



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



**Dirección General
de Investigación**
Universidad de San Carlos de Guatemala

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial PUIDI.

nombre del programa universitario de investigación de la Digi

Estimación de la proporción sexual de neonatos de tortugas de carey basada en temperaturas de incubación en el Caribe de Guatemala.

nombre del proyecto de investigación

4.8.69.6.01.

número de partida presupuestaria

Instituto de Investigaciones del Caribe de Izabal/Centro Universitario de Izabal –CUNIZAB-

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica que avaló el proyecto

M.Sc. Mario Estuardo Salazar Rodríguez

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por la Digi

Puerto Barrios 28 de febrero de 2025

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

DG Dirección General
de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Contraportada

Autoridades de la Dirección General de Investigación

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación

Ingeniera Liuba María Cabrera Ovalle

Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial PUIDI.

Autores

Mario Estuardo Salazar Rodriguez, No. Registro de Personal 20040532

Manuel de Jesús Ixquiac Cabrera, No. Registro de Personal 960207

Tannia Paola Sandoval Galeano, No. Registro de Personal UA 1910392

Luis Fernando Chicojay de León, No. Registro de Personal 20230606

El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la DIGI de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria número: 4.8.69.6.01. en el Programa Universitario de Investigación PUIDI.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Índice general

1. Introducción	1
2. Contexto de la investigación	3
3. Revisión de literatura	4
4. Planteamiento del problema	7
5. Objetivos.....	9
6. Hipótesis	10
7. Método	11
8. Aspectos éticos y legales	17
9. Resultados y discusión.....	19
10. Propiedad intelectual.....	34
11. Beneficiarios directos e indirectos.....	35
12. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.....	37
13. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)	39
14. Contribución al desarrollo de iniciativas de ley.....	41
15. Vinculación.....	43
16. Conclusiones.....	45
17. Recomendaciones.....	46
Referencias	48
Apéndice	51
Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación.....	83
Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario	83
Aprobación de la Dirección General de Investigación	83



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Índice de figuras

Figura 1 Temperatura de los nidos de tortuga Carey en el Tortugario Guatemala durante al año 2024.	19
Figura 2 Rangos de temperatura de los sensores colocados en el tortugario Guatemala, San Francisco del Mar.	21
Figura 3 Temperatura del nido No.1. en el Tortugario Guatemala, San Francisco del Mar.	25
Figura 4 Rango y frecuencia de los datos de temperatura durante la anidación	25
Figura 5 Temperatura del nido No.2. en el Tortugario Guatemala, San Francisco del Mar.	26
Figura 6 Rango y frecuencia de los datos de temperatura durante la anidación del Nido 2.	27
Figura 7 Temperatura del nido No.3. en el Tortugario Guatemala, San Francisco del Mar.	28
Figura 8 Rango y frecuencia de los datos de temperatura durante la anidación del Nido 3.	28
Figura 9 Diagrama de regresión lineal de temperatura de nidos de tortuga	31
Figura 10 Extracción de ADN de las muestras de carcasas de huevos de tortuga.	32
Figura 11 Gel de agarosa al 0.7% con el ADN purificado.	33

Índice de tablas

Tabla 1 Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.	14
Tabla 2 Estadística descriptiva de la temperatura de los seis sensores.	20
Tabla 3 Estimadores de la regresión lineal múltiple de los valores de temperatura de los nidos, la temperatura superficial del mar y la temperatura ambiental	22
Tabla 4 Valores de temperatura para los nidos del tortugario Guatemala.....	29
Tabla 5 Estimación de proporción de sexos para la tortuga carey a partir de la temperatura del nido.	29
Tabla 6. Beneficiarios directos e indirectos de la investigación.....	35
Tabla 7 Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.....	37



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Resumen

Las tortugas marinas cumplen un papel ecológico esencial en los ecosistemas costeros, pero enfrentan múltiples amenazas que comprometen su supervivencia. En particular, la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*), clasificada en peligro crítico de extinción, ha visto reducidas sus poblaciones debido a la degradación del hábitat, la recolección ilegal de huevos y el cambio climático. En este estudio se evaluó la temperatura de incubación de los nidos y su efecto en la determinación sexual de los neonatos de tortuga Carey en el Tortugario Vivero Guatemala, Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, durante la temporada de anidación 2024. Se utilizaron sensores de temperatura tipo data loggers para registrar la temperatura de incubación, y se aplicó la metodología de estimación indirecta de proporción de sexos con base en la temperatura pivotal de 29.2 °C.

Los resultados mostraron que la mayoría de los nidos superaron la temperatura pivotal, lo que indica un sesgo significativo hacia hembras en la población de neonatos. Además, se estableció un biorepositorio de ADN de tortugas Carey, que permitirá futuros estudios de genética poblacional y conservación. Estos hallazgos son clave para la gestión de tortugarios y playas de anidación en Guatemala, facilitando la implementación de estrategias de mitigación térmica, como el sombreado artificial y la reubicación de nidos. Finalmente, el estudio respalda el uso del análisis genético en la fiscalización del tráfico ilegal de huevos de tortuga, contribuyendo a la conservación de esta especie en peligro crítico.

Palabras clave

1. <i>Eretmochelys imbricata</i>	2. Determinación sexual	3. Temperatura de incubación	4. Biorepositorio de ADN	5. Conservación de tortugas marinas
----------------------------------	-------------------------	------------------------------	--------------------------	-------------------------------------



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Abstract

Sea turtles play a fundamental ecological role in coastal ecosystems, yet they face multiple threats that endanger their survival. In particular, the hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*), classified as critically endangered, has suffered significant population declines due to habitat degradation, illegal egg harvesting, and climate change. This study evaluated nest incubation temperature and its effect on the sex determination of hawksbill turtle hatchlings in the Tortugario Vivero Guatemala, Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, during the 2024 nesting season. Temperature sensors (data loggers) were used to record incubation conditions, and an indirect sex ratio estimation method based on the pivotal temperature of 29.2 °C was applied.

The results showed that most nests exceeded the pivotal temperature, indicating a strong female-biased sex ratio among hatchlings. Additionally, a hawksbill turtle DNA biorepository was established, which will support future studies on population genetics and conservation. These findings are critical for managing hatcheries and nesting beaches in Guatemala, facilitating the implementation of thermal mitigation strategies, such as artificial shading and nest relocation. Lastly, this study supports the use of genetic analysis in the monitoring and prosecution of illegal hawksbill egg trafficking, contributing to the conservation of this critically endangered species.

Keywords

Eretmochelys imbricata, sex determination, incubation temperature, DNA biorepository, sea turtle conservation.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

1. Introducción

Las tortugas marinas juegan un rol ecológico de importancia en los ecosistemas costeros, contribuyendo al equilibrio de las cadenas tróficas y al mantenimiento de los hábitats marinos (Spotila, 2004). Sin embargo, en las últimas décadas, sus poblaciones han disminuido drásticamente debido a la degradación del hábitat, la contaminación marina, el cambio climático y la explotación ilegal de sus huevos y productos derivados (Seminoff & Shanker, 2008). Dentro de este contexto, la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) se encuentra en peligro crítico de extinción según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2021), lo que hace urgente el desarrollo de estrategias efectivas para su conservación y manejo.

Uno de los aspectos críticos en la conservación de esta especie es la determinación del sesgo de sexos inducido por la temperatura de incubación en los nidos. Las tortugas marinas presentan determinación sexual dependiente de la temperatura (TSD, por sus siglas en inglés), un mecanismo en el cual la proporción de machos y hembras en una nidada está determinada por la temperatura de incubación durante el período termosensible del desarrollo embrionario (Bull, Vogt & McCoy, 1982; Mrosovsky et al., 2009). En general, temperaturas por debajo de 29.2 °C favorecen la producción de machos, mientras que temperaturas superiores a este umbral generan mayoritariamente hembras (Merchant, 2000). Dado que el cambio climático y el aumento de la temperatura ambiental pueden sesgar significativamente la proporción de sexos hacia hembras, existe una creciente preocupación sobre las implicaciones a largo plazo para la viabilidad reproductiva y genética de las poblaciones de tortugas marinas (Hawkes et al., 2009).

En Guatemala, la región del Caribe, específicamente el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, es un área clave para la anidación de la tortuga carey. Sin embargo, los datos sobre la proporción de sexos en neonatos en esta región son limitados, lo que dificulta la evaluación del impacto de las condiciones térmicas en la estructura poblacional de la especie. En este contexto, el Tortugario Vivero Guatemala, ubicado en San Francisco del Mar, se ha convertido en una herramienta de conservación esencial, ya que permite la reubicación y protección de nidos, incrementando así el éxito de eclosión. No obstante, hasta la fecha, no se ha evaluado el impacto de las temperaturas de incubación en la proporción de sexos de las crías liberadas en esta zona, lo que representa una laguna de conocimiento clave para la gestión de estos programas de conservación.

Este estudio tiene como propósito determinar la proporción de sexos de los neonatos de tortuga carey en el Tortugario Vivero Guatemala, a partir de la temperatura de incubación registrada en los nidos durante la temporada de anidación 2024. Para ello, se emplearon



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

sensores de temperatura tipo data loggers que permitieron el monitoreo continuo de la temperatura dentro de los nidos, y se utilizó la metodología de estimación indirecta de sexos basada en la temperatura pivotal (Mrosovsky et al., 2009). Además, se estableció un biorepositorio de ADN de tortugas carey, el cual servirá como base para futuros estudios de genética poblacional, filogenia y conservación.

Los resultados obtenidos en esta investigación contribuirán significativamente a la gestión y conservación de *Eretmochelys imbricata* en Guatemala, proporcionando información decisiva sobre la influencia de la temperatura en la determinación sexual de la especie. Asimismo, permitirán optimizar las estrategias de manejo de nidos en tortugarios y playas de anidación, promoviendo la adopción de medidas como el sombreamiento artificial, la reubicación estratégica de nidos y el monitoreo térmico continuo, con el fin de mitigar los efectos del cambio climático en la estructura poblacional de la tortuga carey.

Finalmente, el estudio establece un precedente para el uso de la genética forense en la fiscalización del tráfico ilegal de huevos de tortuga, aportando herramientas innovadoras para la protección de esta especie emblemática.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

2. Contexto de la investigación

La presente investigación se desarrolla en el Caribe de Guatemala, específicamente en el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, departamento de Izabal. Esta área protegida, administrada por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), cuenta con ecosistemas costero-marinos de gran relevancia para la anidación de cuatro especies de tortugas marinas: tortuga verde (*Chelonia mydas*), tortuga baule (*Dermochelys coriacea*), tortuga cabezona (*Caretta caretta*) y tortuga de carey (*Eretmochelys imbricata*) (Conap, 2015). El tortugario Vivero Guatemala, ubicado en la comunidad de San Francisco del Mar dentro de dicho Refugio, fue escogido como sitio principal de estudio debido a su función en la protección y siembra de huevos de tortugas marinas, y por ser el único tortugario activo en el Caribe guatemalteco (Conap, 2020).

La delimitación temporal del proyecto abarca la temporada de anidación de tortugas de carey, que suele ocurrir de mayo a noviembre. A lo largo de este periodo se llevó a cabo la recolección y protección de nidos reubicados en el tortugario, así como el monitoreo de variables ambientales (temperatura y humedad) asociadas a la incubación (Morreale, Ruiz, Spotila & Standora, 1982). El estudio se extendió desde febrero hasta diciembre de 2024, contemplando la instalación de sensores de temperatura en los nidos y la posterior eclosión de los neonatos.

En cuanto a las condiciones ambientales, el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique presenta un clima tropical húmedo caracterizado por temperaturas elevadas y precipitación abundante en la época lluviosa (Conap, 2015). Estas condiciones favorecen el desarrollo de la vegetación costera y manglar, pero también influyen directamente en la temperatura de incubación de los huevos, factor determinante para la proporción sexual de las crías (Bull, Vogt & McCoy, 1982).

La población local de la comunidad de San Francisco del Mar participa activamente en el manejo del tortugario, recibiendo capacitaciones y generando un proceso de concienciación sobre la importancia de la conservación de las tortugas marinas (Conap, 2020). De forma indirecta, se beneficia también el sector turístico, ya que las liberaciones de neonatos pueden convertirse en una atracción para visitantes nacionales e internacionales, promoviendo la educación ambiental y la economía local. Asimismo, la información generada por esta investigación contribuye al cumplimiento de compromisos internacionales de Guatemala para la protección de especies marinas en peligro y fomenta una gestión más responsable de los recursos naturales de la región (Montes, 2004; Conap, 2018).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

3. Revisión de literatura

La determinación sexual dependiente de la temperatura (TSD, por sus siglas en inglés) en reptiles ha sido ampliamente estudiada por su relevancia ecológica y evolutiva. En el caso de las tortugas marinas, este mecanismo se manifiesta cuando la proporción de machos y hembras de la nidada depende de los rangos de temperatura durante la incubación (Bull, Vogt & McCoy, 1982; Morreale, Ruiz, Spotila & Standora, 1982; Merchant, 2000). Diversos autores han demostrado que, de manera general, las temperaturas más elevadas favorecen la formación de hembras, mientras que las más bajas producen machos; a temperaturas cercanas a la “temperatura pivotal”, se obtiene un aproximado de 1:1 en la proporción de sexos (Mrosovsky, Kamel, Diez & van Dam, 2009; Merchant, 2000).

3.1 Antecedentes científicos del fenómeno

En las poblaciones de tortugas marinas, la estructura poblacional y la dinámica reproductiva pueden verse fuertemente afectadas por las variaciones de temperatura en los nidos (Girondot, Fouillet & Pieau, 1998). El llamado período termosensitivo (PTS), ubicado en el segundo tercio de la incubación, es la fase en la que se define el sexo de los embriones (Yntema & Mrosovsky, 1982). Investigaciones como las realizadas por Calderón-Peña et al. (2020) han evidenciado que, en condiciones de calor extremo, el sesgo hacia la producción de hembras puede ser aún mayor, lo cual alerta sobre los impactos del cambio climático en la sostenibilidad de las poblaciones de tortugas marinas.

Por otro lado, se ha documentado que la temperatura no solo influye en la proporción de sexos, sino también en la tasa de crecimiento embrionario, el éxito de eclosión y la supervivencia de los neonatos (Spotila, 2004; Calderón & Azanza, 2021). La variabilidad térmica dentro del nido —debido a factores como la radiación solar, la humedad y el calor metabólico de los embriones— también juega un papel determinante (Miller, 1985; Godfrey & Mrosovsky, 2001). Para comprender estas fluctuaciones, los investigadores suelen emplear termómetros tipo “data loggers” que registran la temperatura en intervalos de tiempo regulares, permitiendo caracterizar el perfil térmico de la incubación (Casthologe et al., 2018; DeGregorio & Southwood, 2011).

3.2 Metodologías y procedimientos empleados en estudios similares

Tradicionalmente, para determinar la proporción sexual de neonatos, se han empleado dos metodologías principales:

1. **Determinación gonadal directa**, que implica la revisión histológica de gónadas en crías muertas o neonatos recién eclosionados (Merchant, 2000; Ceriani & Wyneken, 2007).

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

2. **Estimación indirecta a partir de la temperatura de incubación**, asociando los valores promedio o puntuales de temperatura con la producción de sexos (Bull, Vogt & McCoy, 1982; Mrosovsky et al., 2009). Este segundo método es no invasivo y muy frecuente en proyectos de conservación (Eckert, Bjorndal, Abreu-Grobois & Donnelly, 2000).

Algunos estudios recientes han integrado ambos enfoques, combinando el registro térmico continuo con muestreos puntuales de neonatos para confirmar histológicamente el sexo o para medir niveles hormonales de testosterona mediante pruebas de ELISA (Calderón-Peña et al., 2020; Chavarría-Pérez et al., 2020). Asimismo, la disponibilidad de sensores de temperatura de alta precisión (data loggers) ha facilitado el mapeo térmico del nido a diferentes profundidades (fondo, medio y superficie), generando análisis más detallados de la variación térmica (Staines et al., 2020).

3.3 Estado del arte y diseño utilizado en la investigación 2024

En el Caribe de Guatemala, la mayoría de los esfuerzos de conservación de tortugas marinas se han concentrado en el establecimiento de tortugarios comunitarios, donde se reubican los huevos para mejorar las tasas de eclosión (Conap, 2015; Conap, 2018). No obstante, se carece de datos actualizados sobre la proporción sexual de los neonatos liberados, lo cual dificulta la evaluación del impacto real de dichos proyectos en la dinámica poblacional de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) (Montes, 2004).

Con el fin de llenar este vacío de información, en el presente estudio (ejecutado durante la temporada de anidación 2024) se optó por un **diseño de tipo observacional** basado en la metodología indirecta de monitoreo térmico. Se colocaron termómetros en tres puntos del nido (fondo, centro y superficie), programados para registrar la temperatura de manera horaria durante todo el periodo de incubación, tal como recomiendan Casthologe et al. (2018) y Mrosovsky et al. (2009). Paralelamente, se documentó el éxito de eclosión y se tomaron muestras de neonatos fallecidos para un eventual análisis histológico y/o hormonal, a fin de corroborar la proporción sexual obtenida (Chavarría-Pérez et al., 2020).

Este enfoque integral —temperatura de incubación, análisis de neonatos y colaboración con comunidades locales— permite no solo generar datos fundamentales sobre la ecología reproductiva de las tortugas de Carey en el Caribe de Guatemala, sino también mejorar el manejo de los tortugarios. Además, la información contribuirá a la elaboración de planes de conservación y cumplimiento de los compromisos internacionales de Guatemala para la preservación de especies marino-costeras amenazadas (Conap, 2018; Consejo Nacional de Áreas Protegidas & PNUD, 2018).

En síntesis, las evidencias científicas previas y la adopción de metodologías ajustadas al contexto local, refuerzan la pertinencia y solidez del diseño empleado en el presente proyecto. La recopilación y análisis de los datos de temperatura en los nidos constituye una herramienta



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

DG Dirección General
de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

esencial para inferir la proporción sexual de los neonatos y, con ello, sentar bases para la gestión más efectiva de las poblaciones de tortuga Carey que anidan en el Caribe guatemalteco.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

4. Planteamiento del problema

De las cuatro especies de tortugas marinas que anidan en el Caribe de Guatemala, las tortugas de carey son las más frecuentes, con anidaciones de mayo a noviembre de cada año. El aprovechamiento de los huevos, la alta contaminación en las playas de anidación, y el cambio climático, amenazan seriamente el desarrollo de los nidos de estas tortugas, por lo que se ha implementado el tortugario Vivero Guatemala como estrategia de conservación. El tortugario está registrado y administrado por el Conap, con apoyo de la comunidad San Francisco del Mar. Sin embargo, la falta de recursos monetarios hace que su funcionamiento esté en muy bajo rendimiento. A pesar de que Guatemala tiene compromisos como país miembro de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas, el tema de protección de estas especies se ha descuidado en el Caribe, sobre todo en temas de investigación (Montes, 2004).

En las tortugas marinas el sexo es determinado por la temperatura de la arena que incuba los huevos. (Bull, Vogt, & McCoy, 1982; Morreale, Ruiz, Spotila, & Standora, 1982;). La proporción sexual de neonatos que llegan al mar y sobreviven hasta reproducirse, determina la estructura y dinámica poblacional de tortugas marinas (Vogt, 1994; Lovich, 1996; Girondot, Fouillet, & Pieau, 1998); por lo que los tortugarios deben conocer esta proporción que se libera para evaluar la efectividad del manejo y generar información valiosa que, sin duda alguna, será de utilidad para el resto de países comprometidos con la conservación de estas especies que representan un patrimonio mundial (Eckert, Bjorndal, Abreu-Grobois, & Donnelly, 2000). En neonatos de tortugas marinas no existen características morfológicas visibles que permitan diferenciar entre machos y hembras, por lo que se utilizará la temperatura de los nidos para estimar la proporción sexual de neonatos que se producen en el tortugario Vivero Guatemala, ubicado en San Francisco del Mar, Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Puerto Barrios (Casthologe et al., 2018).

Las tortugas marinas, al igual que muchos reptiles, utilizan un sistema de determinación de sexo dependiente de la temperatura (TSD). Durante el segundo tercio del desarrollo embrionario, ocurre un período crítico llamado período termosensitivo (TSP), en el cual se determina el sexo de la cría. Aunque aún se investiga su valor adaptativo y su influencia en la aptitud de las especies, sabemos que este mecanismo es concluyente para su supervivencia (McCoy, 1983; Wibbels, 2002).

La relación entre la proporción de sexos y la incubación de huevos a temperaturas constantes se caracteriza por dos parámetros clave: Temperatura Pivotal: Es la temperatura a la cual se obtiene una proporción equitativa de machos y hembras. Rango de Temperaturas que Produce Ambos Sexos (TRT): Este rango define las temperaturas que resultan en una mezcla de crías de ambos sexos (Miller, 1985; Wyneken, et al. 2007; Girondot, 2014). Es importante destacar que esta relación es subjetiva, ya que no se aplica a nidos en condiciones naturales,



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

donde las temperaturas fluctúan a lo largo de todo el proceso de incubación (Merchant, 2000). A medida que avanza el desarrollo, las nidadas se exponen a distintas temperaturas ambientales y generan cantidades crecientes de calor metabólico, lo que puede influir en la determinación del sexo de las crías (Morales, B. 2013; Girondot, 2014).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

5. Objetivos

Objetivo General

Contribuir a la conservación de las tortugas de carey (*Eretmochelys imbricata*), a partir de la estimación de la proporción sexual de neonatos, basada en las temperaturas de incubación en el tortugario Vivero Guatemala, Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Puerto Barrios, Izabal.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar el perfil de temperatura de los nidos de tortugas de carey durante el período de incubación, durante la temporada de anidación 2024.
2. Estimar las proporciones sexuales de neonatos de tortugas de carey con base en los perfiles de temperatura obtenidos en cada nido.
3. Establecer un biorepositorio de las tortugas de carey que anidan en el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Puerto Barrios, Izabal.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

6. Hipótesis

Si la temperatura promedio de incubación en los nidos de tortugas de carey (*Eretmochelys imbricata*) del tortugario Vivero Guatemala supera la temperatura pivotal (29.2 °C), entonces se producirá un **sesgo significativo hacia hembras** en la proporción de neonatos, en comparación con la proporción esperada de 1:1.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7. Método

7.1. Tipo de investigación

De acuerdo con los criterios de Frascati (2015), el presente estudio corresponde a una investigación aplicada, pues genera nuevos conocimientos sobre la relación entre la temperatura de incubación y la proporción sexual de las tortugas Carey (*Eretmochelys imbricata*) con miras a un objetivo práctico: contribuir a la conservación de esta especie en peligro de extinción mediante el manejo adecuado de la temperatura en los tortugarios.

7.2. Enfoque y alcance de la investigación

El enfoque adoptado fue cuantitativo, dado que se recopilaron datos de temperatura a lo largo del periodo de incubación, se estimaron proporciones de sexos y se realizaron análisis estadísticos para medir la correlación y la significancia de los resultados.

Respecto al alcance, la investigación se considera correlacional-explicativa, pues, además de describir la variación de temperatura (descriptivo), se examina la relación entre dicha variable y la proporción de machos y hembras en las nidadas (correlacional), con el fin de explicar cómo influye la temperatura promedio de incubación en la determinación del sexo de las crías.

7.3. Diseño de la investigación

Debido a que no se manipularon de forma deliberada las condiciones de incubación ni se asignaron tratamientos experimentales, el estudio se clasifica como no experimental. Dentro de los estudios no experimentales, se adoptó un diseño longitudinal de tipo prospectivo, ya que se realizó un seguimiento continuo de la temperatura en los nidos (utilizando sensores de registro) y se evaluaron los resultados (proporción de sexos) al finalizar la incubación en cada nido.

- Longitudinal: Se monitorearon las temperaturas durante todo el período de incubación (entre 50 y 60 días, aproximadamente, según cada nido).
- Prospectivo: Desde el momento en que se sembraron los nidos en el tortuario, se planificó la recogida de datos de manera sistemática hasta la eclosión.

7.4. Población, muestra y muestreo

- Población de referencia: Comprende todos los nidos de tortuga Carey que se ubican o reubican en tortugarios a lo largo de las playas del Caribe de Guatemala.
- Muestra: Se trabajó con los nidos reubicados de manera oportunista/conveniente en el Tortuario Vivero Guatemala (Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique).

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Dado que la disponibilidad de nidos depende de las arribadas de tortugas durante la temporada de anidación y de la colaboración comunitaria, se determinó un muestreo por conveniencia.

- Criterios de inclusión:
 1. Nidos confirmados de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) recuperados en la playa y reubicados en el tortugario.
 2. Nidos con fecha de siembra y con posibilidad de monitoreo diario o interdiario.
- Criterios de exclusión:
 1. Nidos que presentaran mortalidad total temprana o que se perdieran por efectos de inundaciones o depredación severa.
 2. Nidos con siembras parciales o con información incompleta de la fecha de reubicación.

El número total de nidos incluidos (muestra final) dependió de las arribadas y de la viabilidad de cada nido. Aunque no se realizó un cálculo estadístico formal de la muestra en términos de representatividad, el objetivo de la investigación era caracterizar y explicar el fenómeno dentro de los nidos disponibles.

7.5. Técnicas

1. Monitoreo de temperatura
 - Se emplearon sensores de temperatura tipo data logger (marca/modelo según disponibilidad), programados para registrar la temperatura cada 1 o 2 horas. Estos sensores se colocaron en diferentes profundidades (fondo, centro y superficie del nido) con el fin de caracterizar de forma más completa la variación térmica a lo largo de la incubación.
 - El proceso incluyó:
 - Calibración previa de los sensores en laboratorio (± 0.1 °C de margen de error).
 - Colocación de los sensores en el momento de la siembra del nido.
 - Extracción y descarga de datos al término del período de incubación.
2. Registro de eclosiones y proporción de sexos
 - Observación y conteo: Se revisaron los nidos a partir del día 45 de incubación para detectar signos de eclosión, determinando el número de neonatos eclosionados y el número de huevos no viables.
 - Estimación del sexo: Se utilizó la temperatura pivotal (alrededor de 29.2 °C) como referencia para calcular la proporción sexo-dependiente. De igual manera, en algunos casos, se evaluaron crías muertas para una verificación gonadal o con kits de ELISA (cuando procedía), pero esa práctica fue limitada por la disponibilidad de muestras.
 - Validez y confiabilidad: Se aplicó triangulación con datos de temperatura ambiental y de la superficie del mar (INSIVUMEH), para estimar eventuales

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

lagunas o verificar la consistencia de los registros en caso de fallos en los sensores.

3. Recolección y organización de la información

- Se siguió un diario de campo con fecha, hora y condiciones ambientales (precipitaciones, nubosidad) relevantes.
- Se organizaron las lecturas de los data loggers en plantillas de Excel, facilitando el posterior análisis estadístico (ANOVA, correlaciones, regresiones).
- Se obtuvieron las autorizaciones correspondientes del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap) para la investigación y la manipulación de especies marinas en el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique.

Objetivo 3: Establecimiento de un Biorepositorio de ADN de Tortuga Carey

Materiales y Métodos

Muestras y Almacenamiento

Para la extracción de ADN se utilizaron carcasas de huevos de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*). Se obtuvieron 10 fragmentos de carcasa, los cuales fueron almacenados en etanol al 96% hasta su procesamiento en el laboratorio de Biología Molecular. A su recepción, las muestras fueron conservadas a -20°C para evitar la degradación del ADN antes del inicio del proceso de extracción.

Extracción de ADN

El ADN se extrajo utilizando el kit GenElute™ Mammalian Genomic DNA Miniprep Kits de Sigma-Aldrich, siguiendo el protocolo del fabricante con modificaciones adaptadas para muestras de cáscara de huevo de tortuga.

1. Lisis del Tejido: Se cortó un fragmento de carcasa de 0.5 cm × 0.5 cm y se incubó en una solución de lisis con Proteinasa K a 55 °C durante 24 horas.
2. Purificación: Se añadió etanol al lisado y se utilizó una columna de unión GenElute™ para retener el ADN.
3. Lavado: Se realizaron dos lavados consecutivos con solución tampón para eliminar impurezas.
4. Elución: Se añadieron 70 µL de solución de elución directamente a la columna y se centrifugó a alta velocidad para recuperar el ADN purificado.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Evaluación de la Calidad y Cantidad del ADN

La integridad del ADN se evaluó mediante electroforesis en gel de agarosa al 0.7% con SYBR™ Safe DNA Gel Stain. Se aplicaron muestras de ADN junto con una escalera de 100 pb como referencia y se corrieron a 10 V/cm durante 30 minutos. Posteriormente, las bandas fueron visualizadas en un transiluminador.

Para cuantificar el ADN, se utilizó un fluorímetro Qubit™ con el ensayo Qubit dsDNA HS Assay Kit, obteniéndose concentraciones entre 53 ng/μL y 120 ng/μL, lo que equivale a un rendimiento mínimo de 3,640 ng de ADN por muestra.

Instituciones colaboradoras

- Instituto de Investigaciones del Caribe de Izabal (IICI): Coordinación general y equipamiento.
- Centro Universitario de Izabal (CUNIZAB): Apoyo logístico, análisis estadístico y supervisión de campo.
- Tortugario Vivero Guatemala: Encargado de la reubicación y cuidado de los nidos.

7.6 Resumen de las variables o unidades de análisis

En la siguiente tabla se describen los objetivos específicos, las variables principales o unidades de análisis que se evaluaron, los instrumentos utilizados para su medición y la forma de cuantificarlas o cualificarlas durante la investigación.

Tabla 1

Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.

Objetivo específico	Variable (Unidad de Análisis)	Instrumentos	Unidad de medida / cualificación
1. Caracterizar el perfil de temperatura de los nidos de tortugas de carey durante el	Temperatura de incubación (promedio, mínima y máxima)	Data loggers (sensores de temperatura) programados para medición continua	°C (grados Celsius) para temperatura Clasificación cualitativa de la exposición (sol,

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

período de incubación durante la temporada de anidación 2024.	Exposición al sol (categoría: sol, media sombra, sombra) Tiempo de incubación (días)	Hojas de registro diario de campo Cronómetro/calendario	media sombra, sombra) Días de incubación (conteo)
2. Estimar las proporciones sexuales de neonatos de tortugas de carey con base en los perfiles de temperatura obtenidos en cada nido.	Proporción de sexos (machos vs. hembras) Temperatura pivotal (29.2 °C como referencia)	Data loggers (sensores de temperatura) Observación de crías eclosionadas Análisis estadístico correlacionado (temperatura vs. sex ratio)	Porcentaje estimado de machos/hembras Relación M:H (ej. 1:13) Temperatura promedio asociada (°C)
3. Establecer un biorepositorio de las tortugas de carey que anidan en el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Puerto Barrios, Izabal.	Muestras de tejidos o sangre para análisis futuro Identidad genética (potencial)	Tubos criogénicos, nitrógeno líquido o congelador a -80 °C Registro digital de muestras (software de biorepositorio si aplica)	Códigos de identificación de cada muestra Conjunto de datos de almacenamiento (fecha, hora, ubicación de colecta)

7.7 Procesamiento y análisis de la información.

Dado que la investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo, a continuación se describen las técnicas de análisis de datos empleadas:

1. Ingreso y depuración de datos
 - Los valores de temperatura registrados por los data loggers fueron descargados en formato CSV o Excel y se integraron en una base de datos maestra.
 - Se verificó la presencia de datos atípicos (outliers), datos perdidos (missing) y posibles inconsistencias en las mediciones. Para ello, se emplearon funciones de filtrado y gráficos exploratorios (boxplots) para revisar la coherencia de los valores.
2. Estadística descriptiva
 - Promedios, mínimos y máximos: Se calcularon por cada nido y/o sensor, describiendo la tendencia central y la dispersión (desviación estándar).

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Tablas y gráficos de frecuencia: Se elaboraron histogramas para observar la distribución de los datos de temperatura e identificar si se ajustaban a una distribución aproximadamente normal.
- 3. Análisis de correlación y regresión
 - Se evaluó la correlación entre la temperatura de incubación y la proporción de sexos estimada, así como con la duración (en días) de la incubación.
 - Regresión lineal múltiple: En el caso de que se reconstruyeran datos de temperatura faltantes a partir de la temperatura ambiental y la temperatura superficial del mar, se ajustó un modelo de regresión múltiple (ej. $T_{\text{nido}} = a + b_1T_{\text{superficial}} + b_2T_{\text{ambiente}}$).
 - Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante pruebas como Shapiro-Wilk y Levene, según correspondiera. Si los datos no cumplían los supuestos paramétricos, se consideraron transformaciones o pruebas no paramétricas.
- 4. Pruebas de hipótesis
 - Nivel de confianza y significancia: Se estableció un nivel de confianza del 95%, con $p < 0.05$ como criterio para rechazar la hipótesis nula en pruebas como ANOVA o t de Student, si se compararon promedios.
 - ANOVA: Empleado para identificar diferencias significativas en la temperatura promedio entre distintas ubicaciones (fondo, superficie) y niveles de exposición (sol, sombra, media sombra). Posteriormente, se aplicó la prueba post hoc de Tukey para comparar grupos específicos cuando el ANOVA indicaba diferencias estadísticamente significativas.
- 5. Estimación de la proporción sexual
 - Se asignaron a “sexo masculino” los días en que la temperatura media del nido fue inferior o igual a la temperatura pivotal (29.2 °C), y a “sexo femenino” aquellos días en que la temperatura superó la pivotal. Se generó así una proporción M:H estimada, según la metodología descrita en la literatura (Bull, Vogt & McCoy, 1982; Mrosovsky et al., 2009).
 - En los casos en que se contó con neonatos fallecidos, se realizó observación histológica de gónadas o pruebas de ELISA (testosterona), corroborando así la exactitud de la proporción estimada.
- 6. Programas de cómputo
 - Se utilizaron herramientas como Microsoft Excel® para la organización inicial de los datos y la elaboración de gráficos descriptivos. Así como de los análisis estadísticos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

8. Aspectos éticos y legales

La presente investigación involucró el monitoreo de nidos y manejo de huevos de tortuga de carey (*Eretmochelys imbricata*), especie catalogada en peligro crítico a nivel global por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Por consiguiente, se siguieron procedimientos y lineamientos que garantizaron el bienestar de los organismos en cada fase del proyecto.

1. Permiso de investigación y registro ante el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP)
 - Se gestionó el Permiso de Investigación y Registro de Investigadores ante la Dirección Regional Nororiente del CONAP, conforme a la Resolución 03-25-19 y el Acuerdo Interno 49/2020, publicado en el Diario de Centroamérica el 12 de febrero de 2020.
 - Dicho registro habilitó al equipo de investigación y a la institución para la toma de datos, monitoreo y manipulación de huevos de tortugas marinas en el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, de acuerdo con las disposiciones vigentes para la protección de la diversidad biológica.
2. Bienestar animal
 - Para la manipulación de los huevos, se aplicaron protocolos de manejo mínimo que redujeron el estrés y evitaron daños a los organismos. No se practicaron intervenciones invasivas ni extracciones de sangre que pudieran comprometer la sobrevivencia de las crías.
 - Al detectarse neonatos muertos, se siguieron los lineamientos de bioseguridad y disposición de restos biológicos, resguardando cualquier posible riesgo de contaminación o contagio en el tortugario. los procedimientos aplicados en campo (reubicación, manipulación, monitoreo) se alinearon explícitamente con las definiciones de trato digno, respeto, y condiciones apropiadas conforme a los artículos 2, 3, 13 y 14 del Decreto 5-2017.
3. Comité de bioética
 - Aunque la investigación no implicó experimentación con animales bajo condiciones de laboratorio o ensayos farmacológicos, se procuró cumplir con principios éticos de no maltrato y respeto a la especie. En el caso de la USAC, los proyectos con especies silvestres deben contar con la opinión favorable



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

del Comité de Ética en Investigación o bien un dictamen que certifique el cumplimiento de las normas para uso de fauna silvestre.

4. Cumplimiento de la normativa de patrimonio cultural

- Dado que el presente estudio se enmarca en el eje de biodiversidad y no en la investigación arqueológica, no se requirió la solvencia profesional del Instituto de Antropología e Historia (IDAEH). No obstante, de haber sido necesario el acceso o la intervención en áreas con valor arqueológico, se habría gestionado la autorización según el Decreto 26-97 y la reforma 81-98.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

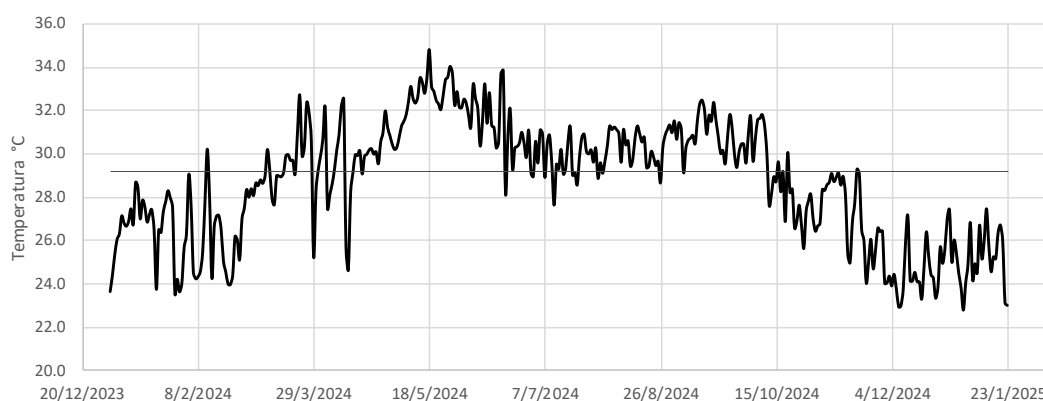
9. Resultados y discusión

1. Caracterizar el perfil de temperatura de los nidos de tortugas de carey durante el período de incubación durante la temporada de anidación 2022.

Durante el periodo de incubación de la tortuga carey (julio a noviembre), la temperatura promedio en los nidos fue de 29.43°C, con valores extremos de 32.46°C como máxima y 24.02°C como mínima. En julio, la temperatura media fue de 29.1°C, con la mayoría de los días cercanos a la temperatura pivotal de 29.2°C. En agosto, el promedio aumentó a 29.7°C, con predominio de valores superiores a la pivotal, lo que sugiere un sesgo hacia una mayor proporción de crías hembras. En septiembre, la temperatura promedio fue de 29.6°C, con una estabilidad térmica que favoreció condiciones cálidas. Octubre registró un promedio de 29.4°C, con fluctuaciones diarias, pero manteniendo una tendencia cálida, mientras que en noviembre la temperatura bajó ligeramente a 29.1°C, con una tendencia decreciente hacia finales del mes. En total, se registraron 94 días con temperaturas superiores a la pivotal y 59 días con valores iguales o inferiores, lo que sugiere condiciones favorables para una proporción mayor de hembras en la incubación (Figura No.1).

Figura 1

Temperatura de los nidos de tortuga Carey en el Tortugario Guatemala durante al año 2024.



Nota. La figura 1 muestra la inestabilidad en la temperatura durante el periodo de incubación de los nidos

Las variaciones de temperatura registradas en los nidos mostraron diferencias de hasta +6.45°C por encima de la temperatura superficial de la arena y hasta -3.44°C por debajo. El

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

26% de las mediciones dentro del nido fueron superiores a la temperatura superficial de la arena, un 9% coincidieron con esta, mientras que el 65% registraron valores inferiores.

Los registros de temperatura de los nidos del tortugario fueron reconstruidos a partir de los registros de seis sensores de temperatura colocados en el tortugario en tres condiciones de exposición solar (Sol expuesto, a media sombra y bajo sombra) y dos profundidades (superficial a 5 cm de nivel de arena y a profundidad de nido, 40 cm de profundidad).

El análisis de los sensores de temperatura en el tortugario indica que las condiciones de exposición al sol influyen significativamente en las temperaturas registradas. Los sensores expuestos directamente al sol, tanto en la superficie (Supf_Exp_Sol) como en el fondo (Fon_Exp_Sol), muestran temperaturas promedio de 25.74 °C y 25.48 °C, respectivamente, con valores máximos que alcanzan los 33.33 °C y 34.06 °C. En contraste, los sensores en áreas sombreadas, como Supf_Somb y Fond_Somb, registran promedios ligeramente más altos (25.83 °C y 25.94 °C), pero con máximos menores (31.78 °C y 35.33 °C). Curiosamente, los sensores con exposición parcial al sol (Supf_Mit_sol y Fon_Mit_sol) presentan promedios intermedios (25.67 °C y 25.54 °C) y máximos más bajos (29.65 °C y 33.43 °C).

Tabla 2

Estadística descriptiva de la temperatura de los seis sensores.

Etiquetas de fila	Promedio de T°C	Mín. de T°C	Máx. de T°C	Desvestp de T°C
Fon_Exp_Sol	25.476	21.569	34.058	2.317
Fon_Mit_sol	25.542	21.664	33.430	2.341
Fond_Somb	25.936	21.569	35.328	2.734
Supf_Exp_Sol	25.736	23.004	33.326	1.486
Supf_Mit_sol	25.673	22.908	29.652	1.498
Supf_Somb	25.833	22.525	31.778	1.694
Total general	25.699	21.569	35.328	2.073

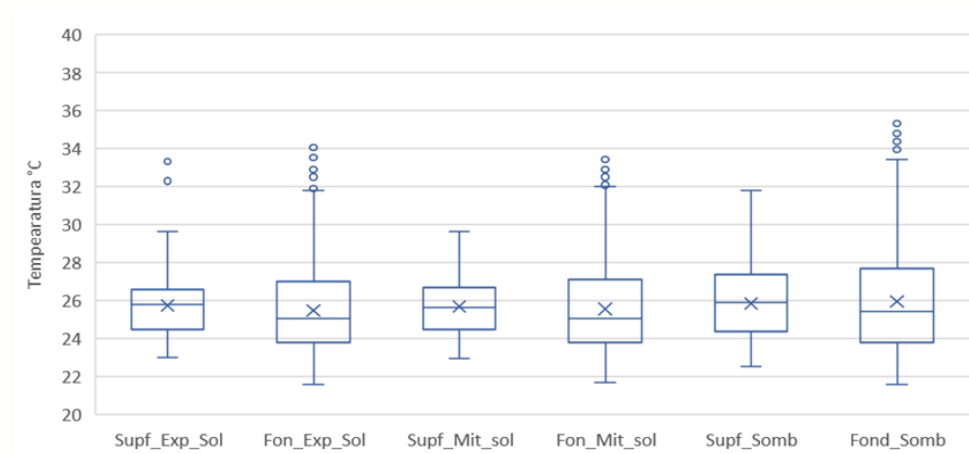
Nota. La Tabla 2 nos muestra la alta variación en la temperatura y una desviación promedio de hasta 2 grados.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

El análisis de varianza (ANOVA) confirmó diferencias significativas entre las medias de las temperaturas ($p = 0.001$), y las pruebas post hoc de Tukey identificaron que las diferencias más notables se dan entre los sensores expuestos al sol y aquellos en sombra. Además, se observó una alta correlación entre sensores en condiciones similares, como entre Supf_Exp_Sol y Fon_Exp_Sol ($r = 0.95$), lo que sugiere que las temperaturas en ubicaciones con exposición similar varían de manera consistente (Figura No.2). Estos resultados subrayan la importancia de gestionar la exposición al sol en el tortugario para controlar las temperaturas de incubación, lo cual es decisivo para influir en la proporción de sexos de las crías de tortugas, especialmente en un contexto de calentamiento global.

Figura 2

Rangos de temperatura de los sensores colocados en el tortugario Guatemala, San Francisco del Mar.



Nota. La figura 2 nos muestra en este gráfico de cajas que no existe una temperatura estable durante los periodos de incubación de los nidos de tortuga.

Los valores diarios de temperatura en los nidos del tortugario fueron correlacionados con los registros de temperatura superficial del mar y temperatura ambiental del área de Puerto Barrios, generando una correlación lineal múltiple que permitiera reconstruir los datos de los meses en que no se contaba con información de la temperatura en los nidos. Estimándose los coeficientes $a = -3.781$, $b_1 = 0.251$ y $b_2 = 0.961$.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 3

Estimadores de la regresión lineal múltiple de los valores de temperatura de los nidos, la temperatura superficial del mar y la temperatura ambiental

Estadísticas de la regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0.891
Coeficiente de determinación R^2	0.793
R^2 ajustado	0.788
Error típico	0.843
Observaciones	75

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	196.422	98.211	138.333	2.1737E-25
Residuos	72	51.117	0.710		
Total	74	247.539			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	-3.781	2.927	-1.292	0.201	-9.617	2.055
TSM	0.251	0.122	2.056	0.043	0.008	0.495
TEPB	0.916	0.068	13.507	0.000	0.781	1.051

Nota. La tabla 3 nos muestra el análisis estadístico de los datos generados al analizar los parámetros de temperatura en el tortugario Guatemala.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Discusión

La determinación sexual dependiente de la temperatura (TSD, por sus siglas en inglés) constituye uno de los rasgos más singulares y trascendentales en la biología reproductiva de las tortugas marinas. En el caso de la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*), se ha establecido que la temperatura pivotal para la determinación del sexo se aproxima a los 29.2 °C; por encima de este valor, la incubación tiende a producir una mayor proporción de hembras (Bull, Vogt & McCoy, 1982; Freedberg & Nelson, 2013; Mrosovsky, Kamel, Diez & van Dam, 2009). En la presente investigación, la temperatura promedio de 29.43 °C —con un rango de 24.02 °C a 32.46 °C— evidencia que, durante la mayor parte de la incubación, las crías estuvieron expuestas a temperaturas superiores a la pivotal, favoreciendo así una marcada feminización de la población.

El incremento térmico en los nidos está fuertemente influenciado por factores tanto macroambientales como microambientales. Desde la perspectiva regional, el análisis de regresión lineal múltiple ($R^2 \approx 0.79$) revela la influencia significativa que ejercen la temperatura superficial del mar y la temperatura atmosférica de Puerto Barrios, lo que coincide con estudios que relacionan la variabilidad térmica costera con cambios locales en las playas de anidación (Hawkes, Broderick, Godfrey & Godley, 2009; Poloczanska, Limpus & Hays, 2009; Patrício et al., 2017). No obstante, alrededor de un 21% de la variación térmica se atribuye a factores microambientales, entre los que destacan la compactación de la arena, la profundidad del nido, la orientación respecto al sol y el calor metabólico generado por los embriones (Ackerman, 1997; Hays, Broderick, Glen & Godley, 2003; Howard, Bell & Pike, 2014). Estos elementos, a menudo subestimados, pueden dar lugar a microclimas diferenciados incluso dentro de la misma playa, condicionando la tasa de eclosión y el destino sexual de las crías.

La exposición solar directa surge como uno de los factores con mayor incidencia en la elevación de la temperatura de la arena. Los nidos situados en áreas sin cobertura vegetal experimentan mayor radiación y, en consecuencia, registran temperaturas más altas que aquellos ubicados bajo sombra o vegetación parcial (Godfrey & Mrosovsky, 2001; Van de Merwe, Ibrahim & Whittier, 2005; Staines, Booth, Webster & Booth, 2020). Estas disparidades térmicas pueden traducirse en proporciones de sexos fuertemente sesgadas hacia hembras, con posibles repercusiones genéticas y demográficas a largo plazo (Lovich, 1996; Girondot, Fouillet & Pieau, 1998).

Las implicaciones de una feminización tan marcada revisten especial relevancia para una especie catalogada En Peligro Crítico por la UICN, pues si bien un excedente de hembras podría, en principio, acelerar la recuperación numérica de la población, la carencia de machos a largo plazo puede comprometer su diversidad genética y resiliencia (Hawkes et al., 2009; Freedberg & Nelson, 2013). Así, resulta prioritario desarrollar estrategias de conservación



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

que mitiguen la exposición térmica excesiva en las playas de anidación. Entre las medidas más recomendadas se destacan:

1. **Sombreado artificial:** La instalación de mallas o estructuras de origen vegetal para reducir la radiación solar directa puede disminuir en 1-2 °C la temperatura en la cámara de incubación (Jourdan & Fuentes, 2015; Van de Merwe et al., 2005).
2. **Reubicación de nidos:** El traslado de los huevos desde áreas muy cálidas hacia zonas con mayor vegetación o humedad previene que el sobrecalentamiento alcance niveles que pongan en riesgo el éxito de eclosión (Eckert, Bjorndal, Abreu-Grobois & Donnelly, 1999; Houghton, Myers, Lloyd, King & Isaacs, 2007).
3. **Riego controlado:** La aplicación de agua en la superficie del nido puede moderar la temperatura, siempre que se realice bajo un estricto monitoreo para evitar que el exceso de humedad perjudique el desarrollo embrionario (Booth & Evans, 2011).
4. **Monitoreo climático continuo:** El seguimiento sistemático de la temperatura de la arena, de la variación en la temperatura superficial del mar y de las condiciones atmosféricas locales es esencial para ajustar oportunamente las tácticas de conservación frente a escenarios de cambio climático (Laloë, Cozens, Renom, Taxonera & Hays, 2017; Fuentes, Pike, Dimatteo & Wallace, 2022).

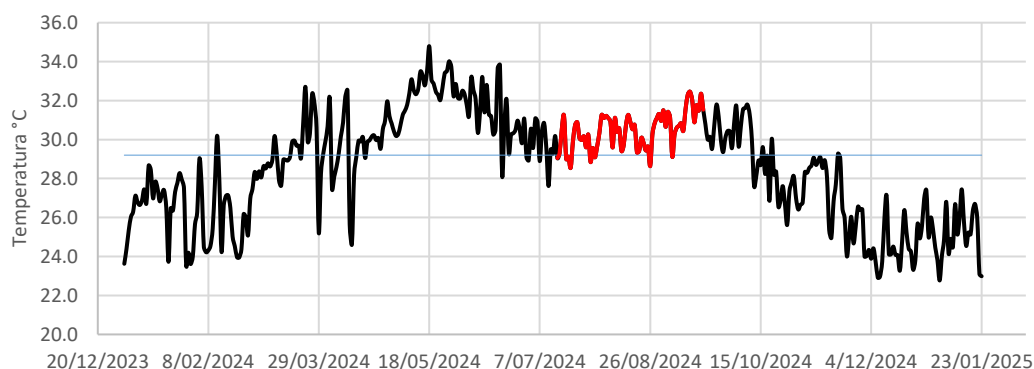
2. Proporción de sexo de los neonatos de tortugas de carey producidos en el tortugario Vivero Guatemala.

El nido No.1 fue sembrado el 15 de julio de 2024, y las tortugas nacieron el 6 de septiembre, con un periodo de incubación de 53 días. La temperatura promedio del nido fue de 30.21 °C (desviación estándar: 0.82 °C), con valores mínimos de 28.55 °C y máximos de 31.50 °C (Figura No.1). De los 43 huevos sembrados, 41 eclosionaron, resultando en un éxito de eclosión del 95%.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 3

Temperatura del nido No.1. en el Tortugario Guatemala, San Francisco del Mar.

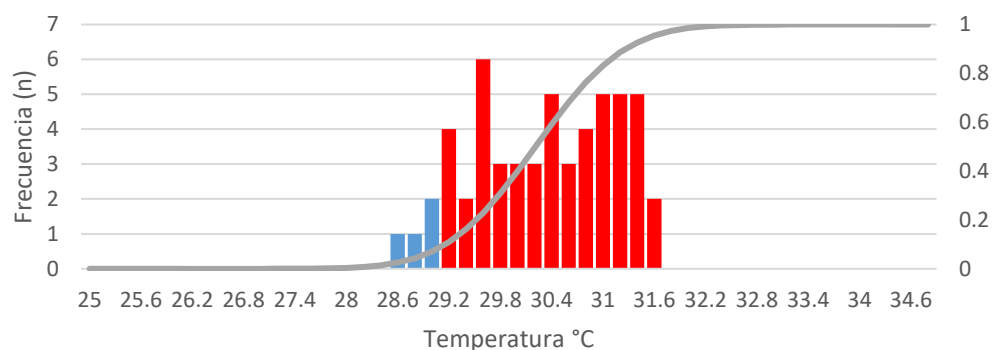


Nota. La figura 3 nos muestra las diferencias entre la temperatura durante periodos cortos de medición.

Considerando la cantidad de días con temperaturas por debajo de la temperatura pivotal de 29.2 °C, se estima que 7.4% de los organismos serían machos y 92.6% hembras, lo que representa una proporción de sexos de 1:13 (machos:hembras). Este resultado indica una fuerte inclinación hacia la producción de hembras, lo que podría influir en la dinámica poblacional de la especie.

Figura 4

Rango y frecuencia de los datos de temperatura durante la anidación



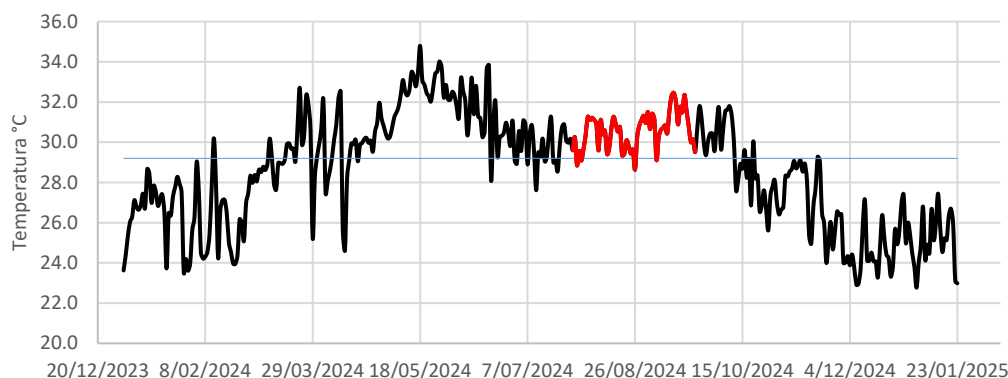
Nota. 1. Color azul valores inferiores a la temperatura pivotal, valores en rojo mayores. Línea gris muestra la distribución acumulada de la normal de los datos, la cual muestra la amplitud de los datos.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

El nido No.2 fue sembrado el 28 de julio de 2024, y las tortugas nacieron el 23 de septiembre, con un periodo de incubación de 57 días. La temperatura promedio del nido fue de 30.56 °C (desviación estándar: 0.90 °C), con valores mínimos de 28.64 °C y máximos de 32.46 °C (Figura No.5). De los 144 huevos sembrados, 100 eclosionaron, resultando en un éxito de eclosión del 83% y 56% en los dos subnidos.

Figura 5

Temperatura del nido No.2. en el Tortugario Guatemala, San Francisco del Mar.

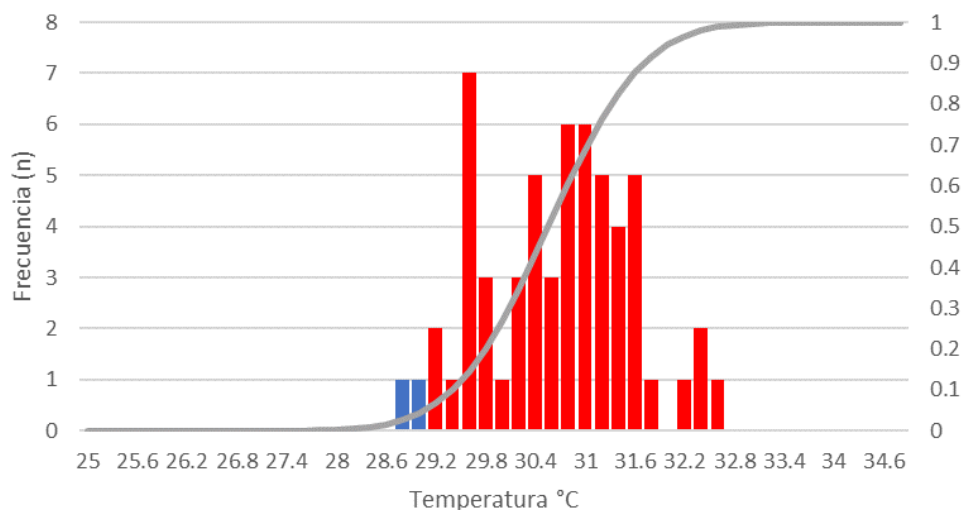


Nota. Considerando la cantidad de días con temperaturas por debajo de la temperatura pivotal de 29.2 °C, se estima que 3.4% de los organismos serían machos y 96.6% hembras, lo que representa una proporción de sexos de 1:28 (machos:hembras) en ambos subnidos (Figura No.6).

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 6

Rango y frecuencia de los datos de temperatura durante la anidación del Nido 2



Nota. Color azul valores inferiores a la temperatura pivotal, valores en rojo mayores. Línea gris muestra la distribución acumulada de la normal de los datos, la cual muestra la amplitud de los datos.

El nido No.3 fue sembrado el 2 de agosto de 2024, y las tortugas nacieron el 23 de septiembre, con un periodo de incubación de 52 días. La temperatura promedio del nido fue de 30.66 °C (desviación estándar: 0.86 °C), con valores mínimos de 28.64 °C y máximos de 32.46 °C (Figura No.8). De los 130 huevos sembrados, 68 eclosionaron, resultando en un éxito de eclosión del 74% y 31% en los dos subnidos.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 7

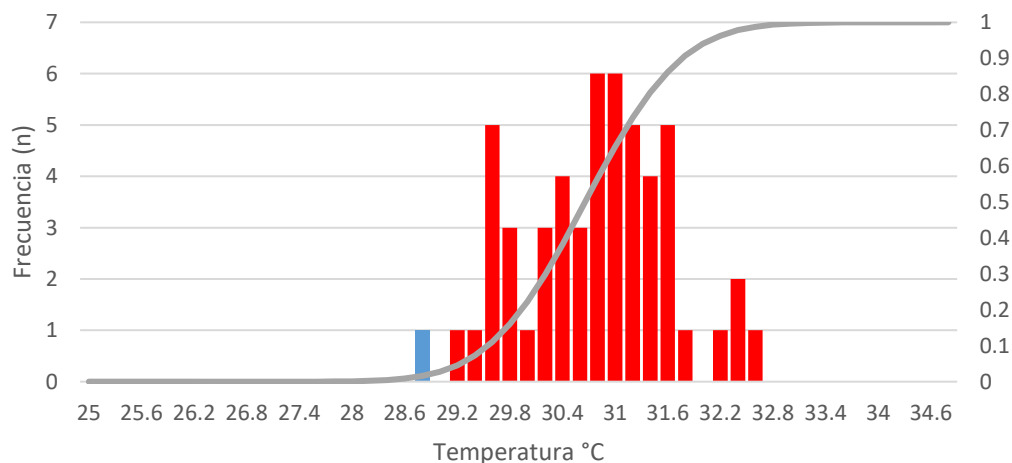
Temperatura del nido No.3. en el Tortugario Guatemala, San Francisco del Mar.



Nota. Considerando la cantidad de días con temperaturas por debajo de la temperatura pivotal de 29.2 °C, se estima que 1.9% de los organismos serían machos y 98.1% hembras, lo que representa una proporción de sexos de 1:52 (machos:hembras) en ambos subnidos.

Figura 8

Rango y frecuencia de los datos de temperatura durante la anidación del Nido 3.



Nota. Color azul valores inferiores a la temperatura pivotal, valores en rojo mayores. Línea gris muestra la distribución acumulada de la normal de los datos, la cual muestra la amplitud de los datos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los valores de temperatura estimados para los periodos de los nidos del tortugario Guatemala se presentan en la Tabla No.1. Se incluyen los nidos que no fueron viables (Nidos 4,5 y 6).

Tabla 4

Valores de temperatura para los nidos del tortugario Guatemala.

Nido	Temp Min	Temp Max	Días de incubación	Fecha de Simbra	Fecha de eclosión	T °C Promedio	DS T°C
1	28.55	31.50	53	15/7/2024	6/9/2024	30.21	0.822
2	28.64	32.46	57	28/7/2024	23/9/2024	30.56	0.902
3	28.64	32.46	52	2/8/2024	23/9/2024	30.66	0.863
4*	28.64	32.46	54	9/8/2024	2/10/2024	30.60	0.878
5*	25.62	32.46	54	4/9/2024	28/10/2024	29.95	1.715
6*	25.62	32.46	54	6/9/2024	30/10/2024	29.87	3.257

Nota. *Nidos sin eclosionar, de considero el periodo promedio de incubación de 54 días.

En la tabla No.5 se muestran la cantidad de huevos sembrados, numero de organismos muertos, estimación de tortugas macho y hembras, así como la proporción estimada.

Tabla 5

Estimación de proporción de sexos para la tortuga Carey a partir de la temperatura del nido.

Nido	% Machos	% Hembras	Sembrados	SubNido	Mue rtos	Estimació n de Machos	Estimación de Hembras	Proporción M:H
1	7.4%	92.6%	43	43	2	3.04	38	1:13
2	3.4%	96.6%	144	72	12	2.07	58	1:28
				72	32	1.38	39	1:28
3	1.9%	98.1%	130	65	17	0.91	47	1:52
				65	45	0.38	20	1:52
4*	1.8%	98.2%	110	55	55	0.0	0	



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

				55	55	0.0	0
5*	25.5%	74.5%	110	55	55	0.0	0
				55	55	0.0	0
6*	29.1%	70.9%	160	50	50	0.0	0
				50	50	0.0	0
				60	60	0.0	0
				Total	8	201	1:26

Nota. La estimación presentada en esta tabla esta basada en los datos de temperatura recolectados

Discusión.

Los registros de temperatura en los nidos del tortugario Vivero Guatemala sugieren un escenario de feminización elevado, donde las temperaturas promedio superan consistentemente la temperatura pivotal (29.2 °C). Esta tendencia se alinea con la bibliografía previa que establece una relación directa entre temperaturas altas y la producción de crías hembras en tortugas marinas (Bull, Vogt & McCoy, 1982; Morreale, Ruiz, Spotila & Standora, 1982). Desde una perspectiva ecológica, este sesgo puede repercutir en la estructura y dinámica de las poblaciones de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), pues la disponibilidad de machos resulta esencial para la diversidad genética y la viabilidad reproductiva a largo plazo (Girondot, Fouillet & Pieau, 1998).

En cuanto a la duración de la incubación, los resultados muestran una relación inversamente proporcional con la temperatura, es decir, a mayor promedio térmico, menor número de días de incubación. Este patrón coincide con lo reportado por Morales (2013) para *Lepidochelys olivacea*, aunque en el caso de la tortuga carey, los períodos de incubación tienden a ser ligeramente más prolongados debido a diferencias interespecíficas en su fisiología y ecología reproductiva (Spotila, 2004). Aun así, ambas especies comparten la sensibilidad térmica para la determinación sexual, lo cual demuestra la relevancia de vigilar y, cuando sea factible, manejar las temperaturas de incubación en los tortugarios.

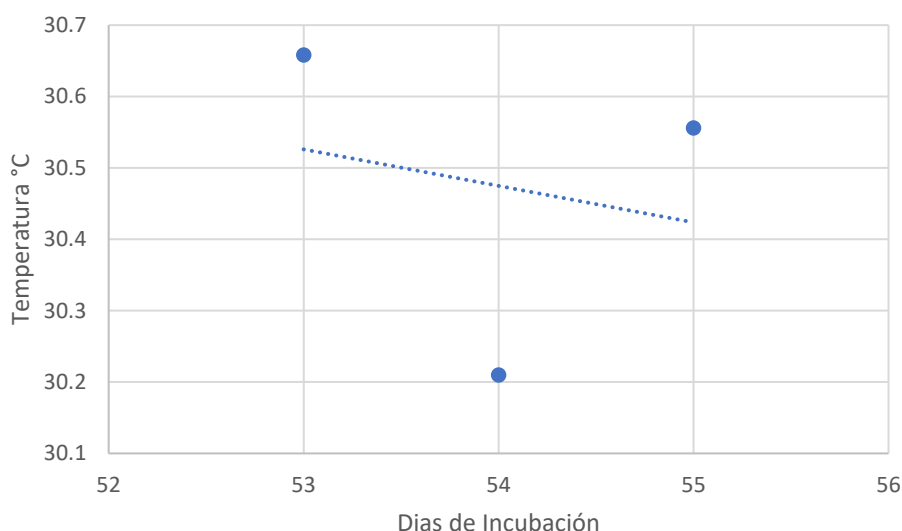
La proporción de sexos de aproximadamente 1:26 (M:H) refleja un desequilibrio claro, acentuado por la alta frecuencia de temperaturas por encima de la pivotal. En otros escenarios, como en El Salvador, se han encontrado sesgos menos pronunciados (1:5.8), lo que sugiere que factores como la exposición solar, la profundidad de siembra y la intervención humana (riegos o sombreados artificiales) pueden moderar estas condiciones térmicas (Chavarría et al., 2020). El hecho de que los porcentajes de hembras oscilen entre

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

70.91% y 100% subraya la urgencia de instaurar estrategias de manejo que reduzcan las altas temperaturas en la arena, especialmente en los meses más cálidos o en áreas con alta insolación.

Figura 9

Diagrama de regresión lineal de temperatura de nidos de tortuga



Nota. Diagrama de regresión lineal que sugiere la relación inversamente proporcional entre la temperatura promedio de los nidos y la duración de sus periodos de incubación.

Este marcado sesgo femenino conlleva implicaciones importantes para la sostenibilidad de la población, pues, si la proporción de machos se mantiene en niveles muy bajos, la efectividad reproductiva podría disminuir a futuro (Lovich, 1996). Para contrarrestar esta problemática, se recomiendan técnicas de enfriamiento, tales como la instalación de mallas de sombra, la reubicación de nidos a sitios con vegetación natural o zonas con menor radiación solar, e incluso la irrigación controlada de los nidos (Staines et al., 2020). Estas medidas han demostrado ser útiles en diversos países como Costa Rica y México, contribuyendo a generar un rango térmico más equilibrado y, con ello, una estructura de sexos que favorezca la viabilidad de la especie.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Objetivo 3: Establecimiento de un Biorepositorio de ADN de Tortuga Carey

El método de extracción aplicado permitió obtener 70 μL de eluido por cada una de las muestras derivadas de cáscaras de huevo de tortuga marina. El análisis cualitativo en gel de agarosa al 0.7% evidenció la presencia de un ADN altamente integro, reflejado en bandas robustas y definidas, ubicadas cerca de los pozos de carga (Fig. XX). Estas características sugieren que la longitud de los fragmentos de ADN supera los 2000 pares de bases, lo cual es fundamental para asegurar la viabilidad de múltiples aplicaciones de biología molecular, como amplificaciones genómicas y estudios de genética poblacional.

Figura 10

Extracción de ADN de las muestras de carcassas de huevos de tortuga.



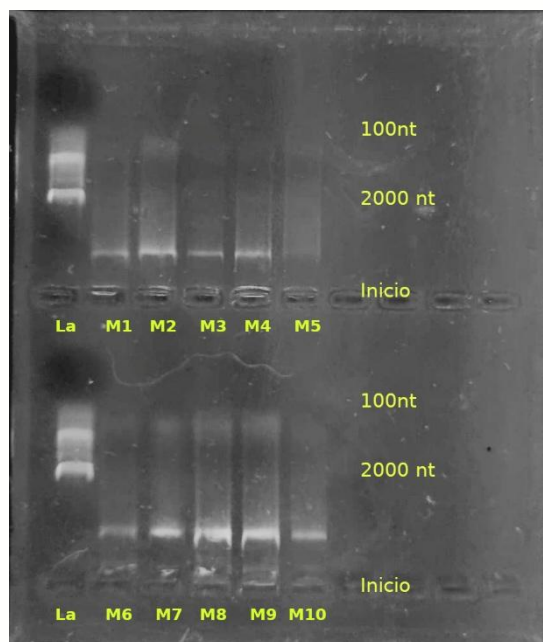
Nota. Fotografía de la extracción de ADN de los huevos de tortuga no nacidos.

Igualmente, la intensidad de las bandas confirma la presencia de concentraciones notables de ADN en todas las muestras. Para respaldar cuantitativamente estos resultados, se empleó un sistema de fluorescencia Qubit, cuyos datos indicaron niveles mínimos de 53 $\text{ng}/\mu\text{L}$ y valores superiores a 120 $\text{ng}/\mu\text{L}$ en tres de las muestras analizadas. Teniendo en cuenta que se recuperaron 70 μL de eluido por muestra, cada una proporciona al menos 3640 ng de ADN, cantidad suficiente para abarcar diversos análisis moleculares (por ejemplo, secuenciación de nueva generación, genotipificación de SNPs y tipificación de microsatélites).

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 11

Gel de agarosa al 0.7% con el ADN purificado.



Nota. Resultados de la electroforesis durante la extracción del ADN.

En conjunto, estos hallazgos resaltan la eficiencia del protocolo utilizado y la alta calidad del material genético obtenido a partir de las carcasas de huevo de tortuga marina. Dichas cualidades refuerzan la utilidad de esta aproximación en futuros estudios de conservación, genética poblacional y ecología molecular, pues garantizan la disponibilidad de un ADN apto para una amplia gama de ensayos experimentales.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

10. Propiedad intelectual

Los resultados obtenidos en esta investigación tienen potencial para ser protegidos bajo derechos de propiedad intelectual, especialmente en lo que respecta a la creación del biorepositorio de ADN de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) y su aplicación en estudios de genética de conservación. A continuación, se detallan los posibles alcances de protección y las gestiones necesarias en caso de ser aplicables:

1. Base de datos de ADN de tortuga Carey

- El biorepositorio generado a partir de la extracción de ADN de carcasas de huevo representa un recurso genético de alto valor para la conservación y manejo de la especie.
- Si se sistematiza en una base de datos con metadatos asociados (ubicación, linajes, análisis genéticos), esta información podría ser protegida bajo derechos de propiedad intelectual como una base de datos científica conforme a la legislación vigente.

2. Aplicaciones en genética forense y conservación

- Si el biorepositorio se utiliza para el rastreo de linajes maternos y la identificación de individuos en tráfico ilegal de huevos de tortuga, podría ser sujeto a protección intelectual en el contexto de la biotecnología aplicada a la conservación.
- Esto permitiría su uso exclusivo bajo acuerdos de colaboración con entidades gubernamentales y ONGs para la identificación de origen de huevos en decomisos y el control del comercio ilegal.

3. Colaboraciones y acuerdos de acceso a los datos genéticos

- En caso de compartir o utilizar los datos del biorepositorio en estudios internacionales, se sugiere establecer acuerdos de acceso y beneficio compartido (ABS) conforme al Protocolo de Nagoya, asegurando que el material genético obtenido en Guatemala se utilice en beneficio de la conservación local.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

11. Beneficiarios directos e indirectos

Tabla 6.

Beneficiarios directos e indirectos de la investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de Beneficiarios indirectos
Biorepositorio de ADN de tortuga Carey	- Investigadores en genética de conservación - Laboratorios de biología molecular - Instituciones académicas y científicas	10-15 investigadores directos	- Programas de conservación de tortugas marinas - Organismos gubernamentales de biodiversidad - ONGs ambientales	100+ personas involucradas
Optimización del método de extracción de ADN en carcassas de huevo	- Laboratorios de biotecnología y genética - Universidades con programas en biología marina	5-10 laboratorios o grupos de investigación	- Investigaciones futuras en genética poblacional - Estudios de impacto ambiental - Entidades que estudian la conectividad genética de las tortugas	500+ personas beneficiadas
Generación de información genética de tortugas Carey	- Centros de investigación marina - Autoridades de conservación de especies marinas	3-5 instituciones	- Proyectos de conservación a nivel nacional e internacional - Redes de colaboración científica	200+ investigadores y técnicos



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Posible uso forense del ADN para combatir el tráfico ilegal de huevos	- Autoridades ambientales y judiciales - Unidades de fiscalización de delitos ambientales	5-10 instituciones gubernamentales	- Programas de protección de tortugas - Comunidades costeras dependientes del turismo sostenible	1000+ beneficiarios indirectos
Datos genéticos para estudios de parentesco y filogenia	- Biólogos marinos - Estudiantes de postgrado en genética y conservación	50+ estudiantes e investigadores	- Programas académicos y redes internacionales de conservación	500+ personas



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

12. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

Describa con evidencia en la tabla 3 las actividades realizadas. Marque con una X las actividades que realizó. Dependiendo de la investigación agregue otras actividades.

Tabla 7

Estrategia de divulgación y difusión de los resultados

	Sí	No
Presentación TV		X
Entrevistas radiales	X	
Podcast		X
Entrevista DIGI		X
Recursos audiovisuales	X	
Congresos científicos nacionales o internacionales		X
Talleres		X
Publicación de libro		X
Publicación de artículo científico	X	
Divulgación por redes sociales institucionales	X	
Presentación pública	X	
Presentación autoridades USAC	X	
Presentación a beneficiarios directos		X
Entrega de resultados	X	
Docencia en grado		X



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

	Sí	No
Docencia postgrado		X
Póster científico		X
Trifoliales		X
Conferencias		X
Otro (describa)		

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

13. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

Los resultados obtenidos en esta investigación contribuyen directamente a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND) de Guatemala, especialmente en los ejes relacionados con medio ambiente, biodiversidad, ciencia y tecnología. A continuación, se detalla la vinculación con metas específicas:

Meta 12.4: Protección de los ecosistemas y la biodiversidad

Contribución:

- El biorepositorio de ADN de tortuga Carey generado en esta investigación proporciona una herramienta clave para el monitoreo genético y la conservación de la especie, lo que permite evaluar la diversidad genética y la conectividad entre poblaciones en el Caribe guatemalteco.
- La caracterización genética obtenida ayuda a mejorar las estrategias de manejo y protección de *Eretmochelys imbricata*, una especie en peligro crítico según la UICN.
- Los datos genéticos pueden ser utilizados en planes de conservación y regulaciones ambientales, alineándose con los esfuerzos nacionales e internacionales para la protección de la biodiversidad marina.

Meta 9.5: Fortalecimiento de la investigación científica y tecnológica

Contribución:

- La investigación promueve el desarrollo de técnicas de extracción y análisis de ADN aplicadas a la biología de la conservación, fortaleciendo las capacidades científicas y tecnológicas en el país.
- La generación de conocimiento en biología molecular aplicada a especies en peligro abre nuevas oportunidades para el estudio de otros organismos marinos con relevancia ecológica y comercial.
- Se ha incorporado la información obtenida en docencia de grado y posgrado, promoviendo la formación de futuros investigadores en biotecnología, conservación y genética de poblaciones.

Meta 15.6: Promoción del acceso justo y equitativo a los recursos genéticos



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Contribución:

- Este estudio establece un precedente para la gestión y conservación de los recursos genéticos marinos de Guatemala, respetando el Protocolo de Nagoya sobre acceso y distribución equitativa de los beneficios derivados de los recursos genéticos.
- La información generada puede ser utilizada en acuerdos de conservación y manejo sostenible, garantizando que los datos genéticos obtenidos beneficien a la biodiversidad local y no sean explotados sin regulación.

Meta 16.4: Lucha contra el tráfico ilegal de especies silvestres

Contribución:

- Los datos de ADN generados pueden ser utilizados en estudios forenses para la identificación del origen de huevos de tortuga decomisados, ayudando a fortalecer el control y la persecución de delitos ambientales.
- Se establecen bases para desarrollar herramientas de genética forense que permitan rastrear el tráfico ilegal de productos derivados de tortugas marinas y colaborar con las autoridades para su erradicación.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

14. Contribución al desarrollo de iniciativas de ley

En el marco de la Acción 4 del Objetivo 2 de investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), se presenta la siguiente propuesta orientada al fomento de políticas públicas y programas de desarrollo, así como al posible registro de patentes. Estas recomendaciones surgen a partir de los resultados obtenidos en el estudio y buscan incidir de forma positiva en la protección de la biodiversidad marina y en la conservación de tortugas marinas:

1. Creación de una Legislación Específica para la Conservación de Tortugas Marinas
 - Proponer la elaboración de normativa que contemple la protección integral de las zonas de anidación y la regulación de actividades económicas en áreas costeras críticas para el desove de tortugas.
 - Establecer sanciones y penas claras para quienes comercialicen, extraigan o dañen huevos y ejemplares de tortugas marinas, complementando la legislación ambiental vigente.
2. Programas de Manejo Integrado en Comunidades Costeras
 - Desarrollar programas que promuevan la participación de comunidades locales en el monitoreo y protección de las playas de anidación.
 - Implementar planes de turismo sostenible, enfocados en la observación y conservación de estos quelonios, que permitan la generación de ingresos sin comprometer la especie.
3. Fomento de la Investigación e Innovación
 - Impulsar incentivos fiscales y fondos de apoyo para el desarrollo de estudios genéticos y biotecnológicos relacionados con las tortugas marinas, propiciando la obtención de patentes que protejan los derechos de propiedad intelectual sin sacrificar la libre difusión del conocimiento científico.
 - Establecer convenios interinstitucionales que faciliten el acceso a laboratorios especializados y promuevan la colaboración internacional en técnicas avanzadas de análisis molecular.
4. Educación y Divulgación
 - Diseñar campañas de concientización dirigidas a pescadores, operadores turísticos y la comunidad académica, subrayando la importancia de las tortugas marinas como parte fundamental de los ecosistemas costeros.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Crear material educativo que refuerce el conocimiento sobre normativas ambientales y los beneficios de la conservación de estas especies para la resiliencia de las comunidades locales.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

15. Vinculación

Se trabajó en conjunto con centros de investigación y universidades especializadas en biología de la conservación y genética molecular, lo que permitió mejorar la calidad de la extracción de ADN y garantizar la aplicabilidad de los resultados en estudios científicos.

Instituciones colaboradoras:

- Centro Universitario de Izabal (CUNIZAB) - USAC
 - Apoyo en el diseño experimental y logística para la recolección de muestras.
 - Uso de laboratorios para análisis molecular y cuantificación de ADN.
- Dirección General de Investigación (DIGI) - USAC
 - Validación del estudio y financiamiento parcial.
 - Difusión de resultados en entornos académicos y científicos.
- Centro Universitario de Zacapa (CUNZAC) - USAC
 - Se establecieron vínculos con investigadores de genética de conservación, interesados en el análisis de conectividad genética de tortugas marinas en la región del Caribe.

Vinculación con entidades gubernamentales y organismos de conservación

Esta investigación tiene aplicaciones directas en políticas públicas y conservación de la biodiversidad, por lo que se trabajó en colaboración con entidades gubernamentales y ONGs dedicadas a la protección de tortugas marinas.

Entidades colaboradoras:

- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP)
 - Evaluación del potencial uso del ADN en monitoreo poblacional y fiscalización del tráfico ilegal de huevos de tortuga.
 - Generación de un informe técnico con recomendaciones para fortalecer estrategias de conservación en playas de anidación.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
 - Aplicación de los hallazgos en estudios de impacto ambiental en zonas costeras.
 - Inclusión del monitoreo genético como herramienta en futuras regulaciones ambientales.

Vinculación con organizaciones no gubernamentales (ONGs) y redes de conservación



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Dado que las tortugas marinas son especies de interés global, se establecieron colaboraciones con ONGs dedicadas a la conservación marina para ampliar el alcance del estudio y compartir experiencias en manejo de nidos y análisis genético.

ONGs y organizaciones aliadas:

- Wildlife Conservation Society (WCS)
 - Intercambio de información sobre metodologías de monitoreo de tortugas marinas.
 - Evaluación de oportunidades de financiamiento para la continuidad del biorepositorio de ADN.
- Red de Conservación de Tortugas del Caribe (WIDECAST)
 - Conexión con investigadores de otros países que trabajan en estudios de genética de tortugas marinas.
 - Posible integración del biorepositorio en una base de datos genética regional.

Vinculación con comunidades costeras y actores locales

Las comunidades costeras que dependen del ecoturismo y la conservación de tortugas marinas también se beneficiaron de esta investigación, ya que los resultados pueden fortalecer estrategias de manejo de nidos y educación ambiental.

Comunidades y asociaciones locales involucradas:

- Tortugario Vivero Guatemala (Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique)
 - Apoyo en la recolección de muestras de carcasas de huevo.
 - Capacitación en el uso del análisis genético para mejorar los programas de conservación comunitaria.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

16. Conclusiones

1. Se determinó que el 95% de los nidos analizados presentaron temperaturas superiores a 29.2 °C, lo que indica un sesgo hacia la producción de hembras superior al 90%. Esta tendencia podría comprometer la viabilidad reproductiva de la población de *Eretmochelys imbricata* a largo plazo. Se registraron temperaturas máximas de 32.46 °C y mínimas de 24.02 °C, con una temperatura promedio de 29.43 °C en los nidos.
2. Con base en la temperatura pivotal, se estima que la proporción de hembras en los nidos analizados varía entre 70.91% y 100%, con un promedio del 92.23% de neonatos femeninos. Esto refuerza la hipótesis de feminización extrema en la población de tortuga Carey anidada en el Caribe guatemalteco.
3. Se logró la extracción de ADN a partir de carcasas de huevo de tortuga Carey, obteniendo un eluido final de 70 µL por muestra. La evaluación cualitativa en gel de agarosa al 0.7% confirmó alta integridad del ADN, con fragmentos superiores a 2000 nucleótidos, evidenciado por la presencia de bandas bien definidas y sin degradación.
4. La cuantificación mediante fluorescencia en el equipo Qubit™ registró concentraciones de ADN entre 53 ng/µL y 120 ng/µL, con un rendimiento mínimo de 3640 ng de ADN por muestra. Esto demuestra que la metodología empleada es eficiente y adecuada para estudios genéticos avanzados.
5. Se creó una colección sistematizada de muestras de ADN, que servirá como referencia para estudios futuros sobre conectividad genética y manejo de poblaciones en el Caribe guatemalteco. Esta herramienta permitirá evaluar la diversidad genética y detectar posibles problemas de endogamia.
6. El ADN obtenido es apto para identificación de especies, filogenia, genética poblacional, análisis de parentesco, detección de contaminantes, estudios epigenéticos y microbioma. Además, su aplicación en genética forense permitirá fortalecer la lucha contra el tráfico ilegal de huevos de tortuga, facilitando la identificación de su origen.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

17. Recomendaciones

1. Se recomienda la instalación permanente de sensores de temperatura en distintos sitios de anidación para evaluar las variaciones térmicas y su impacto en la proporción de sexos, permitiendo una gestión adaptativa de los nidos.
2. Para contrarrestar el sesgo hacia hembras, se recomienda el uso de sombreamiento artificial, reubicación de nidos a zonas más frescas y monitoreo térmico constante, con el fin de optimizar la proporción de sexos en los neonatos.
3. Se recomienda expandir el biorepositorio incluyendo muestras de diferentes temporadas y sitios de anidación, lo que permitirá una mejor evaluación de la diversidad genética de la población de tortuga Carey en Guatemala.
4. La identificación de variantes genéticas específicas podría revelar adaptaciones ecológicas y tolerancia a cambios ambientales, información clave para la conservación de la especie.
5. Mediante estudios de genética poblacional se podrá determinar si existen barreras reproductivas entre diferentes colonias y detectar posibles amenazas de reducción de la variabilidad genética.
6. Investigaciones sobre la influencia del microbioma en el éxito de eclosión y salud embrionaria podrían mejorar las estrategias de manejo en tortugarios y playas de anidación.
7. Se recomienda analizar modificaciones epigenéticas en el ADN de las cáscaras de huevo para evaluar cómo la temperatura y la contaminación pueden afectar el desarrollo embrionario y la supervivencia de las futuras generaciones.
8. La secuenciación de próxima generación (NGS) permitirá obtener datos genómicos más detallados, facilitando estudios de parentesco, evolución genética y adaptación de la tortuga Carey a su entorno.
9. Utilizar el biorepositorio en genética forense contra el tráfico ilegal de huevos de tortuga: Los datos generados deben integrarse en programas de fiscalización y control ambiental, permitiendo la identificación genética de huevos decomisados y su rastreo a playas de origen.
10. Se recomienda continuar la colaboración con CONAP, ONGs, universidades y redes científicas internacionales, para mejorar el acceso a tecnología de punta y promover acciones conjuntas de conservación.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

11. Es esencial capacitar a los actores involucrados en la conservación de tortugas marinas, mediante talleres, materiales educativos y publicaciones científicas, asegurando que el conocimiento generado tenga un impacto real en la protección de la especie.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Referencias

1. Abreu, F. (1999). Genética poblacional y filogeografía de las tortugas marinas golfina (*Lepidochelys olivacea*) y laúd (*Dermochelys coriacea*) en el Pacífico mexicano. *Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. G007*. Universidad Nacional Autónoma de México.
2. Ackerman, R. A. (1997). The nest environment and the embryonic development of sea turtles. En P. L. Lutz & J. A. Musick (Eds.), *The biology of sea turtles* (Vol. I, pp. 83–106). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203737088>
3. Aranza, J. (2009). Estrategia reproductiva de la tortuga verde, *Chelonia mydas* (Testudines, Cheloniidae) y su impacto en la estructura genética de áreas de anidación del occidente del archipiélago cubano. *Tesis de Doctorado*. Universidad de la Habana.
4. Arévalo, S. (2010). Incidencia de tortugas marinas como pesca incidental en la pesquería artesanal de *Coryphaena hippurus* de la aldea Buena Vista, Iztapa. *Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala*.
5. Balazs, G. (1982). Growth rates of immature green turtles in the Hawaiian Archipelago. En K. A. Bjorndal (Ed.), *Biology and Conservation of Sea Turtles* (pp. 117-125). Smithsonian Institution Press.
6. Begon, M., Mortimer, M., & Thompson, D. (1996). *Population ecology: A unified study of animals and plants*. Blackwell Scientific Publications.
7. Brothers, R., & Lohmann, K. (2018). Evidence that magnetic navigation and geomagnetic imprinting shape spatial genetic variation in sea turtles. *Current Biology*, 28(1), 1-5.
8. Bull, J., Vogt, R., & McCoy, C. (1982). Sex determining temperature in turtles: A geographic comparison. *Evolution*, 36(2), 326-332.
9. Calderón Peña, R., Azanza Ricardo, J. (2021). Incubation temperatures, hatching success and congenital anomalies in green turtle nests from Guanahacabibes Peninsula, Cuba. *Aquatic Research*, 4(4), 321-330. <https://doi.org/10.3153/AR21027>
10. Calderón-Peña, R., Betancourt-Avila, R., Rodríguez-Fajardo, E., Martínez-González, Y., & Azanza-Ricardo, J. (2000). Sex ratio of the green sea turtle *Chelonia mydas* (Testudines: Cheloniidae) hatchlings in the Guanahacabibes Peninsula, Cuba. *Revista de Biología Tropical*, 68(3), 777-784. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i3.39033>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

11. Carr, A., Carr, M. H., & Meylan, A. (1978). The ecology and migrations of sea turtles: The West Caribbean green turtle colony. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 162, 1-46.
12. Casthelo, V., dos Santos, M., Castilhos, J., Filho, P., Gomes, L., Clemente-Carvalho, R., & 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.
13. Chavarría Pérez, I., Melara Soriano, M., Liles, M., & Castro Menjivar, J. (2020). Determinación de la proporción sexual de tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*) inmaduras, mediante la detección de testosterona por medio de la prueba de ELISA. *Revista Agrociencia*, 3(16), 73–80. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10912976>
14. Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP]. (2015). *Estrategia nacional de manejo y conservación de tortugas marinas de Guatemala*. Documento técnico No. 02-2015.
15. Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP] & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2018). *Lineamientos para el manejo de huevos de tortugas parlama (Lepidochelys olivacea)*. (MARN-CONAP/PNUD-GEF). Fondo Mundial para la Naturaleza -WWF-, Guatemala.
16. DeGregorio, B., & Southwood, A. (2011). Incubation temperatures and metabolic heating of relocated and in situ loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) nests at a northern rookery. *Chelonian Conservation and Biology*, 10(1), 54-61.
17. Girondot, M., Fouillet, H., & Pieau, C. (1998). Feminizing turtle embryos as a conservation tool. *Conservation Biology*, 12(2), 353-362.
18. Godfrey, M., Delmas, V., & Girondot, M. (2003). Assessment of patterns of temperature-dependent sex determination using maximum likelihood model selection. *Ecoscience*, 10(3), 265–272.
19. Laloë, J. O., Esteban, N., Berkel, J., & Hays, G. C. (2016). Sand temperatures for nesting sea turtles in the Caribbean: Implications for hatchling sex ratios in the face of climate change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 474, 92-99.
20. Lovich, J. (1996). Possible demographic and ecological consequences of sex ratio manipulation in turtles. *Chelonian Conservation and Biology*, 2(1), 114-117.
21. Morreale, S., Ruiz, G., Spotila, J., & Standora, E. (1982). Temperature dependent sex determination: Current practices threaten conservation of sea turtles. *Science*, 216(4551), 1245-1247.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

22. Spotila, J. R. (2004). *Sea turtles: A complete guide to their biology, behavior, and conservation*. The Johns Hopkins University Press.
23. Staines, M. N., Booth, D. T., Madden Hof, C. A., & Hays, G. C. (2020). Impact of heavy rainfall events and shading on the temperature of sea turtle nests. *Marine Biology*, 167(12). <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03800-z>

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice



Análisis de la playa frente al Tortugarío Guatemala en San Francisco del Mar.



Tortugas hechas con Filamento biodegradable a base de fécula de maíz para personas y empresas que apadrinan nidos de tortugarios.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



**GOBIERNO de
GUATEMALA**
DR. ALEJANDRO GIANMATTEI

CONSEJO NACIONAL
DE ÁREAS PROTEGIDAS



FORMULARIO 3A: SOLICITUD DE LICENCIA DE INVESTIGACIÓN PARA INVESTIGADORES NACIONALES

TIPO DE INVESTIGACIÓN					
Investigación con fines científicos		☒	Investigación con fines comerciales		☐
INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN					
Título de la investigación:					
Estimación de la proporción sexual de neonatos de tortugas de carey basada en temperaturas de incubación en el Caribe de Guatemala.					
Duración de la investigación		La investigación implica colecta temporal o definitiva		La investigación implica acceso a recursos genéticos, o acceso a recursos genéticos y/o conocimientos tradicionales asociados al uso de la diversidad biológica.	
Del 2/1/2024	al 12/31/2024	Sí ☒	No ☐	Sí ☒	No ☐
*Nombre completo del investigador principal					
Nombres: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DEL CARIBE DE IZABAL - IICI		Apellidos:		*Número de registro de investigador:	
¿Cuenta con licencia (s) de investigación vigente (s)?		Sí ☐ No ☒			
		Número de licencia	Año en que fue otorgada	Periodo de vigencia	
		Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	
		Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	
*Nombre completo del investigador asociado 1					
Nombres: Manuel de Jesús		Apellidos: Ixquiac Cabrera		*Número de registro de investigador:	I-08-2004
*Nombre completo del investigador asociado 2					
Nombres: Mario Estuardo		Apellidos: Salazar Rodríguez		*Número de registro de investigador:	I-010-06



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



GOBIERNO de
GUATEMALA
DR. ALEJANDRO GUAMATTEI

CONSEJO NACIONAL
DE ÁREAS PROTEGIDAS



ANEXO 1B: REGISTRO DE INVESTIGADORES CON PERSONERÍA JURIDICA

REGISTRO (Sección exclusiva para CONAP)	
CÓDIGO DE REGISTRO	n/a
FECHA DE REGISTRO	3/12/2024
REGIONAL DE CONAP	Nororiente
DATOS DE LA INSTITUCIÓN Esta sección debe ser llenada por el (la) investigador (a)	
TIPO DE INSTITUCIÓN	
Académica	☒ X
Empresarial	☐
Organización No Gubernamental	☐
Gubernamental	☐
Otra	☐
DATOS DE LA INSTITUCIÓN	
Nombre completo de la institución	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DEL CARIBE DE IZABAL
SIGLAS	IICI
Nombre de la dependencia, unidad o departamento que se registra	CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL
SIGLAS	CUNIZAB
Nombre completo del director, jefe o encargado de la dependencia, unidad o departamento que se registra.	Nombre: Mario Estuardo Apellidos: Salazar Rodríguez
Dirección para recibir notificaciones	Calle Karen Lee, Colonia San Manuel, Santo Tomás de Castilla, Puerto Barrios, Izabal.
Número de teléfono 1	5615-9839
Número de teléfono 2	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
Correo electrónico 1	marioesalazarr@gmail.com
Correo electrónico 2	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
¿Ya cuenta con un número de registro de investigador otorgado por el CONAP previo a la aprobación del nuevo normativo?	Sí ☐ No ☒ X Número de registro: n/a
OTROS DATOS PARA INSTITUCIONES EMPRESARIALES <i>Llenar este apartado únicamente las instituciones empresariales que realizan investigación. En caso de que el solicitante domicilie en el extranjero, deberá proporcionar información de un representante legal residente en el país</i>	
Datos del representante legal	
Nombre completo del representante legal	Nombre: Haga clic o pulse aquí para escribir texto. Apellidos: Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
Nacionalidad	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
Número de DPI (nacionales)	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

ANEXO 2: HOJA DE VIDA INVESTIGADORES (AS)

DATOS PERSONALES DEL INVESTIGADOR (A)			
Nombre completo	Nombres: Mario Estuardo Apellidos: Salazar Rodriguez		
Sexo	Femenino ☐ Masculino ☒		
Fecha de nacimiento	9/1/1982		
Nacionalidad	Guatemalaletco	DPI (nacional)	2593847550101
		Pasaporte (extranjero)	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
Profesión u Oficio	Licenciado en Acuicultura		
Número de Colegiado Profesional	1267		
Colegio al que pertenece	Colegio de Medicos Veterinarios y Zootecnistas		
Nombre de la institución donde labora o colabora actualmente	Centro Universitario de Izabal / USAC Instituto de Investigaciones del Caribe de Izabal		
Siglas	USAC-IIICI		

EDUCACIÓN (Iniciar con la más reciente)				
Grado académico	Nivel, Carrera, Especialidad, u Otro	Duración	Establecimiento, Universidad u Otro	Ciudad y País
Doctorado	Doctorado en Ciencias Agrícolas y Ambientales	Del 2021 Al Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Universidad de San Carlos de Guatemala	Guatemala, Guatemala
Maestria	Maestria en Gestión Ambiental Local	Del 2013 Al 2016	Universidad de San Carlos de Guatemala	Centro Universitario de Izabal
Licenciado	Licenciado en Acuicultura	Del 2001 Al 2006	Universidad de San Carlos de Guatemala	Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Del Haga clic o pulse aquí para escribir texto. Al Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Del Haga clic o pulse aquí para escribir texto. AlHaga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
---	---	--	---	---

EXPERIENCIA PROFESIONAL (Iniciar con la más reciente, máximo 5)			
Nombre de la Empresa, Institución o dependencia.	Cargo o servicio prestado	Periodo de servicio prestado	Principales actividades
Centro Universitario de Izabal / USAC Guatemala	Coordinador del Instituto de Investigaciones del Caribe de Izabal (IICI)	Del 2021 AI2024	Coordinar las investigaciones del centro
MAGA, DIPESCA	Inspector Pesquero	Del 2019 AI2023	Verificación de la Pesca Comercial Marina en el área de Puerto Barrios
Fundación Mario Dary	Especialista en Cadenas de Valor	Del 2015 AI2018	Implementación de cadenas de valor para emprendimientos rurales comunitarios
WWF	Analista	Del 2014 AI2014	Análisis de distribución geográfica, sectorización y priorización de iniciativas turísticas comunitarias Costa Atlántica y Honduras "Aprovechando a la Comunidad Conservacionista Global para Potenciar el Turismo de Base Comunitaria en el Arrecife Mesoamericano" (ATN/ME-13430-RG)
Fundación Mario Dary	Especialista en desechos solidos	Del 2009 AI2010	Reducción de desechos peligrosos en Punta de Manabique e Introducción a la Gestión de Riesgo en las comunidades de Punta de Manabique, Puerto Barrios, Izabal

DESCRIPCIÓN DE SU EXPERIENCIA RELACIONADA A LA TEMATICA DE LA INVESTIGACIÓN(máximo 10 líneas)
Durante los últimos 15 años, he estado involucrado en diversos proyectos relacionados con especies marinas en el Caribe de Guatemala. Mi enfoque ha sido la investigación sobre la madurez gonadal en robalos, la conservación de arrecifes y la adaptación al cambio climático



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

en las comunidades de Punta de Manabique. Además, he colaborado en emprendimientos comunitarios relacionados con el turismo.		
INVESTIGACIÓN Y PUBLICACIONES		
Ha participado en investigaciones	Sí ☒ No ☐	
Investigaciones en las que ha participado en los últimos 5 años (máximo 5)		
Nombre de la investigación (o referencia)	Duración de la investigación	Cargo desempeñado dentro de la investigación
Evaluación y manejo de las comunidades demersales de la Bahía de Amatique Izabal, Guatemala. Estimación de los impactos pesqueros.	Del 2008 Al 2008	Investigador
Caracterización de fondos radioactivos de la plataforma del pacífico de Guatemala, en isobatas de 10 a 60 metros	Del 2003 Al 2003	Auxiliar de laboratorio
Cultivo de peces marinos en Punta de Manabique	Del 2005 Al 2005	Investigador
Desarrollo gonadal de cuatro especies principales de peces en río Sarstún	Del 2009 Al 2009	Coordinador
Reducción de las vulnerabilidades y adaptación al Cambio Climático en las comunidades de Punta de Manabique, Puerto Barrios, Izabal.	Del 2011 Al 2013	Coordinador
Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Del Haga clic o pulse aquí para escribir texto. Al Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
Publicaciones recientes (últimos 5 años) en libros o revistas científicas, u otros relacionados.		Sí ☐ No ☐
Nombre de la publicación	Fecha	Enlace web, DOI, u otro similar
Salazar, M. e Ixquiac, M. (2015). Potencial de materiales reciclables depositados en las Playas de Punta de Manabique, Izabal. AEROCARIBE. IV Conferencia en Gestión de Residuos en América Latina GRAL 2015	2015	http://www.gral2015guatemala.tk/
Aprovechando a la Comunidad Conservacionista Global para Potenciar el Turismo de Base Comunitaria en el Arrecife Mesoamericano	2014	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic aquí o pulse para escribir una fecha.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
Haga clic o pulse aquí para escribir texto.	Haga clic aquí o pulse para escribir una fecha.	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

REFERENCIAS LABORES / PERSONALES	
Referencia 1	
Nombre	Ing. M.Sc. Larry Paul
Correo electrónico	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
Puesto/ Institución	HEIFER International
Número de teléfono	40401390
Referencia 2	
Nombre	PhD José Robledo
Correo electrónico	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
Puesto/ Institución	CUNIZAB
Número de teléfono	51142561
Referencia 3	
Nombre	Licda Blanca Rosa García
Correo electrónico	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
Puesto/ Institución	UICN
Número de teléfono	41015946



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Registro de investigador ante el CONAP.

 **Consejo Nacional de Áreas Protegidas**
Dirección Regional Nororiente



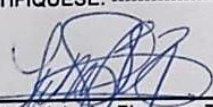
VENTANILLA ÚNICA DEL CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS, CONAP NORORIENTE. PUERTO BARRIOS, IZABAL.

Guatemala, mayo 21 de 2024.

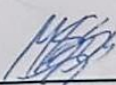
RESOLUCIÓN DE TRÁMITE No. 053/2024.

I) Con el formulario de solicitud que antecede y documentos adjuntos, inicie la formación del expediente respectivo de **Solicitud de Registro de Investigadores con Personería Jurídica y Licencia de Investigación** II) Se tienen por presentados los documentos relacionados, descritos en formulario de solicitud; III) Cumplidos todos los requisitos se admite para su trámite la solicitud de **REGISTRO DE INVESTIGADORES CON PERSONERÍA JURÍDICA Y LICENCIA DE INVESTIGACIÓN PARA INVESTIGADORES NACIONALES TITULADA ESTIMACIÓN DE LA PROPORCIÓN SEXUAL DE NEONATOS DE TORTUGAS DE CAREY BASADA EN TEMPERATURAS DE INCUBACIÓN EN EL CARIBE DE GUATEMALA.**; IV) El solicitante está de acuerdo a recibir notificaciones por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- al número telefónico: **5615-9839** y el correo electrónico **marioesalazarr@gmail.com**; V) El presente expediente se identificará con el número **DRNO-070-2024**; VI) Concluido el trámite de revisión, remítase el expediente a la **Unidad de Manejo de Vida Silvestre** del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- Nororiente, para su debido diligenciamiento, Consta de 24 folios inclusive.

VII) NOTIFÍQUESE.


Lourdes Waleska Figueroa Tordes
Encargada de Ventanilla Única
-CONAP- Nororiente




Firma de quien entrega.

16 calle entre 4 y 5 avenida, Barrio el Cangrejal,
Puerto Barrios, Izabal.
Teléfono: (502) 7947 2417

conap.gob.gt
Original expediente
Copia archivo
Copia archivo



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Consejo Nacional
de Áreas Protegidas
Dirección Regional
Nororiente



DIRECCION REGIONAL NORORIENTE DE LA SECRETARÍA EJECUTIVA DEL CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS -CONAP-, Puerto Barrios, Izabal, dos de julio del año dos mil veinticuatro.

RESOLUCIÓN DRNO-062-2024

Expediente No. DRNO-070-2024. Se tiene a la vista para resolver la solicitud de Registro de Investigador con personería jurídica y autorización de Licencia de Investigación para la Investigación con fines científicos denominada **"Estimación de la proporción sexual de neonatos de tortugas de carey basada en temperaturas de incubación en el Caribe de Guatemala"** a realizarse en la comunidad Cabo Tres Puntas y Tortugario "Vivero Guatemala" en la comunidad San Francisco del Mar dentro del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, a cargo del investigador asociado 1 Mario Estuardo Salazar Rodríguez quien cuenta con el número de Registro de Investigador individual I-010-06 y el investigador asociado 2 Manuel de Jesús Ixquiac Cabrera quien cuenta con el número de Registro de Investigador individual I-08-2004, presentada por **EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DEL CARIBE DE IZABAL -IICI- DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA** a través de su Coordinador Maestro **Mario Estuardo Salazar Rodríguez**.

CONSIDERANDO:

Que de conformidad con el artículo 75 de la Ley de Áreas Protegidas es función del CONAP establecer los registros que a su juicio considere necesarios y que propondrán la conservación, aprovechamiento racional y buena administración de los recursos de vida silvestre y áreas protegidas.

CONSIDERANDO:

Que el Consejo Nacional de Áreas Protegidas en sesión ordinaria de fecha ocho de octubre de dos mil diecinueve, mediante la Resolución 03-25-2019 aprueba el Normativo de Investigaciones e Investigadores de la Diversidad Biológica, el cual en su artículo 10 establece que en cuanto a las solicitudes que se deriven de la aplicación del normativo serán realizadas por las Direcciones Regionales del CONAP según la jurisdicción territorial de la investigación a realizar y en su artículo 14 Registro de Investigadores. Toda persona individual o jurídica, nacional o extranjera, deberá registrarse como investigador ante el CONAP, a través de cualquiera de sus Direcciones Regionales, para lo cual el CONAP asignará un número de registro al investigador. La solicitud del registro podrá hacerse de forma conjunta o independiente a la solicitud de licencia de investigación.

Página 1



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Consejo Nacional
de Áreas Protegidas
Dirección Regional
Nororiente



CONSIDERANDO:

Que la solicitud realizada por **EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DEL CARIBE DE IZABAL -IICI- DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA** a través de su Coordinador Maestro **Mario Estuardo Salazar Rodríguez**, ha sido objeto de análisis de conformidad con los siguientes dictámenes: **a) Dictamen Técnico VS-DRNO/038/2024** de fecha 27 de junio del año 2024, emitido en la Unidad de Manejo de Vida Silvestre de la Dirección Regional Nororiente del CONAP y **b) DICTAMEN JURÍDICO No. 170/2024** de fecha 02 de julio del año 2024, emitido en la Unidad de Asuntos Jurídicos de la Dirección Regional del CONAP Nororiente, estableciendo que son **PROCEDENTES**, debiéndose emitir la disposición legal respectiva.

POR TANTO:

Con base en lo establecido en los artículos 33, 35, 47, 52, 56, 75 inciso c) y 76 de la Ley de Áreas Protegidas, Decreto Número 4-89 del Congreso de la República y sus Reformas; y en el artículo 26 del Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas, Acuerdo Gubernativo 759-90 de la Presidencia de la República y Normativo de Investigaciones e Investigadores de la Diversidad Biológica, aprobado mediante Resolución 03-25-2019 de fecha 08 de octubre de 2019, emitida por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

EL DIRECTOR REGIONAL DE LA SECRETARÍA EJECUTIVA DEL CONSEJO NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS REGION NORORIENTE RESUELVE:

- I. Autorizar el Registro de Investigador con Personería Jurídica a nombre del **INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DEL CARIBE DE IZABAL -IICI- DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA** a través de su Coordinador Maestro **Mario Estuardo Salazar Rodríguez**.
- II. Autorizar la emisión de Licencia de Investigación, para la Investigación titulada "**Estimación de la proporción sexual de neonatos de tortugas de carey basada en temperaturas de incubación en el Caribe de Guatemala**", a cargo del investigador asociado 1 **Mario Estuardo Salazar Rodríguez** quien cuenta con el número de Registro de Investigador individual **I-010-06** y el investigador asociado 2 **Manuel de Jesús Ixquiac Cabrera** quien cuenta con el número de Registro de Investigador individual **I-08-2004**, presentada por **INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DEL CARIBE DE IZABAL -IICI- DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA** a través de su Coordinador Maestro **Mario Estuardo Salazar Rodríguez**.

Página 2



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Consejo Nacional
de Áreas Protegidas
Dirección Regional
Nororiental



- III. Determinándose técnicamente que la especie a ser estudiada es Tortuga Carey, especie que se encuentra en la Lista de Especies Amenazadas de Guatemala -LEA- categoría I (PC) en Peligro Crítico o en vías de extinción.

Orden	Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Categoría
Testudines	Cheloniidae	Eretmochelys imbricata (Linnaeu, 1766)	Tortuga Carey	I

- IV. El desarrollo de la presente investigación será en la comunidad Cabo Tres Puntas y Tortugario "Vivero Guatemala" en la comunidad San Francisco del Mar dentro del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique.
- V. La licencia de investigación con fines científicos tendrá vigencia acorde al cronograma propuesto en el protocolo de la investigación, la cual puede abarcar hasta un periodo de tres (3) años, sin embargo, por motivos técnicos y/o justificaciones científicas la investigadora puede solicitar una ampliación de la licencia, debiendo presentar informe de los avances del proyecto a desarrollar al CONAP, cuando así se requiera.
- VI. El Investigador Principal y sus asociados deberán cumplir y observar todas las disposiciones legales y lineamientos establecidos en la Ley de Áreas Protegidas y su Reglamento, en particular con las condiciones mínimas establecidas en el artículo 26 del Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas, Acuerdo Gubernativo 759-90; así como la normativa aplicable para el área objeto de la presente.
- VII. El Investigador Principal y sus asociados, quedan obligados a depositar en la Secretaría Ejecutiva del CONAP, tres (3) copias del informe final de la investigación realizada, de la siguiente manera: dos (2) copias impresas y una (1) en formato digital, en un plazo de seis meses posterior al vencimiento de la licencia de investigación. El Informe debe ser entregado en el formato que el CONAP establezca según la finalidad de la investigación. Si el trabajo final se encuentra en otro idioma diferente al español, éste deberá ser traducido y entregado en español.
- VIII. El Investigador Principal y sus asociados, quedan obligados a que al finalizar la vigencia de la licencia de investigación debe presentar la constancia firmada y sellada por el responsable de la colección nacional donde fueron depositadas las muestras o especímenes, de acuerdo a lo establecido en el Normativo de Investigaciones e Investigadores de la Diversidad Biológica.

3
Página



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Consejo Nacional
de Áreas Protegidas
Dirección Regional
Nororiente



- IX. El Investigador Principal y sus asociados, quedan obligados a presentar el registro de las observaciones y/o colectas realizadas durante la investigación, en archivo digital y en el estándar proporcionado por el CONAP, para facilitar que la información se incorpore al Sistema Nacional de Información sobre Diversidad Biológica, según el Manual de Términos y Condiciones de Uso de información del Sistema Nacional de Información sobre Diversidad Biológica, Resolución 03-10-2019 emitida por el CONAP. En ningún caso la información será publicada o entregada a terceros sin autorización expresa de sus autores.
- X. El Investigador Principal y sus asociados, deberán dar cumplimiento a las disposiciones establecidas en el Normativo de Investigaciones e Investigadores de la Diversidad Biológica.
- XI. El Investigador Principal y sus asociados, deberán respeto a la colecta para especies contenidas en los listados oficiales emitidos y publicados por el CONAP y, así como los contenidos en los apéndices de la Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, estará sujeta a la aplicación amplia del principio precautorio.
- XII. Si los resultados de la investigación fueran susceptibles de ser patentados y/o comercializadas, estos derechos y beneficios serán compartidos con EL CONAP, de conformidad con lo dispuesto en el contrato que se suscribirá para tal fin, y en ningún caso serán menores al cincuenta por ciento (50%) de las regalías netas que resulten de la explotación comercial de los resultados de la investigación que por el presente medio se autoriza.
- XIII. Realizar la anotación en el libro correspondiente del Registro de Investigador con Personería Jurídica a nombre de **EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DEL CARIBE DE IZABAL -IICI- DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA** a través de su Coordinador **Maestro Mario Estuardo Salazar Rodríguez**.
- XIV. Dentro de la presente solicitud no se presenta solicitud de Licencia de Colecta por lo que previo a la misma el investigador debe presentar su solicitud ante el CONAP para su debida autorización.
- XV. Notifíquese.

Ing. Agr. Juan Cabrera
Director Regional Nor Oriente
- CONAP -

CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS
DIRECCIÓN REGIONAL NORORIENTE
GUATEMALA, C.A.

16 calle entre 4 y 5 avenida, Barrio el Cangrejal,
Puerto Barrios, Izabal.
Teléfono: (502) 7947-2417

conap.gob.gt
f x @ d



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Forma LI

CONSEJO NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS
CONAP
PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA
GUATEMALA, C. A.

Nº. **00779 -B**

LICENCIA DE INVESTIGACION
No. **DRNO 011/2024**

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DEL
Nombre: **CARIBE DE IZABAL -IICI-** No. Reg. **I-DRNO-008-2024**
Nacionalidad: Guatemalteco Identificación: 2571 57468 0101
Institución: Centro Universitario de Izabal- CUNIZAB de la Universidad de San Carlos de Guatemala - USAC
Si existe contrato administrativo que ampara esta Licencia, especificar referencia: _____

Título de la Investigación: Estimación de la proporción sexual de neonatos de tortuga Carey basada en temperaturas de incubación en el Caribe de Guatemala.--
(RESOLUCION DRNO-062-2024 , Expediente. DRNO-070-2024)

Institución nacional que avala la investigación: CUNIZAB/USAC

Nombre e identificación de otros investigadores participantes:

1. Mario Estuardo Salazar Rodriguez (I-08-2004)
2. Manuel de Jesús Ixquiac Cabrera (I-10-06)
3. _____
4. _____
5. _____

Fecha de Emisión: Puerto Barrios, 11 de julio de 2,024
Fecha de Vencimiento: Puerto Barrios, 31 de diciembre de 2,024

Firma Secretario Ejecutivo o Delegado de CONAP
Firma de Recibido

Presidencia de la República



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS
DIRECCIÓN REGIONAL NORORIENTE
LIBRO PARA REGISTRO DE INVESTIGADORES DE VIDA SILVESTRE



083

Registro No: I-DRNO-008-2024.--

Expediente No: DRNO-070-2024.--

DATOS PERSONALES

Nombre, razón social o denominación: **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DEL CARIBE DE IZABAL – IICI-**

Datos registrales (personas jurídicas): Registro -, Folio No. -, Libro No. -

Nombre del representante legal (en caso de personas jurídicas): Mario Estuardo Salazar Rodríguez

Código Único de Identificación –CUI- o Pasaporte (solo para extranjeros): 2593 84755 0101

Nacionalidad: Guatemala.--

DATOS PARA RECIBIR NOTIFICACIONES

Dirección: Centro Universitario de Izabal – CUNIZAB, Calle Karen Lee. Colonia San Manuel, Santo Tomas de Castilla, Puerto Barrios, Izabal. --

Correo electrónico: mariosalazarr@gmail.com

No. telefónico: Tel: 5615-9839. --

DATOS DE AUTORIZACIÓN

No. de Resolución: Resolución DRNO-062-2,024 (Ref. GMRS/loce).--

Fecha de Resolución: Dos de julio del año dos mil veinticuatro (02-07-2024).--

Emitida por: Dirección Regional Nororiental, Consejo Nacional de Áreas Protegidas.--

Nombre de la investigación: Estimación de la proporción sexual de neonatos de tortuga Carey basada en temperaturas de incubación en el Caribe de Guatemala.==

Institución que avala el proyecto: Centro Universitario de Izabal – CUNIZAB-, Universidad de San Carlos de Guatemala.--

Lugar de la investigación: Área Protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique.--

ESPECIES A COLECTAR

Especie	Cantidad	Cantidad a coleccionar (forma)
Tortuga Carey Tortuga Carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>)	N/A.--	N/A.--

LUGAR Y FECHA

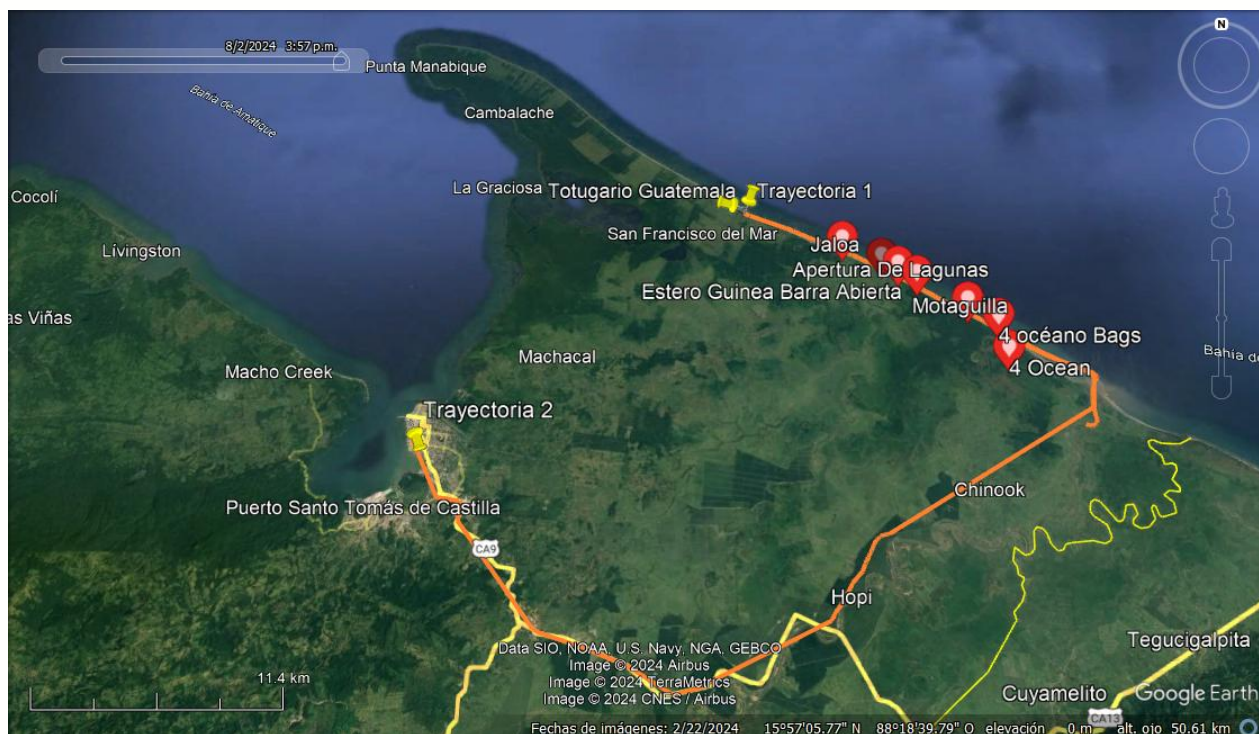
Puerto Barrios, Izabal, 11 de julio del año 2,024

Ing. Agr. M. Sc. Ivan Cabrera
Director Regional
CONAP
Región Nororiental





Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Recorrido por tierra para realizar la visita del tortugario Guatemala en San Francisco del Mar Punta de Manabique.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Visita de campo al Tortugario Guatemala en San Francisco del Mar, 2 de agosto 2024.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024



El M.Sc. durante la siembra de los nidos de tortuga care en el tortugario Guatemala el día 2 de agosto.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Primeros dos nidos sembrados en el tortugario Guatemala, San Francisco del Mar. Los nidos se dividieron en dos para aumentar el éxito de eclosión.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Huevos de tortuga Carey, comprados con recursos gestionados por el proyecto.

Capacitación en el uso de termómetros ambientales y en arena.

El monitoreo de la temperatura ambiental y de la arena en los nidos de tortuga marina en San Francisco del Mar, Izabal, es un componente esencial para la conservación y manejo de estas especies. La temperatura juega un papel determinante en el sexo de las crías de tortuga marina, un fenómeno conocido como determinación del sexo dependiente de la temperatura (TSD). Además, las condiciones térmicas del ambiente y la arena pueden influir en la tasa de eclosión y la supervivencia de los neonatos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Toma de Registros de Temperatura Ambiental y en la Arena

Temperatura Ambiental: Los registros de temperatura ambiental se realizan para entender las condiciones generales bajo las cuales se desarrollan los nidos. Este monitoreo puede llevarse a cabo con el uso de termómetros digitales o sensores de temperatura que registran de manera continua a lo largo del día y la noche. Estos datos permiten correlacionar la temperatura externa con la temperatura dentro del nido, y también evaluar el impacto de eventos climáticos, como olas de calor o lluvias intensas, en el desarrollo de los huevos.

Temperatura de la Arena: Para medir la temperatura en la arena, donde se encuentran los nidos, se suelen utilizar termómetros de sonda o dataloggers que se insertan directamente en los nidos o a una profundidad similar a la de los huevos (entre 30 y 50 cm). Estos dispositivos pueden estar programados para tomar lecturas a intervalos regulares, proporcionando un registro detallado de la temperatura durante todo el periodo de incubación.

Importancia de la Medición

El monitoreo de estas temperaturas es decisivo por varias razones:

Determinación del Sexo: Como se mencionó, la temperatura de la arena durante el desarrollo de los huevos determina el sexo de las crías. Temperaturas más altas suelen producir una mayor proporción de hembras, mientras que temperaturas más bajas favorecen la producción de machos. Un monitoreo adecuado permite a los investigadores prever los impactos a largo plazo en la población de tortugas.

Tasa de Eclosión: La temperatura también influye directamente en la tasa de eclosión. Si la arena está demasiado caliente, puede llevar a una mayor mortalidad embrionaria, mientras que temperaturas muy bajas pueden prolongar el tiempo de incubación y afectar la viabilidad de las crías.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Conservación Adaptativa: La recopilación de datos térmicos permite a los conservacionistas tomar decisiones informadas sobre las estrategias de manejo. Por ejemplo, si se observa que la temperatura de la arena está alcanzando niveles peligrosos, se pueden implementar medidas de mitigación, como el sombreado de los nidos o el traslado de estos a áreas con temperaturas más adecuadas.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Fotografías 1 al 4. Durante los días 3 y 4 de septiembre se capacito al personal técnico y de campo en el correcto uso de los sensores de temperatura ambiental y de arena, los cuales servirán para guardar el registro durante el periodo de incubación de los huevos de tortuga, a la vez servirá de control de la temperatura de los otros equipos a utilizar.

Cantidad de Huevos por Nido

Una hembra de tortuga Carey puede poner entre 100 y 180 huevos en un solo nido, dependiendo de factores como la edad, el tamaño de la tortuga y las condiciones ambientales durante la temporada de anidación. Generalmente, las tortugas Carey pueden anidar varias veces durante una temporada, depositando un promedio de 3 a 5 nidos en intervalos de 14 a



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

16 días. Esto significa que una sola hembra puede producir entre 300 y 900 huevos por temporada.

Distribución de los Huevos en Tortugarios

En los tortugarios, es importante manejar la distribución de los huevos de manera que maximice las tasas de eclosión y minimice los riesgos asociados a condiciones ambientales adversas, depredación, o enfermedades.

Transporte y Relocalización: Una vez que se localiza un nido en la playa, los huevos deben ser trasladados al tortugario lo más rápido posible para evitar alteraciones en el desarrollo embrionario. Durante el transporte, es fundamental mantener la orientación original de los huevos, ya que cualquier rotación brusca puede dañar al embrión en desarrollo.

Distribución Espacial: En el tortugario, los huevos se entierran en nidos artificiales que imitan las características del nido natural. Estos nidos se crean en arenas bien drenadas y son cavados a una profundidad similar a la natural, usualmente entre 40 y 60 cm. Es importante que los nidos en el tortugario estén espaciados adecuadamente (generalmente entre 50 cm a 1 metro de distancia) para evitar competencia por recursos y prevenir la transferencia de enfermedades entre nidos.

Número de Huevos por Nido: Aunque los nidos naturales pueden contener más de 150 huevos, en los tortugarios se puede optar por dividir un nido natural en varios nidos más pequeños (por ejemplo, 50 a 100 huevos por nido) para aumentar la tasa de éxito de eclosión. Esto permite un mejor control de la temperatura y la humedad en cada nido, factores críticos para el desarrollo de los embriones.

Condiciones Ambientales: La temperatura dentro de los nidos es un factor determinante para la eclosión y la determinación del sexo de las crías. En tortugarios, se monitorea y, si es necesario, se ajusta la temperatura de los nidos mediante la sombra artificial, el uso de materiales que reflejan el calor, o la regulación de la profundidad del nido. El objetivo es mantener la temperatura dentro de un rango óptimo (aproximadamente entre 27°C y 31°C) para garantizar el desarrollo equilibrado de los embriones y una distribución saludable de sexos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Manejo Post-Eclosión: Una vez que los huevos eclosionan, las crías se monitorean y se dejan en el tortugario hasta que estén listas para ser liberadas. El tiempo de permanencia puede variar, pero el objetivo es asegurarse de que las crías estén lo suficientemente fuertes para sobrevivir en el medio natural.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024





Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Distribución de los huevos de tortuga Carey



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



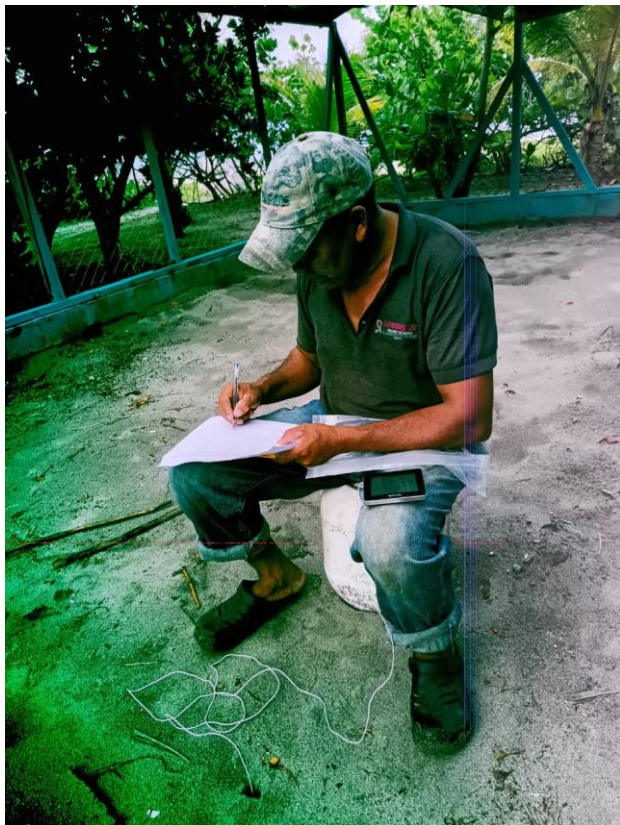


Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Fotografía 5 al 8. En estas fotografías se muestran las distribuciones de los huevos de tortuga marina sembrados.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

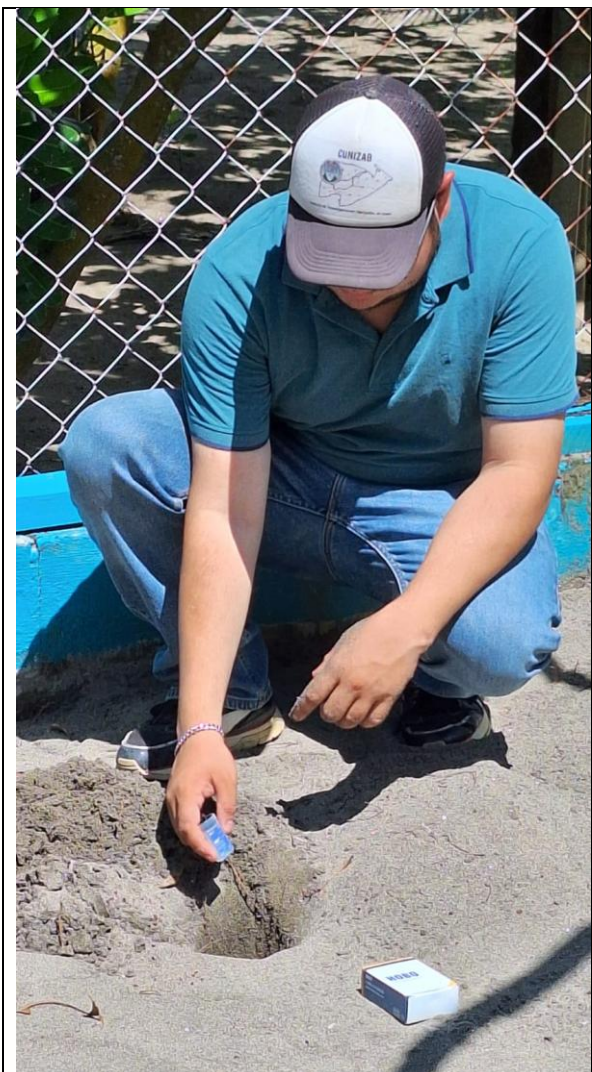


Fotografías 9 y 10. Encargado del tortugario tomando datos de la temperatura ambiental y en arena. Y primer nido de tortugas Carey de esta temporada previo al registro de temperaturas 44 organismos.



Fotografías 11 y 12. Nuevos sensores de temperatura de alta precisión para arena.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Colocación de sensores de temperatura.



Medición de temperatura con termómetro para temperatura ambiental y en arena.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

	
Lector de arranque y descarga de los señores.	Sensor de temperatura.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

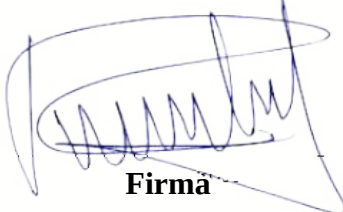
Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación

El coordinador (a) de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación, artículos 13 y 20, dejo constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordino ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

M.Sc. Mario Estuardo Salazar Coordinador del proyecto de investigación	 Firma
Fecha: 28/febrero/2025	

Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: director del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. M.Sc. Oscar Joel Rosales Lemus Director CUNIZAB	 Firma
Fecha: 28/febrero/2025	

Aprobación de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. M.Sc. Liuba María Cabrera de Villagrán Coordinador del Programa Universitario de Investigación	 Firma
Fecha: 28/febrero/2025	

/Digi2024