et al., 2009; Pike, 2013; Van Lohuizen et al., 2016). Dado que se espera que los efectos del cambio climático sean heterogéneos entre las diferentes áreas, las estrategias de conservación de la biodiversidad deben ser específicas para cada sitio y aplicarse de manera adecuada (Hawkes, et al., 2007; Montero et al., 2019; Santidrián-Tomillo et al., 2015). Por lo tanto, es necesario evaluar la variación presente entre varios factores que afectan el éxito reproductivo de las tortugas marinas para proteger los hábitats y diseñar estrategias de mitigación científicamente válidas (Santos et al., 2017).

La evaluación del éxito reproductivo de las tortugas marinas es un proceso complejo (Ditmer & Stapleton, 2012) debido a que los huevos se depositan en nidos excavados en playas arenosas, que están influenciados por factores abióticos y bióticos (Ackerman, 1997; Wallace et al., 2004; Wood & Bjorndal, 2000). En muchos casos, los nidos no presentan eclosión de crías y existen pocos estudios donde se establezcan las causas reales de mortalidad del nido. Algunas de las causas son inundación constante debido a mareas, infertilidad, mortalidad embrionaria por infección microbiana, desarrollo de anomalías y desarrollo retardado (Peters et al., 1994; Wallace et al., 2004). Actualmente, las estrategias de protección de nidos empleadas por los investigadores incluyen la reubicación de huevos de nidos *in situ* a viveros controlados para garantizar condiciones óptimas de desarrollo. Lo anterior, debido a que permiten condiciones ambientales similares a condiciones naturales y la manipulación de factores, lo cual resulta en una mayor producción de crías (Garduño & Cervantes, 1996; Naro-Maciel et al., 1999) y además evita la depredación y el saqueo. Estos dos últimos problemas son comunes en el área de estudio del presente trabajo, además de mareas altas. Sin embargo, los parámetros reproductivos pueden fluctuar significativamente dentro de la misma población o entre estrategias de

conservación (Quiñones et al., 2007). Por lo tanto, es necesario evaluar la utilidad de cada estrategia, así como las escalas espacio-temporales y circunstancias generales en las que se puede implementar cada estrategia (Jourdan & Fuentes, 2015) para mejorar las técnicas de incubación de nidos en los viveros (Quiñones et al., 2007).

El objetivo de este estudio fue comparar el éxito reproductivo de *L. olivacea* de nidos incubados en vivero entre dos períodos de reubicación de nidos (P1 ~28.8 °C, agosto-septiembre, y P2 ~27.1 °C, octubre-noviembre). Debido a que condiciones extremas como temperaturas elevadas de la arena durante la etapa de incubación pueden afectar el éxito reproductivo, esperamos que cualquier variación en los parámetros del éxito reproductivo pueda ser causada por las diferencias entre los dos períodos de reubicación de nidos. Esto podría proveer información para la conservación y el manejo de las tortugas marinas dentro de esta región. Lo anterior con la meta de encontrar las mejores condiciones para el manejo y conservación de las especies de tortugas marinas en la región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio:** El estado de Guerrero está ubicado en el suroeste de México y limita con el Pacífico tropical (16°18'57.6"-18°53'16.08" N & 98°0'26.28"-102°11'2.4" W). Los experimentos se llevaron a cabo en el campamento tortuguero del Centro de Conservación de Tortugas Marinas de la Facultad de Ecología Marina ECOMAR de la Universidad Autónoma de Guerrero. El sitio se ubica en la playa Llano Real (tipo de anidación solitaria) municipio de Benito Juárez, Guerrero (17°04'00.4" N & 100°26'56.8" W). El clima de la zona costera de Guerrero es cálido subhúmedo, con temperaturas promedio anuales, mínimas y máximas de 25, 18 y 32 °C, respectivamente. La temporada de lluvias es durante el verano, de junio a octubre, y la precipitación promedio en Guerrero es de 1 200 mm anuales (Martínez et al., 2014). Las tormentas tropicales y los huracanes tienen un impacto moderado

en las costas de Guerrero (Márquez-García et al., 2010), aunque la energía de las olas altas está presente todo el año (Ortiz-Pérez & De la Lanza-Espino, 2006).

**Metodología de campo:** Este estudio se llevó a cabo durante la temporada de anidación del 2018 (agosto-noviembre). El vivero se colocó en un área alta y alejada de la costa (~50 m del mar y dentro de una zona de vegetación con ~3 m de altura). Las dimensiones del vivero fueron de 10 × 8 m. El área donde se ubicó el vivero fue limpiada y se eliminó la vegetación dentro de éste semanas antes de colocar los nidos, esto para impedir que las raíces afectaran los huevos (Wood & Bjorndal, 2000).

**Colecta y transporte de nidos:** La identificación y reubicación de nidos se llevó a cabo en recorridos de muestreo que se realizaron utilizando un vehículo todo terreno de dos a tres veces al día (22:00-07:00 h) entre agosto y octubre del 2018. Las nidadas se seleccionaron al azar, es decir, no se seleccionó alguna hora de colecta específica o zona dentro de la playa, y los nidos se recolectaron inmediatamente después de que la tortuga terminó de ovopositar (dentro de un tiempo menor a dos horas), esto es, todos los nidos tuvieron la misma probabilidad de ser elegidos. Las nidadas se transportaron en bolsas de tela al sitio del experimento dentro de las dos horas posteriores a la oviposición para evitar la mortalidad embrionaria inducida por el movimiento.

**Diseño experimental:** Se implementó un tratamiento de incubación de nidos durante dos períodos. El primer período se llevó a cabo de agosto a septiembre (primera etapa de reubicación del primer grupo de nidos), y un segundo período se llevó a cabo entre octubre y noviembre (segunda etapa de reubicación del segundo grupo de nidos). Cada período incluyó treinta nidos, espaciados uniformemente dentro del vivero a una distancia de 60 cm entre ellos y enterrados a una profundidad de 40 cm. Lo nidos se regaron con ~50 litros de agua dulce (aproximadamente cada 6-7 días) obtenida



de un pozo, y solo por la noche, siguiendo la metodología de Jourdan y Fuentes (2015). La arena dentro del vivero se regó manualmente y el agua se distribuyó uniformemente sobre todos los nidos. Se proporcionó sombra (60 %), una cubierta de malla de color negro. Para determinar las temperaturas promedio y extremas se obtuvieron mediciones de temperatura en la superficie de la arena para un subconjunto de nidos (~5 nidos seleccionados al azar

durante cada medición) con un termómetro bimetálico. Las mediciones se realizaron a las 09:00, 14:00 y 19:00 h (semanalmente). Se obtuvieron datos de precipitación y datos históricos de la temperatura ambiental de la base de datos de CONAGUA Guerrero en 2018.

**Estimación del éxito reproductivo:** Se tomaron en cuenta cinco parámetros, los cuales se calcularon de la siguiente manera:

1. Éxito de eclosión =  $\frac{\text{crías muertas} + \text{crías vivas}}{\text{tamaño de nidada}} \times 100$
2. Huevos sin desarrollo aparente =  $\frac{\text{No. de huevos sin desarrollo aparente}}{\text{tamaño de nidada}} \times 100$
3. Crías muertas =  $\frac{\text{No. de crías muertas al nacer}}{\text{tamaño de nidada}} \times 100$
4. Mortalidad embrionaria =  $\frac{\text{No. de huevos con desarrollo aparente}}{\text{tamaño de nidada}} \times 100$
5. Período de incubación (días) = período que abarca desde el momento de la ovoposición hasta la eclosión.

El éxito de eclosión se calculó de acuerdo con la metodología de Miller (2000), las crías muertas de la ecuación 1) se refiere a crías completamente formadas o desarrolladas, muertas fuera de su cascara, las cuales lograron eclosionar y probablemente vivir por un periodo corto de tiempo; huevos sin desarrollo aparente se calculó según la metodología de López-Castro et al. (2004); la mortalidad embrionaria y las crías muertas se calcularon según la metodología de Garduño y Cervantes (1996). Por otro lado, una vez transcurrido el período de incubación del nido (~45 días), se revisó la información del nido contenida en la estaca correspondiente, y los huevos fueron exhumados e inspeccionados una vez que la superficie de arena del nido mostraba signos de hundirse. Esto último indicaba que la mayoría de los huevos ya habían eclosionado o estaban intentando salir a la superficie del nido.

Para los parámetros de éxito reproductivo definidos por las ecuaciones 1-5 se calcularon las estadísticas básicas. Puesto que los nidos fueron elegidos aleatoriamente y colocados a una distancia de 60 cm entre ellos durante cada periodo de incubación, se cumplieron los supuestos de aleatoriedad e independencia. La normalidad y homocedasticidad de los parámetros se constataron mediante las pruebas

de Shapiro-Wilk y Bartlett, respectivamente, con un  $\alpha = 0.05$ . Cuando los datos cumplieron con estos supuestos (para los parámetros de éxito de eclosión y huevos sin desarrollo) se realizó una prueba t de Student para corroborar diferencias entre periodos de locación. De lo contrario se realizó la prueba equivalente no-paramétrica de Mann-Whitney para el mismo propósito. Para los análisis se utilizaron Statistica v. 7 (Stat Soft Inc, 2004) y R Studio v. 3.3.3 (RStudio Team, 2020).

## RESULTADOS

En este estudio, se analizaron un total de 60 nidos bajo condiciones de vivero durante la temporada de anidación del 2018. En la Tabla 1 se muestran los resultados de éxito reproductivo de ambos periodos de reubicación de nidos.

Según datos históricos del clima, la temperatura promedio para el período P1 y período P2 de reubicación de nidos es de 28.8 °C (agosto y septiembre) y 27.1 °C (octubre y noviembre), respectivamente. La temperatura promedio de la arena superficial en el periodo de estudio bajo condiciones con sombra fue de  $32.4 \pm 5.33$  °C, con una temperatura mínima y máxima de 25 y 44 °C, respectivamente. En esta región, se registran temperaturas máximas

ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE ÉXITO REPRODUCTIVO EN EL PRIMER PERÍODO P1 Y SEGUNDO PERÍODO P2 DE REUBICACIÓN DE NIDOS

TABLE 1  
Descriptive statistics of reproductive success in the first period P1 and second period P2 of nest relocation

Parámetros	Media ± DE P1	Min y max P1	Media ± DE P2	Min y max P2	Nivel-P
Temperatura ambiental*	28.8 °C	20-37 °C	27.1 °C	20-33.5 °C	<b>P &lt; 0.01</b>
Éxito de eclosión*	77 % ± 13.51	55.8-97.1 %	88.6 ± 13.03	50-99 %	<b>P &lt; 0.001</b>
Huevos sin desarrollo aparente*	9.2 % ± 7.76	1.9-30.5 %	8.1 % ± 10.95	0.0-48.5 %	P > 0.05
Crías muertas	0.04 % ± 0.80	0. 2.6 %	0.5 % ± 0.70	0-2.1 %	P > 0.05
Mortalidad embrionaria	13.7 % ± 11.60	0-35.6 %	3.3 % ± 4.39	0-15.8 %	<b>P &lt; 0.001</b>
Período de incubación (días)	44.8 ± 0.68	44-46	45.1 ± 0.47	44-46	P > 0.05

El nivel-P (< 0.05) indica diferencias entre períodos de reubicación de nidos. El símbolo \* indica que se realizaron análisis paramétricos. Abreviaciones: P1 = primer período de reubicación; P2 = segundo período de reubicación. Media ± desviación estándar son mostradas. Las negritas indican en cuáles parámetros se detectaron diferencias significativas.

The P-level (<0.05) indicates differences between nest relocation periods. The symbol \* indicates that parametric analyzes were performed. Abbreviations: P1 = first relocation period; P2 = second relocation period. Mean ± standard deviation is shown. Bold type indicates in which parameters significant differences were detected.

de la arena superficial de hasta 35 y 26.7 °C durante el primer (P1) y segundo (P2) períodos de reubicación de nidos, respectivamente. Además, durante el primer período, la precipitación fue mayor (77.5 mm) y casi el doble que en el segundo período de reubicación de nidos (37 mm).

Los resultados de las pruebas mostraron que hubo diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) entre los períodos de reubicación de nidos para el éxito de eclosión, parámetro que registro un menor promedio durante el primer período y una mayor mortalidad embrionaria promedio en contraposición con los resultados del segundo período que presentó mayor éxito de eclosión promedio y menor mortalidad promedio (Tabla 1). Es importante señalar que se observó una mortalidad embrionaria tardía, al analizar los huevos que no eclosionaron se detectaron embriones casi completamente desarrollados. Mientras que para huevos sin desarrollo aparente, crías muertas y período de incubación no se presentaron diferencias entre períodos (Tabla 1).

## DISCUSIÓN

Los viveros han sido criticados porque representan pequeñas áreas congestionadas, y

los nidos incubados muy cerca unos de otros pueden aumentar la temperatura de los nidos debido al tamaño de las nidadas depositadas dentro de un vivero (Maulany et al., 2012; Mortimer, 1999; Sandoval-Espinoza, 2008). Sin embargo, en el presente estudio fue posible obtener un alto éxito de eclosión en los nidos, a pesar de que la distancia entre nidos fue de 60 cm menor al promedio reportado. A nivel estatal el éxito de eclosión varía entre campamentos tortugueros debido a que se realizan diferentes formas de incubar nidos, sin embargo, la mayoría de estos utilizan una distancia entre nidos de 100 cm. Respecto a condiciones naturales o in situ, existe muy poca información debido a que la mayoría de los nidos son depredados o saqueados y es difícil darles seguimiento (Comunicación personal).

Se ha demostrado que la temperatura influye en gran medida en el éxito de la eclosión (Sandoval-Ramírez & Solana-Arellano, 2019; Van Lohuizen et al., 2016) por lo que atribuimos a esta variable las diferencias en el éxito de la eclosión entre los períodos de reubicación de nidos, ya que se registraron altas temperaturas ambientales durante el primer período de reubicación de nidos. Numerosos estudios han indicado que las temperaturas extremas causan una alta mortalidad embrionaria y, por



lo tanto, un bajo éxito de eclosión (Bladow & Milton, 2019; Booth, 2017; Kobayashi et al., 2017; López-Correa et al., 2010; Matsuzawa et al., 2002; Rafferty & Reina, 2014; Read et al., 2013; Valverde et al., 2010; Wood et al., 2014). Además, debido a que nuestros resultados mostraron una mortalidad embrionaria tardía en los nidos durante el primer período de reubicación, es probable que esto fue en parte causado por el calor metabólico producido por los embriones en desarrollo (Booth & Astill, 2001; Maulany et al., 2012; Miller, 1997; Van de Merwe et al., 2006). Estudios señalan que la alta mortalidad embrionaria se debe a aumentos en la temperatura del nido en las primeras y últimas etapas del período de incubación (Bladow & Milton, 2019; López-Correa et al., 2010; Read et al., 2013). Staines et al. (2019), Hewavisenthi y Parmenter (2002) y Sandoval et al. (2011) observaron una tendencia ascendente en la temperatura del nido ( $> 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a medida que avanzaba la incubación.

En un estudio realizado por López-Castro et al. (2004), se observó un efecto positivo de la humedad sobre el éxito de la eclosión. Por otra parte, según Rivas et al. (2018), eventos como las lluvias pueden afectar el éxito reproductivo. Aunque varios estudios reportan la influencia de la precipitación en la temperatura de la arena por la escases de lluvia en el área, es probable que las temperaturas de los nidos cambiaran poco en el presente estudio (Lolavar & Wyneken, 2015). Más aún, Sandoval-Ramírez y Solana-Arellano (2019) indicaron que esta variable no parece tener influencia en esta región. Del mismo modo, Van Lohuizen et al. (2016) no encontraron una asociación entre la lluvia y el éxito de incubación de los nidos. Finalmente, la falta de diferencias significativas en el número de huevos sin desarrollo aparente, crías muertas y período de incubación, entre períodos de reubicación de nidos, podrían indicar que estos parámetros no son muy variables, sobre todo por las condiciones ambientales en el vivero como sombra y riego.

En conclusión, nosotros atribuimos las diferencias del éxito de eclosión y mortalidad embrionaria a las diferencias de las condiciones

ambientales entre ambos períodos de reubicación de nidos. Sobre todo, por las condiciones ambientales dentro del vivero como sombra y riego. Recomendamos estudios adicionales para verificar nuestros resultados en otras poblaciones de *L. olivacea* dentro del estado de Guerrero, México, y en otras especies de tortugas marinas para determinar las condiciones más favorables que aseguren un alto éxito reproductivo. Los conservacionistas pueden utilizar información sobre los impactos de los factores ambientales para mejorar el éxito de la eclosión (Ditmer & Stapleton, 2012) puesto que los programas de manejo y conservación deben ajustarse a las condiciones de cada zona (Quiñones et al., 2007). Finalmente, recomendamos realizar experimentos con diferentes porcentajes de sombra y/o frecuencia de riego durante el primer período de reubicación para evitar una mayor mortalidad embrionaria, pero tomando en cuenta y analizando el efecto que esta clase de acciones puede tener sobre la proporción de sexo, con la finalidad de mejorar y no afectar la conservación de estas especies tan vulnerables.

**Declaración de ética:** los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal y voluntarios del Centro de Conservación de Tortugas Marinas ECOMAR: Arturo, Eriberto, Abraham, Karen, Ruth, Christian, Keren, Jhare y Divina por su ayuda durante los recorridos de muestreo de campo, la recolección de nidos y la reubicación de nidos. También, agradecemos a la Directora de CONAGUA en Guerrero, Dra. Norma

Arroyo Domínguez, por brindarnos datos de variables ambientales.

## RESUMEN

**Introducción:** Para incrementar el número de crías de tortugas marinas, es necesario mejorar estrategias de conservación, como incubación de nidos, en condiciones de vivero que contrarresten los efectos de las condiciones climáticas extremas.

**Objetivo:** Comparar cinco parámetros de éxito reproductivo (éxito de eclosión, huevos sin desarrollo aparente, crías muertas, mortalidad embrionaria y período de incubación) de la tortuga marina *Lepidochelys olivacea*.

**Métodos:** Se evaluó la incubación de nidos bajo dos períodos de reubicación de nidos (P1 ~28.8 °C agosto-septiembre y P2 ~27.1 °C octubre-noviembre, temperatura ambiental promedio, bajo condiciones de vivero, en el 2018 en Guerrero, México.

**Resultados:** Se encontraron diferencias significativas en el éxito de eclosión y la mortalidad embrionaria entre los períodos de reubicación de nidos ( $P < 0.001$ ). En P1, se observaron valores más bajos de éxito de eclosión (77.0 % P1 vs 88.6 % P2) y valores más altos de mortalidad embrionaria (13.7 % P1 vs 3.3 % P2) comparados con los de P2. Es importante señalar que, en el presente estudio la mortalidad embrionaria se presentó en una etapa tardía de desarrollo, es decir, en embriones casi completamente desarrollados. No se encontraron diferencias entre períodos respecto a los parámetros de huevos sin desarrollo aparente, crías muertas y período de incubación.

**Conclusiones:** las diferencias entre las condiciones ambientales durante el primer período de reubicación de nidos en comparación con el segundo período parecen afectar el éxito de eclosión y mortalidad embrionaria de *L. olivacea*. Por lo tanto, es importante tomar medidas al respecto durante esta etapa de incubación para tratar de mejorar la incubación de nidos bajo condiciones de vivero.

**Palabras clave:** tortuga marina; éxito reproductivo; incubación de nidos, éxito de eclosión, mortalidad embrionaria.

## REFERENCIAS

Ackerman, R. A. (1997). The nest environment and the embryonic development of sea turtles. En J. Wyneken, K. J. Lohmann, & J. A. Musick (Eds.), *The Biology of Sea Turtles* (pp. 83–106). CRC Press.

Bladow, R. A., & Milton, S. L. (2019). Embryonic mortality in green (*Chelonia mydas*) and loggerhead (*Caretta caretta*) sea turtle nests increases with cumulative exposure to elevated temperatures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 518(2019), 151180. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151180>

Booth, D. T., & Astill, K. (2001). Temperature variation within and between nests of the green sea turtle, *Chelonia mydas* (Chelonia: Cheloniidae) on Heron Island, Great Barrier Reef. *Australian Journal of Zoology*, 49(1), 71–84. <https://doi.org/10.1071/ZO00059>

Booth, D. T., & Freeman, C. (2006). Sand and nest temperatures and an estimate of hatchling sex ratio from the Heron Island green turtle (*Chelonia mydas*) rookery, Southern Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 25(4), 629–633. <https://doi.org/10.1007/s00338-006-0135-4>

Booth, D. T. (2017). The influence of incubation temperature on sea turtle hatchling quality. *Integrative Zoology Review*, 12(5), 352–360. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12255>

Ditmer, M. A., & Stapleton, S. P. (2012). Factors affecting hatch success of hawksbill sea turtles on Long Island, Antigua, West Indies. *PloS one*, 7(7), e38472. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038472>

Fuentes, M. M. P. B., Fish, M. R., & Maynard, J. A. (2012). Management strategies to mitigate the impacts of climate change on sea turtle's terrestrial reproductive phase. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(1), 51–63. <https://doi.org/10.1007/s11027-011-9308-8>

Garduño, M., & Cervantes, E. (1996). Influencia de la temperatura y la humedad en la sobrevivencia en nidos in situ y en corral de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en Las Coloradas, Yucatán, México. INP. SEMARNAP. *Ciencia Pesquera*, 12(1996), 90–97.

Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H., & Godley, B. J. (2007). Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population. *Global Change Biology*, 13(15), 923–932. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01320.x>

Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H., & Godley, B. J. (2009). Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research*, 7(2), 137–154. <https://doi.org/10.3354/esr00198>

Hewavisenthi, S., & Parmenter, C. J. (2002). Incubation environment and nest success of the flat-back turtle (*Natator depressus*) from a natural nesting beach. *Copeia*, 2002(2), 302–312. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2002\)002\[0302:IEANSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2002)002[0302:IEANSO]2.0.CO;2)

Jensen, M. P., Allen, C. D., Eguchi, T., Bell, I. P., LaCasse, E. L., Hilton, W. A., Hof, C. A. M., & Dutton, P. H. (2018). Environmental warming and feminization of one of the largest sea turtle populations in the world. *Current Biology*, 28(1), 154–159. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.057>

Jourdan, J., & Fuentes, M. M. P. B. (2015). Effectiveness of strategies at reducing sand temperature to mitigate potential impacts from changes in environmental temperature on sea turtle reproductive output. *Mitigation*



- and Adaptation Strategies for Global Change, 20(1), 121–133. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9482-y>
- Kobayashi, S., Wada, M., Fujimoto, R., Kumazawa, Y., Arai, K., Watanabe, G., & Saito, T. (2017). The effects of nest incubation temperature on embryos and hatchlings of the loggerhead sea turtle: Implications of sex difference for survival rates during early life stages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 486(2017), 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.10.020>
- Kraemer, J. E., & Bell, R. (1980). Rain-induced mortality of eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) on the Georgia coast. *Herpetologica*, 36(1998), 72–77.
- Laloë, J. O., Cozens, J., Renom, B., Taxonera, A., & Hays, G. C. (2017). Climate change and temperature-linked hatchling mortality at a globally important sea turtle nesting site. *Global Change Biology*, 23(11), 4922–4931.
- LeBlanc, A. M., Wibbels, T., Shaver, D., & Walker, J. S. (2012). Temperature-dependent sex determination in the Kemp's ridley sea turtle: effects of incubation temperatures on sex ratios. *Endangered Species Research*, 19(2), 123–128. <https://doi.org/10.3354/esr00465>
- Lolavar, A., & Wyneken, J. (2015). Effect of rainfall on loggerhead turtle nest temperatures, sand temperatures and hatchling sex. *Endangered Species Research*, 28(3), 235–247. <https://doi.org/10.3354/esr00684>
- López-Castro, M. C., Carmona, R., & Nichols, W. J. (2004). Nesting characteristics of the olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) in Cabo Pulmo, southern Baja California. *Marine Biology*, 145(4), 811–820. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1359-x>
- López-Correa, J., Porta-Gándara, M. Á., Gutiérrez, J., & Gómez-Muñoz, V. M. (2010). A novel incubator to simulate the natural thermal environment of sea turtle eggs. *Journal of Thermal Biology*, 35(3), 138–142. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.01.005>
- Márquez-García, A. Z., Campos-Verduzco, R., & Castro-Soriano, B. S. (2010). Sedimentología y morfología de la playa de anidación para tortugas marinas, El Carrizal, Coyuca de Benítez, Guerrero. *Hidrobiológica*, 20(2), 101–112.
- Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Orocio, O. J., Mata, D. I., Revelo, N. R., & González, J. C. C. (Eds.). (2014). *Diagnóstico general de las dunas costeras de México*. SEMARNAT CONAFOR. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD002912.pdf>
- Matsuzawa, Y., Sato, K., Sakamoto, W., & 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. <https://doi.org/10.1007/s00227-001-0724-2>
- Maulany, R. I., Booth, D. T., & Baxter, G. S. (2012). Emergence success and sex ratio of natural and relocated nests of olive ridley turtles from Alas Purwo National Park, East Java, Indonesia. *Copeia*, 2012(4), 738–747. <https://doi.org/10.1643/CH-12-088>
- Miller, J. D. (1985). Embryology of marine turtles. En C. Gans, F. Billett, & P. F. A. Maderson (Eds.), *Biology of the Reptilia* (pp. 269–328). Wiley-Interscience.
- Miller, J. D. (1997). Reproduction in sea turtles. En P. L. Lutz, & J. A. Musick (Eds.), *The biology of sea turtles* (pp. 51–81). CRC Press.
- Miller, J. D. (2000). Determining clutch size and hatching success. En K. L. Eckert, K. A. Bjorndal, F. A. Abreu Grobois, & M. Donnelly (Eds.), *Research and management techniques for the conservation of sea turtles* (pp. 143–149). IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication.
- Montero, N., Tomillo, P. S., Saba, V. S., Dei Marcovaldi, M. A., López-Mendilaharsu, M., Santos, A. S., & Fuentes, M. M. (2019). Effects of local climate on loggerhead hatchling production in Brazil: implications from climate change. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45366-x>
- Mortimer, J. A. (1999). Reducing threats to eggs and hatchlings: hatcheries. En K. L. Eckert, K. A. Bjorndal, F. A. Abreu Grobois, & M. Donnelly (Eds.), *Research and management techniques for the conservation of sea turtles* (pp. 175–178). IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication. [https://static1.squarespace.com/static/5e4c290978d00820618e0944/t/5e5025345f501f3dd0e91638/1582310713703/Full+Research+and+Management+techniques\\_en.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5e4c290978d00820618e0944/t/5e5025345f501f3dd0e91638/1582310713703/Full+Research+and+Management+techniques_en.pdf)
- Naro Maciel, E., Mrosovsky, N., & Marcovaldi, M. A. (1999). Thermal profiles of sea turtle hatcheries and nesting areas at Praia do Forte, Brazil. *Chelonian Conservation and Biology*, 3, 407–413.
- Ortiz-Pérez, M. A., & De la Lanza-Espino, G. (2006). *Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional (No. 333.917 O7)*. Instituto de Geografía UNAM.
- Peters, A., Verhoeven, K. J., & Strijbosch, H. (1994). Hatching and emergence in the Turkish Mediterranean loggerhead turtle, *Caretta caretta*: natural causes for egg and hatchling failure. *Herpetologica*, 50(1994), 369–373.
- Pike, D. A., & Stiner, J. C. (2007). Sea turtle species vary in their susceptibility to tropical cyclones. *Oecologia*, 153(2), 471–478. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0732-0>
- Pike, D. A. (2013). Climate influences the global distribution of sea turtle nesting. *Global*



- Ecology and Biogeography*, 22(5), 555–566. <https://doi.org/10.1111/geb.12025>
- Poloczanska, E. S., Limpus, C. J., & Hays, G. C. (2009). Vulnerability of marine turtles to climate change. En D. W. Sims (Ed.), *Advances in marine biology* (pp. 151–211). Academic Press.
- Quiñones, L., Patiño-Martínez, J., & Marco, A. (2007). Factores que influyen en la puesta, la incubación y el éxito de eclosión de la tortuga laúd, *Dermodochelys coriacea*, en La Playona, Chocó, Colombia. *Revista Española de Herpetología*, 21(2007), 5–17.
- Rafferty, A. R., & Reina, R. D. (2014). The influence of temperature on embryonic developmental arrest in marine and freshwater turtles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 450(2014), 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.10.018>
- Ragotzkie, R. A. (1959). Mortality of loggerhead turtle eggs from excessive rainfall. *Ecology*, 40(2), 303–305.
- Read, T., Booth, D. T., & Limpus, C. J. (2013). Effect of nest temperature on hatchling phenotype of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from two South Pacific rookeries, Mon Repos and La Roche Percée. *Australian Journal of Zoology*, 60(6), 402–411. <https://doi.org/10.1071/ZO12079>
- Rivas, M. L., Spínola, M., Arrieta, H., & Faife-Cabrera, M. (2018). Effect of extreme climatic events resulting in prolonged precipitation on the reproductive output of sea turtles. *Animal Conservation*, 21(5), 387–395.
- RStudio Team. (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. [Software]. RStudio. <http://www.rstudio.com>
- Sandoval-Espinoza, S. (2008). *Pronóstico de la temperatura de los nidos de tortuga golfina (Lepidochelys olivacea) en función de la temperatura ambiente, la profundidad y el calor metabólico* (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, México. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/14104/1/sandovale1.pdf>
- Sandoval, S., Gómez-Muñoz, V., Gutiérrez, J., & Porta-Gándara, M. Á. (2011). Metabolic heat estimation of the sea turtle *Lepidochelys olivacea* embryos. *Journal of Thermal Biology*, 36(1), 138–141. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.12.007>
- Sandoval-Ramírez, J. L., & Solana-Arellano, E. (2019). Influencia de factores ambientales sobre el éxito de incubación de la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* en condiciones de vivero en el estado de Guerrero, México. En E. A. Cuevas-Flores, V. Guzmán-Hernández, J. J. Guerra-Santos, & G. A. Rivas-Hernández (Eds.), *El uso del conocimiento de las tortugas marinas como herramienta para la restauración de sus poblaciones y habitats asociados* (pp. 99–106). Universidad Autónoma del Carmen, México. <https://www.unacar.mx/contenido/librosDigitales/tortugas.php>
- Santidrián-Tomillo, P., Saba, V. S., Lombard, C. D., Valiulis, J. M., Robinson, N. J., Paladino, F. V., Spotila, J. R., Fernández, C., Rivas, M. L., Tucek, J., Nel, R., & Oro, D. (2015). Global analysis of the effect of local climate on the hatchling output of leatherback turtles. *Scientific Reports*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep16789he>
- Santos, K. C., Livesey, M., Fish, M., & Lorences, A. C. (2017). Climate change implications for the nest site selection process and subsequent hatching success of a green turtle population. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(1), 121–135. <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9668-6>
- Staines, M. N., Booth, D. T., & Limpus, C. J. (2019). Microclimatic effects on the incubation success, hatchling morphology and locomotor performance of marine turtles. *Acta Oecologica*, 97, 49–56.
- Stat Soft Inc. (2004) *Statistica* (Versión 7, software). <https://www.tibco.com/products/data-science>
- Valverde, R. A., Wingard, S., Gómez, F., Tordoir, M. T., & Orrego, C. M. (2010). Field lethal incubation temperature of olive ridley sea turtle *Lepidochelys olivacea* embryos at a mass nesting rookery. *Endanger Species Research*, 12(1), 77–86. <https://doi.org/10.3354/esr00296>
- Van De Merwe, J., Ibrahim, K., & Whittier, J. (2006). Effects of nest depth, shading, and metabolic heating on nest temperatures in sea turtle hatcheries. *Chelonian Conservation and Biology*, 5(2), 210–215. [https://doi.org/10.2744/1071-8443\(2006\)5\[210:EONDSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2744/1071-8443(2006)5[210:EONDSA]2.0.CO;2)
- Van Lohuizen, S., Rossendell, J., Mitchell, N. J., & Thums, M. (2016). The effect of incubation temperatures on nest success of flatback sea turtles (*Natator depressus*). *Marine Biology*, 163(7), 150–163. <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2917-8>
- Wallace, B. P., Sotherland, P. R., Spotila, J. R., Reina, R. D., Franks, B. F., & Paladino, F. V. (2004). Biotic and abiotic factors affect the nest environment of embryonic leatherback turtles, *Dermodochelys coriacea*. *Physiological and Biochemical Zoology*, 77(3), 423–432.
- Wood, D. W., & Bjørndal, K. A. (2000). Relation of temperature, moisture, salinity, and slope to nest site selection in loggerhead sea turtles. *Copeia*, 2000, 119–119.
- Wood, A., Booth, D. T., & Limpus, C. J. (2014). Sun exposure, nest temperature and loggerhead turtle hatchlings: Implications for beach shading management strategies at sea turtle rookeries. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 451, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.11.005>