

**Evaluación del efecto del enriquecimiento ambiental sobre el comportamiento y el uso del espacio en *Trachemys callirostris* en un centro de rehabilitación de fauna silvestre en Cali, Colombia**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Biólogo**

Autor: Nicolas Toro Serrano <sup>1</sup>

Director: Daniel Osorio Dominguez <sup>1</sup>

Codirectora: Leidy Albino Sanchez <sup>2</sup>

1. Programa de biología Pontificia Universidad Javeriana
2. Bióloga Hogar de Paso de Fauna Silvestre Cali

## **RESUMEN**

El tráfico ilegal de fauna silvestre mantiene un flujo constante de individuos de tortugas continentales hacia centros de rehabilitación en Colombia. La mejora del bienestar durante su paso por estas instalaciones requiere estrategias que promuevan la expresión de comportamientos naturales y un uso del espacio acorde con sus necesidades. En este estudio evaluamos el efecto de un protocolo de enriquecimiento ambiental sobre el comportamiento y el uso del espacio de 33 individuos de *Trachemys callirostris* alojados temporalmente en el Hogar de Paso del DAGMA (Cali). Implementamos un diseño con medidas repetidas, alternando condiciones Control y Enriquecida (plataforma de asoleo; comedero flotante; peces vivos; estímulo olfativo), y analizamos los datos mediante Modelos Lineales Generalizados con distribución binomial negativa. Encontramos incrementos significativos en conductas clave (termorregulación, forrajeo, locomoción, respuestas defensivas) y patrones diferenciados en el uso del espacio entre zonas terrestres y acuáticas. Estos resultados respaldan el enriquecimiento como herramienta eficaz para rehabilitación y bienestar en cautiverio.

**Palabras clave:** tortuga hicotéa; conducta; bienestar; cautiverio; hábitat

## **Evaluation of the Effect of Environmental Enrichment on Behavior and Space Use in *Trachemys callirostris* at a Wildlife Rehabilitation Center in Cali, Colombia.**

### **ABSTRACT**

We quantified the effects of four enrichment types—basking platform, floating feeder, live fish, and predator scent (feces)—on behavior and space use in 33 *Trachemys callirostris* temporarily housed at the DAGMA Wildlife Transit Center (Cali, Colombia). Using a repeated-measures design alternating Control and Enriched conditions, behaviors were recorded via scan sampling and analyzed with generalized linear models (negative binomial; Tukey post hoc). The basking

platform consistently increased basking, climbing, and rest; the floating feeder enhanced foraging (capture, tearing, consumption) but concentrated agonistic interactions; live fish elicited a complete predation sequence while distributing activity across the enclosure; predator scent triggered robust defensive responses (hissing, puffing, immersion, refuge). Space use was functionally partitioned, with terrestrial zones concentrating walking/digging and deeper aquatic areas concentrating floating/rapid swimming/feeding. Overall, diverse enrichment combined with heterogeneous enclosure structure improves expression of natural behaviors and supports welfare and pre-release preparation.

**Keywords:** *hicotea turtle; behavior; welfare; captivity; habitat*

## **Introducción**

El tráfico ilegal de fauna silvestre representa una de las principales amenazas para la biodiversidad en Colombia, afectando de manera particular a las tortugas continentales extraídas de su medio natural para su tenencia como mascotas.

*Trachemys callirostris* (hicotea) es una de las especies más frecuentemente decomisadas y trasladadas a centros de atención en zonas urbanas, como el Hogar de Paso de Fauna Silvestre del DAGMA en Cali, reflejando la magnitud del problema y la necesidad de fortalecer los procesos de rehabilitación (López-Torres et al., 2022; DAGMA, 2024). Esta especie, endémica del norte de Suramérica, habita cuerpos de agua lentos o lénticos con abundante vegetación ribereña, donde cumple funciones ecológicas esenciales como dispersora de semillas y controladora de invertebrados acuáticos (Wikipedia, 2025). La extracción y el cautiverio prolongado generan alteraciones fisiológicas y comportamentales que reducen la probabilidad de supervivencia tras la liberación, por lo que resulta clave optimizar las estrategias de rehabilitación.

Los procesos de rehabilitación buscan restablecer la funcionalidad ecológica y comportamental de los individuos mediante intervenciones que reduzcan el estrés y promuevan la expresión de conductas naturales. En este contexto, el enriquecimiento ambiental (EA) se ha consolidado como una herramienta fundamental para mejorar el bienestar durante el cautiverio y favorecer la readaptación posterior a la liberación. El EA comprende la modificación deliberada del entorno para aumentar su complejidad

física, sensorial o social, estimulando la exploración, la alimentación activa y otras conductas inherentes a la especie (Burghardt, 2013; Bartolomé Carretero, 2024). Aunque su aplicación ha sido ampliamente desarrollada en mamíferos y aves, los reptiles y en particular los quelonios continentales han recibido menor atención, pese a evidencias crecientes de su capacidad de aprendizaje, percepción sensorial y respuesta conductual a la complejidad ambiental (Boyer, 1965; Wyneken, 2001; Rivera et al., 2006; Lindeman, 2024).

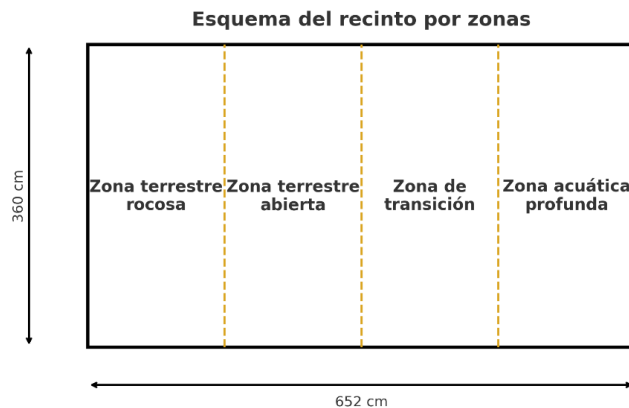
La mayoría de los antecedentes experimentales sobre EA en tortugas provienen de estudios con especies marinas. Investigaciones recientes muestran que dispositivos simples como cepillos, refugios y estructuras tridimensionales pueden inducir comportamientos de acicalamiento, descanso asistido y exploración activa, contribuyendo al bienestar durante la rehabilitación (*Caretta caretta* y *Chelonia mydas*; Harvey-Carroll et al., 2023; Diggins et al., 2022; Escobedo-Bonilla et al., 2022). En contraste, los estudios en tortugas continentales son escasos y se han centrado en condiciones de cautiverio prolongado, pero sus resultados apuntan a efectos positivos del EA sobre la exploración, la alimentación y la reducción de estereotipias (Piña Paucar et al., 2025). Esta brecha de conocimiento evidencia la necesidad de trasladar los avances obtenidos en tortugas marinas al contexto de las especies continentales, adaptando los diseños experimentales a sus condiciones ecológicas y conductuales.

Garantizar procesos de rehabilitación efectivos es esencial para la conservación, ya que la recuperación de las conductas naturales es un prerrequisito para la liberación exitosa. En *T. callirostris*, especie semiacuática y de hábitos oportunistas, las respuestas conductuales dependen fuertemente de la estructura del hábitat como zonas de asoleo, áreas someras y refugios, por lo que se espera que la provisión de enriquecimientos estructurales, alimentarios y sensoriales promueva la expresión de comportamientos adaptativos. En este estudio se evaluó el efecto de un protocolo de enriquecimiento ambiental sobre el comportamiento y el uso del espacio en individuos de *T. callirostris* alojados en un el centro de rehabilitación del DAGMA. Se

planteó que los enriquecimientos físicos y alimentarios aumentarían la frecuencia de conductas naturales positivas (asoleo, forrajeo, exploración y locomoción), mientras que los estímulos olfativos inducirían respuestas defensivas funcionales. Los resultados buscan aportar evidencia experimental que oriente la aplicación de programas de enriquecimiento en reptiles neotropicales y fortalezca los estándares de bienestar y rehabilitación en los hogares de paso de fauna silvestre.

### **Materiales y métodos**

El estudio se llevó a cabo en el Hogar de Paso de Fauna Silvestre del DAGMA (Cali, Colombia), utilizando un recinto artificial de 652 × 360 cm diseñado para evaluar patrones de comportamiento y uso del espacio en *T. callirostris* en proceso de rehabilitación (Figura 1). El recinto se dividió en cuatro zonas funcionales: terrestre rocosa, terrestre abierta, transición y acuática profunda con el fin de diferenciar microhábitats terrestres y acuáticos y permitir la detección de variación en las respuestas conductuales asociadas a la disponibilidad estructural.



**Figura 1.** Diagrama del recinto (652 × 360 cm) segmentado en cuatro zonas: terrestre rocosa, terrestre abierta, de transición y acuática profunda”).

Se observaron 33 individuos de *T. callirostris* en proceso de rehabilitación, mantenidos colectivamente en el recinto y bajo las rutinas estándar de manejo del hogar de paso (alimentación, limpieza, recambio de agua y monitoreo sanitario), siguiendo protocolos para minimizar perturbaciones (ver Figura 2).



**Figura 2.** Placa fotográfica de los enriquecimientos ambientales utilizados en el recinto. A) Plataforma de asoleo (termorregulación). B) Comedero flotante tipo dispensador. C) Peces vivos como estímulo de forrajeo/caza. D) Estimulo olfativo mediante heces de un depredador potencial. Fotografías tomadas en el Hogar de Paso de Fauna Silvestre – DAGMA, Cali.

Se implementó un diseño con medidas repetidas a lo largo de cuatro días consecutivos, con cuatro franjas horarias por día (mañana temprana, mañana media, tarde temprana y tardía) y cuatro tipos de enriquecimiento aplicados en sesiones separadas (ver Tabla 1): plataforma de asoleo, comedero flotante, peces vivos (Guppies) y estímulo olfativo basado en heces de un depredador potencial.

La secuencia de tratamientos se alternó y contrabalanceó entre bloques para mitigar efectos de orden y de horario.

**Tabla 1.** Cronograma y contrabalanceo de condiciones (Control vs. Enriquecido): 4 días, 4 franjas, 16 bloques con rotación diaria para controlar efectos de hora del día.

<b>Día</b>	<b>Bloque</b>	<b>Franja horaria</b>	<b>Condición</b>
<b>1</b>	1	Mañana temprano	Control
	2	Mañana media	Control
	3	Tarde temprano	Enriquecido
	4	Tarde tardía	Enriquecido
<b>2</b>	1	Tarde temprano	Enriquecido
	2	Tarde tardía	Enriquecido
	3	Mañana temprano	Control
	4	Mañana media	Control
<b>3</b>	1	Mañana temprano	Enriquecido
	2	Mañana media	Enriquecido
	3	Tarde temprano	Control
	4	Tarde tardía	Control
<b>4</b>	1	Tarde temprano	Control
	2	Tarde tardía	Control
	3	Mañana temprano	Enriquecido
	4	Mañana media	Enriquecido

### *Muestreo conductual*

Cada bloque tuvo una duración de 30 minutos y se empleó muestreo por escaneo a intervalos de un minuto. En cada escaneo se registraron las conductas observadas y la ubicación espacial de todos los individuos visibles. El esfuerzo total produjo aproximadamente 1.920 observaciones.

El etograma contempló categorías amplias (termorregulación, forrajeo, locomoción, refugio, defensa y social) y conductas específicas tales como asoleo, exploración visual, caminata, nado rápido, captura, desgarre, consumo, mordida/embestida, vocalización, acicalamiento y refugio/inmersión. Las definiciones operativas se mantuvieron constantes durante todo el estudio siguiendo lineamientos estandarizados de muestreo etológico (e.g., Zerda, 2004).

### *Variables ambientales*

De manera simultánea se registraron la temperatura del agua, humedad ambiental y altura de la columna de agua, con el fin de explorar su asociación con la actividad y el uso del espacio.

#### *Métricas de respuesta*

Para cada combinación tratamiento–conducta se estimó la frecuencia por escaneo (conteo de ocurrencias por unidad de tiempo). El uso del espacio se cuantificó como la frecuencia de presencia en cada una de las cuatro zonas del recinto.

#### *Análisis estadístico*

Dado el carácter de conteos y la sobredispersión esperada, se ajustaron Modelos Lineales Generalizados (GLM) con distribución binomial negativa y enlace log. Los modelos incluyeron como efectos fijos el tratamiento, la franja horaria y el segmento del recinto. Cuando fue pertinente, se realizaron comparaciones *post hoc* tipo Tukey sobre estimadores marginales. Se reportan coeficientes ( $\beta$ ), errores estándar, valores  $z$ , valores  $p$ , intervalos de confianza al 95% y AIC. Adicionalmente, se evaluaron correlaciones de Spearman entre frecuencia conductual y variables ambientales para identificar gradientes funcionales del entorno.

Los análisis se realizaron en R (versión 4.5.2; R Core Team) ejecutado en RStudio (versión 2025.09.2+418), utilizando los paquetes MASS 7.3-65, emmeans 2.0.0, ggplot2 4.0.0, dplyr 1.1.4, tidyr 1.3.1, forcats 1.0.1 y gt 1.1.0, correspondientes a las versiones estables disponibles al momento del análisis, con el fin de asegurar la reproducibilidad y trazabilidad de los resultados.

#### *Consideraciones éticas*

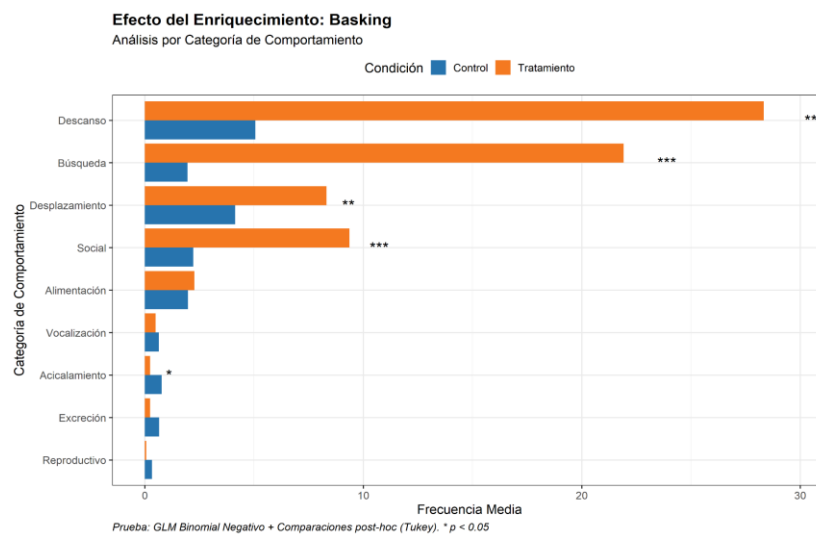
El estudio cumplió con los lineamientos del Hogar de Paso de Fauna Silvestre del DAGMA para el manejo de reptiles en rehabilitación, priorizando la reducción del estrés, la observación no invasiva y la no interferencia con los procedimientos clínicos.

## Resultados

### Plataforma de asoleo (*basking*)

En la condición con plataforma se observaron incrementos en las categorías asociadas a termorregulación y permanencia en sustratos expuestos, junto con cambios en la estructura temporal de la actividad. Se detectaron aumentos significativos en las categorías de termorregulación ( $p < 0.0001$ ), búsqueda ( $p < 0.0001$ ), descanso ( $p < 0.0001$ ), desplazamiento ( $p = 0.0015$ ) y social ( $p < 0.0001$ ); (ver Figura 3).

A nivel de comportamientos específicos, aumentaron los comportamientos de asoleo ( $p < 0.0001$ ), escalar ( $p < 0.0001$ ), búsqueda ( $p < 0.0001$ ), descanso ( $p < 0.0001$ ), desplazamiento ( $p = 0.0015$ ), interacción social ( $p < 0.0001$ ), flotación ( $p = 0.0083$ ) y refugio ( $p < 0.0001$ ); mientras que otras conductas se mantuvieron estables o con cambios marginales



**Figura 3.** Efecto del enriquecimiento: Plataforma de asoleo Sobre Categorías de comportamiento.

El enriquecimiento con plataforma reorganiza el tiempo activo hacia conductas de asoleo, permanencia en sustratos elevados y exploración de las zonas emergidas del recinto, reforzando el papel de la termorregulación como eje central de la actividad diurna. Los perfiles de diferencia entre condiciones (Control vs. Enriquecido), reportados en la Tabla 2, confirman esta jerarquía de efectos (ver Figura 3).

**Tabla 2.** Plataforma de asoleo — Comparaciones por comportamiento específico (GLM binomial negativa + Tukey).



**(Basking): Comparaciones por Comportamiento Específico**

Cambios en comportamientos específicos bajo el enriquecimiento de tipo Basking.

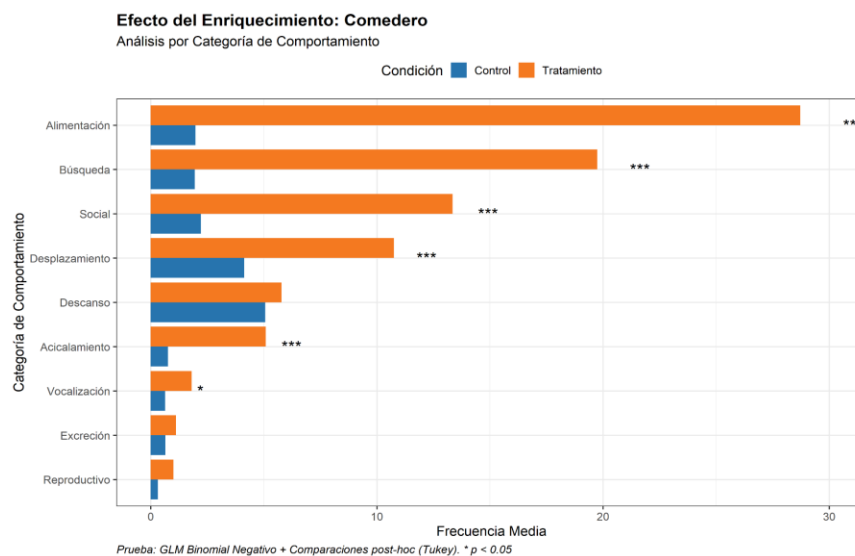
Análisis	Grupo Analizado	Comparación	Clase	Nivel	Valor p
Basking	Asoleo (basking)	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$3.10 \times 10^{-5}$
Basking	Contacto físico	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$6.90 \times 10^{-5}$
Basking	Escalar	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$8.10 \times 10^{-8}$
Basking	Flotación	Control - Tratamiento	Comportamiento	**	$8.30 \times 10^{-3}$
Basking	Refugio	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$8.00 \times 10^{-13}$

Pruebas estadísticas: Modelo Lineal General (LM) con comparaciones múltiples post-hoc de Tukey.  
Significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Las estimaciones del modelo cuantifican con claridad el patrón descrito: coeficientes positivos elevados y con intervalos de confianza estrechos para Asoleo, Escalar y Refugio, seguidos por Descanso y Desplazamiento, indican un efecto robusto del enriquecimiento estructural sobre la disponibilidad de microhábitats térmicamente favorables y sitios de descanso (ver Figura 3 y la Tabla 2).

*Comedero flotante*

Con el comedero flotante se incrementaron las categorías alimentación, exploración y social, reflejando una mayor inversión en búsqueda y aprovechamiento del recurso flotante. Se observaron aumentos significativos en alimentación, exploración y conducta social (todas  $p < 0.0001$ ), además de vocalización ( $p = 0.0427$ ); (ver Figura 4).



**Figura 4.** Efecto del enriquecimiento Comedero flotante Por Categorías de comportamiento.

En comportamientos específicos se registraron aumentos en Caminata ( $p < 0.0001$ ), Búsqueda ( $p < 0.0001$ ), Captura ( $p < 0.0001$ ), Consumo ( $p < 0.0001$ ), Interacción social ( $p < 0.0001$ ), Nado rápido ( $p = 0.0004$ ) y Seguimiento ( $p = 0.0377$ ; ver Figura 4).

**Tabla 3.** Comedero flotante — Comparaciones por comportamiento específico (GLM binomial negativa + Tukey).

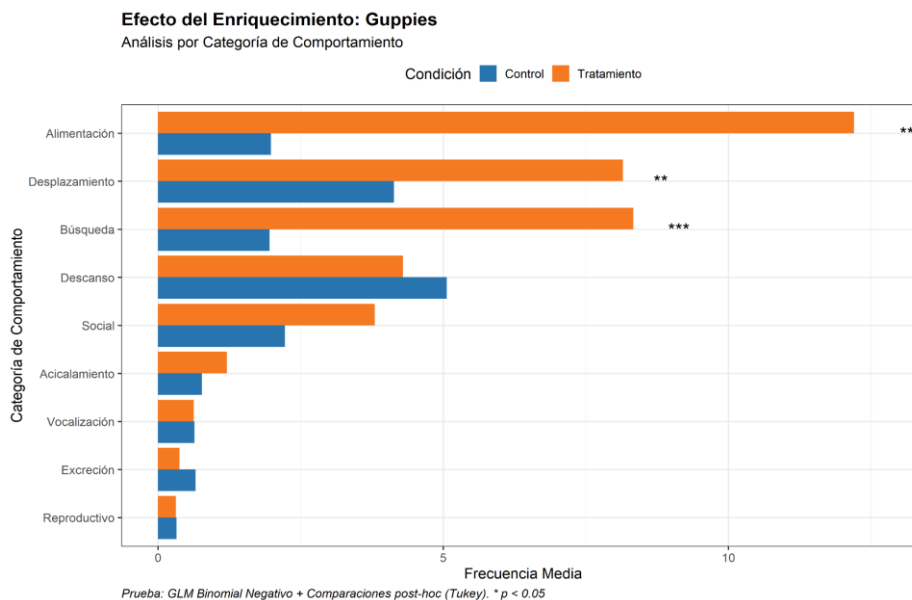
<b>(Comedero): Comparaciones por Comportamiento Específico</b>					
Cambios en comportamientos específicos bajo el enriquecimiento de tipo Comedero.					
Análisis	Grupo Analizado	Comparación	Clase	Nivel	Valor p
Comedero	Caminata	Control - Tratamiento	Comportamiento	**	$6.60 \times 10^{-3}$
Comedero	Captura con la boca	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$3.40 \times 10^{-9}$
Comedero	Consumo de carne	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$4.50 \times 10^{-10}$
Comedero	Contacto físico	Control - Tratamiento	Comportamiento	*	$4.69 \times 10^{-2}$
Comedero	Cópula	Control - Tratamiento	Comportamiento	*	$2.36 \times 10^{-2}$
Comedero	Defensa	Control - Tratamiento	Comportamiento	**	$1.50 \times 10^{-3}$
Comedero	Desgarre de alimento	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$8.50 \times 10^{-10}$
Comedero	Embestida	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$6.00 \times 10^{-4}$
Comedero	Exploración visual	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$2.40 \times 10^{-9}$
Comedero	Flotación	Control - Tratamiento	Comportamiento	*	$4.86 \times 10^{-2}$
Comedero	Frotado de cabeza	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$6.00 \times 10^{-4}$
Comedero	Frotado de caparazón	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$4.00 \times 10^{-4}$
Comedero	Frotado de extremidades	Control - Tratamiento	Comportamiento	**	$1.70 \times 10^{-3}$
Comedero	Mordida	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$9.70 \times 10^{-11}$
Comedero	Nado rápido	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$4.00 \times 10^{-4}$
Comedero	Seguimiento	Control - Tratamiento	Comportamiento	*	$3.77 \times 10^{-2}$

Pruebas estadísticas: Modelo Lineal General (LM) con comparaciones múltiples post-hoc de Tukey.  
Significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Los coeficientes del GLM son consistentes con una reorientación del tiempo hacia la adquisición y consumo de alimento en superficie, con valores elevados de  $\beta$  para los comportamientos de captura y consumo y efectos moderados sobre el nado rápido, búsqueda y seguimiento. La combinación  $\beta$ -IC95% delimita bien estas diferencias (ver la Tabla 3).

### *Peces vivos (Guppies)*

Con la presencia de los Guppies aumentaron las categorías alimentación ( $p < 0.0001$ ), exploración ( $p < 0.0001$ ), defensa ( $p = 0.0004$ ), social ( $p < 0.0001$ ), así como las conductas asociadas a la secuencia de caza, y se mantuvieron o redujeron categorías menos relacionadas con el forrajeo activo. También se observaron incrementos en la búsqueda ( $p = 0.0001$ ) y el desplazamiento ( $p = 0.0027$ ); (ver Figura 5). En comportamientos específicos se observaron incrementos en la captura ( $p < 0.0001$ ), consumo ( $p < 0.0001$ ), búsqueda ( $p < 0.0001$ ), desplazamiento ( $p = 0.0027$ ), así como en comportamientos exploratorios orientados al recurso, consolidando la secuencia exploración  $\rightarrow$  persecución  $\rightarrow$  captura  $\rightarrow$  consumo.



**Figura 5.** Efecto del enriquecimiento: Peces vivos (Guppies) Por Categorías de comportamiento.

El estímulo dinámico con presa viva activa la secuencia predatoria completa, desde la detección visual hasta el consumo, incrementando la complejidad del repertorio motor y la integración sensorial. La Tabla 4 detalla magnitudes y precisión de los efectos estimados (ver Figura 5 y la Tabla 4).

**Tabla 4.** Peces vivos (Guppies) — Comparaciones por comportamiento específico (GLM binomial negativa + Tukey).

<b>(Guppies): Comparaciones por Comportamiento Específico</b>					
Cambios en comportamientos específicos bajo el enriquecimiento de tipo Guppies.					
Análisis	Grupo Analizado	Comparación	Clase	Nivel	Valor p
Guppies	Captura con la boca	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$5.00 \times 10^{-5}$
Guppies	Consumo de carne	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$6.20 \times 10^{-6}$
Guppies	Desgarre de alimento	Control - Tratamiento	Comportamiento	*	$1.47 \times 10^{-2}$
Guppies	Exploración visual	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$2.00 \times 10^{-4}$
Guppies	Mordida	Control - Tratamiento	Comportamiento	**	$5.50 \times 10^{-3}$
Guppies	Nado rápido	Control - Tratamiento	Comportamiento	**	$1.10 \times 10^{-3}$

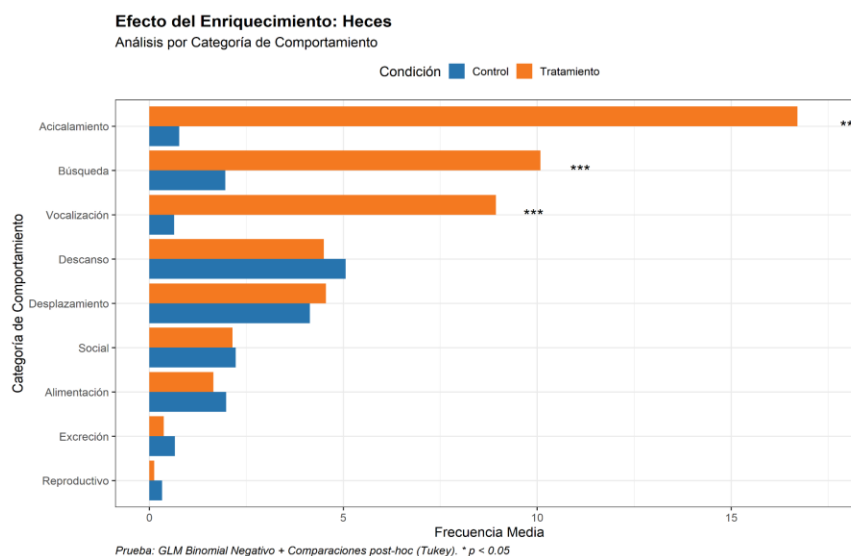
Pruebas estadísticas: Modelo Lineal General (LM) con comparaciones múltiples post-hoc de Tukey.  
Significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Los valores estimados muestran un salto funcional hacia conductas de caza activa y consumo, con  $\beta$  altos para captura y consumo, seguidos por la búsqueda y el

desplazamiento, y con intervalos de confianza que no cruzan cero. Este patrón respalda la robustez del enriquecimiento dinámico como simulador de forrajeo natural (ver la Tabla 4).

*Estímulo olfativo (heces de depredador) — específicos*

Para el estímulo olfativo se registraron incrementos en el comportamiento de bufido ( $p = 0.0017$ ), siseo ( $p = 0.0008$ ), inmersión ( $p = 0.0003$ ), acicalamiento desplazado ( $p = 0.0217$ ), refugio ( $p = 0.0007$ ) y refugio en caparazón ( $p = 0.0002$ ) (ver Figura 6).



**Figura 6.** Efecto del enriquecimiento: Estímulo olfativo (heces) Por Categorías de comportamiento.

La señal química de riesgo activa un perfil defensivo selectivo: las tortugas responden con vocalizaciones de advertencia, incremento de inmersión y refugio, así como con conductas de acicalamiento desplazado, que pueden interpretarse como respuestas de manejo de estrés. Los detalles inferenciales están en la Tabla 5 (ver Tabla 5).

**Tabla 5.** Estímulo olfativo (heces) — Comparaciones por comportamiento específico (GLM binomial negativa + Tukey).

<b>(Heces): Comparaciones por Comportamiento Específico</b>					
Cambios en comportamientos específicos bajo el enriquecimiento de tipo Heces.					
Análisis	Grupo Analizado	Comparación	Clase	Nivel	Valor p
Heces	Bufido	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$6.10 \times 10^{-6}$
Heces	Exploración visual	Control - Tratamiento	Comportamiento	**	$9.80 \times 10^{-3}$
Heces	Frotado de cabeza	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$4.20 \times 10^{-9}$
Heces	Frotado de caparazón	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$7.00 \times 10^{-7}$
Heces	Frotado de extremidades	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$1.40 \times 10^{-8}$
Heces	Inmersión	Control - Tratamiento	Comportamiento	*	$2.17 \times 10^{-2}$
Heces	Refugio	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$7.00 \times 10^{-4}$
Heces	Refugio en caparazón	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$2.00 \times 10^{-4}$
Heces	Siseo	Control - Tratamiento	Comportamiento	***	$3.20 \times 10^{-6}$

Pruebas estadísticas: Modelo Lineal General (LM) con comparaciones múltiples post-hoc de Tukey.  
Significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Las estimaciones acotan con precisión la selectividad del efecto: comportamientos defensivos muestran coeficientes positivos fuertes y significativos, mientras que conductas no defensivas permanecen estables o con variaciones menores. Los IC95% respaldan que la respuesta se focaliza en evitación y refugio.

#### *Uso del espacio por segmentos del hábitat*

El patrón espacial fue consistente con la partición funcional del recinto: las tortugas utilizaron preferencialmente las áreas terrestres para asoleo, descanso y refugio, mientras que las zonas acuáticas se asociaron con nado, exploración y consumo. Se detectaron diferencias significativas entre segmentos (S1–S2  $p = 0.0001$ ; S1–S3  $p = 0.0002$ ; S1–S4  $p = 0.0002$ ; S2–S3  $p < 0.0001$ ; S2–S4  $p = 0.0001$ ) (ver la Tabla 6).

**Tabla 6.** Comparaciones significativas por segmento del hábitat (S1–S4) para Caminata, Excavación y Flotación.

**Comparaciones Significativas por Segmento del Hábitat**

Diferencias en la frecuencia de comportamientos entre los segmentos del recinto.

Grupo Analizado	Comparación	Nivel	Valor p
Caminata	Segmento 1 - Segmento 4	***	$1.40 \times 10^{-6}$
Caminata	Segmento 2 - Segmento 4	***	$9.30 \times 10^{-8}$
Caminata	Segmento 3 - Segmento 4	***	$1.00 \times 10^{-4}$
Excavar	Segmento 1 - Segmento 3	**	$1.80 \times 10^{-3}$
Excavar	Segmento 1 - Segmento 4	**	$1.30 \times 10^{-3}$
Excavar	Segmento 2 - Segmento 3	**	$1.20 \times 10^{-3}$
Excavar	Segmento 2 - Segmento 4	***	$7.00 \times 10^{-4}$
Flotación	Segmento 1 - Segmento 3	***	$1.00 \times 10^{-4}$
Flotación	Segmento 1 - Segmento 4	***	$2.00 \times 10^{-4}$
Flotación	Segmento 2 - Segmento 3	***	$4.20 \times 10^{-5}$
Flotación	Segmento 2 - Segmento 4	***	$6.30 \times 10^{-5}$

Pruebas estadísticas: Modelo Lineal General (LM) con comparaciones múltiples post-hoc de Tukey.  
Significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Las comparaciones por pares sitúan dónde emergen los cambios. La caminata y la excavación se concentran en los segmentos terrestres (S1, S2), mientras que la flotación predomina en el segmento acuático profundo (S4), configurando una partición espacial congruente con la función de cada enriquecimiento (ver la Tabla 6).

## Discusión

El presente estudio evaluó de forma cuantitativa y en condiciones reales de manejo la influencia de cuatro tipos de enriquecimiento ambiental sobre el comportamiento y el uso del espacio en *T. callirostris*, una de las tortugas continentales más afectadas por el tráfico ilegal en Colombia. Los resultados muestran que los individuos responden de manera diferenciada a cada tipo de estímulo y mantienen un repertorio conductual funcional pese a periodos prolongados en cautiverio. Esta plasticidad conductual corrobora el creciente reconocimiento de que los reptiles no son animales pasivos o de baja respuesta, sino organismos capaces de explorar, aprender y responder a variaciones ambientales complejas (Burghardt, 2013; Bartolomé et al., 2023). A la luz de estas evidencias, el enriquecimiento ambiental (EA) emerge como un componente esencial en los procesos de rehabilitación, con un potencial significativo para mejorar el bienestar, reducir la apatía y promover habilidades necesarias para la vida en estado silvestre.

La plataforma de asoleo produjo efectos claros en comportamientos térmicos y de mantenimiento corporal, incrementando la frecuencia de asoleo, escalar y descanso. En tortugas acuáticas, el acceso a superficies elevadas y secas es determinante para la homeostasis térmica y la salud del caparazón, como lo demuestran estudios clásicos (Boyer, 1965) y recientes análisis sobre la fisiología térmica, el comportamiento de basking y la remoción de bioincrustantes (McKnight et al., 2023; Lindeman, 2024). El patrón observado aquí refuerza la idea de que los recintos sin plataformas adecuadas limitan la expresión conductual natural e incluso pueden comprometer la recuperación fisiológica de individuos provenientes del tráfico. Por ello, su implementación no debe considerarse decorativa, sino estructuralmente indispensable en contextos de rehabilitación.

Los enriquecimientos alimentarios (comedero flotante y peces vivos) activaron repertorios de búsqueda, exploración y captura, aunque con dinámicas distintas. El comedero flotante generó incrementos marcados en manipulación del recurso, locomoción y competencia, lo cual coincide con estudios en zoológicos que documentan cómo los dispositivos alimentarios estáticos pueden intensificar interacciones agonísticas cuando varios individuos acceden simultáneamente a un mismo punto (Riley, 2020; Bartolomé et al., 2023). En recintos colectivos, este tipo de enriquecimiento debe evaluarse con cautela, ajustando el número de dispositivos para minimizar la monopolización del recurso y la exclusión de individuos subordinados.

Por el contrario, el enriquecimiento dinámico mediante peces vivos estimuló una secuencia predatoria completa (exploración, persecución, captura y consumo), distribuida de manera más homogénea en el espacio. Este resultado es congruente con hallazgos en tortugas marinas, donde estímulos móviles incrementan el gasto energético positivo, reducen estereotipias y mantienen altos niveles de motivación exploratoria (Therrien et al., 2007; Harvey-Carroll et al., 2023). Además, al evitar la concentración espacial del alimento, los peces vivos disminuyen interacciones agonísticas y favorecen una competencia más natural. Desde una perspectiva ecológica, este enriquecimiento reproduce de manera más fiel las exigencias del

forrajeo en vida libre y probablemente contribuye a recuperar habilidades clave para la supervivencia post-liberación.

El enriquecimiento olfativo basado en heces de ocelote generó respuestas defensivas claras, incluyendo siseo, bufido, inmersión y refugio. La detección de olores asociados a depredadores está bien documentada en reptiles (Webb et al., 2010; Oddie et al., 2015), y en nuestro estudio su activación sugiere que *T. callirostris* retiene la capacidad de evaluar riesgo a través de señales químicas aun después de periodos prolongados en cautiverio. Esta sensibilidad podría ser especialmente relevante en contextos de preliberación, ya que la persistencia de respuestas defensivas funcionales es un indicador favorable de preparación para enfrentar depredadores en vida silvestre. No obstante, su uso debe ser cuidadosamente regulado: exposiciones demasiado frecuentes podrían generar habituación o estrés crónico, mientras que exposiciones ocasionales podrían servir como herramienta diagnóstica de reactividad al riesgo.

El análisis del uso del espacio reveló patrones congruentes con la estructura del recinto y con las características ecológicas de la especie. Las áreas terrestres se asociaron con caminata y excavación, mientras que las zonas acuáticas profundas se vincularon con flotación y locomoción acelerada. Estos resultados refuerzan la importancia de ofrecer gradientes ambientales como profundidades variables, transiciones terrestres–acuáticas y sustratos distintos para permitir que las tortugas desplieguen un repertorio amplio de microconductas. En línea con las guías de bienestar para reptiles en zoológicos y centros de rehabilitación (AZA, 2022), el acceso a ambientes estructuralmente variados es clave para mejorar la condición física, promover la exploración y evitar la homogeneización comportamental típica del cautiverio.

Aunque este estudio proporciona evidencia robusta sobre las respuestas conductuales a distintos tipos de enriquecimiento, presenta limitaciones inherentes al diseño utilizado. La ausencia de replicación espacial debido al uso de un único recinto colectivo limita la independencia estadística de las unidades experimentales y, por



tanto, la generalización de los resultados. Además, la dinámica social asociada a la agrupación de individuos puede modular la expresión de ciertos comportamientos, particularmente aquellos relacionados con competencia y acceso a recursos. Futuros trabajos deberían incorporar diseños con múltiples recintos, distribución aleatoria de tratamientos y evaluación individualizada para aumentar la inferencia causal.

Finalmente, aunque los cambios conductuales observados son consistentes y biológicamente relevantes, estos no permiten por sí solos afirmar que el enriquecimiento mejora la supervivencia o el éxito adaptativo después de la liberación. La validación definitiva solo puede lograrse mediante programas de monitoreo post-liberación (idealmente con telemetría, marcaje-recaptura o fotoidentificación) que comparen tortugas sometidas al enriquecimiento con individuos rehabilitados bajo condiciones estándar sin enriquecimiento. Esta aproximación permitiría evaluar supervivencia, hábitos de movimiento, uso del hábitat y reactividad ante depredadores, y establecer vínculos causales entre los desafíos del cautiverio, la calidad de la rehabilitación y el desempeño en vida libre.

### **Conclusiones**

Los resultados evidencian que *T. callirostris* responde de manera clara, diferenciada y ecológicamente coherente a diversos tipos de enriquecimiento ambiental, activando conductas esenciales para la termorregulación, la exploración, el forrajeo y la defensa. La plataforma de asoleo se consolidó como un componente estructural crucial, mientras que las presas vivas se destacaron como el enriquecimiento más capaz de reproducir secuencias predatorias naturales y distribuir equitativamente la actividad. Asimismo, el estímulo olfativo de potenciales depredadores mostró que las tortugas mantienen repertorios defensivos funcionales, relevantes para las etapas de preliberación.

Estos resultados deben interpretarse considerando las limitaciones del diseño experimental, como la ausencia de replicación espacial y el impacto de la dinámica social en el recinto colectivo. Para establecer la efectividad del enriquecimiento sobre

la supervivencia tras la liberación, es imprescindible integrar programas de monitoreo post-liberación que comparen individuos enriquecidos con controles no enriquecidos. Solo bajo esta aproximación longitudinal y comparativa será posible consolidar protocolos de rehabilitación basados en evidencia que mejoren de manera sustantiva el bienestar y la aptitud de *T. callirostris* y otras tortugas continentales sometidas a procesos de decomiso y recuperación.

### **Agradecimientos**

A mi madre, porque sin su lucha y esfuerzo no sería lo que soy hoy y no tendría la oportunidad de escribir estas palabras; a mi tío, por enseñarme el camino y cómo aprenderlo a andar; a mi abuela, por ser el ser más bello que he conocido en este mundo; a mi hermana y a su perro Dante, por darme la oportunidad de ser verdaderamente “hermano”; a mi padre, por querer estar y brindarme su interés; a mis tres gatos, Atenea, Thor y Venus, y a mis cuatro ratas, Capuchino, Sebastián, Skady y Zacarías, por enseñarme que cada vida importa, por mínima o insignificante que parezca. A mi director de tesis, Daniel Osorio, por su paciencia y su pasión por la docencia, y por enseñarme mucho más allá de la biología; a mi codirectora, Leidy Albino Sánchez, por su acompañamiento, sus orientaciones y su confianza en este proyecto. Al Hogar de Paso de Fauna Silvestre de Cali, por permitirme el desarrollo de este trabajo de grado, educarme sobre el tema y facilitarme las herramientas necesarias para llevar a cabo el presente estudio. Y a Franco, por mostrarme lo bonito de una amistad genuina

### **Referencias**

Association of Zoos and Aquariums. (2022). *AZA enrichment guiding principles*. <https://www.aza.org>

Arango-Lozano, J., Patiño-Siro, D., & Toro-Cardona, F. A. (2023). Reaching new environments through illegal trade: Evidence of a widely traded turtle in Colombia. *Aquatic Ecology*, 57, 471–480. <https://doi.org/10.1007/s10452-023-10023-z>

Bartolomé, A., Carazo, P., & Font, E. (2023). Environmental enrichment for reptiles in European zoos: Current status and perspectives. *Animal Welfare*, 32, e48. <https://doi.org/10.1017/awf.2023.43>

Bashaw, M. J., Gibson, M. D., Schowe, D. M., & Kucher, A. S. (2016). Does enrichment improve reptile welfare? Leopard geckos (*Eublepharis macularius*) respond to five types of environmental enrichment. *Applied Animal Behaviour Science*, 184, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.08.003>

Blob, R. W. (2016). Functional and evolutionary morphology of turtles: An integrative perspective. *Integrative and Comparative Biology*, 56(6), 1091–1105. <https://doi.org/10.1093/icb/icw112>

Boyer, D. R. (1965). Ecology of the basking habit in turtles. *Ecology*, 46(1), 99–118. <https://doi.org/10.2307/1935262>

Burghardt, G. M. (2013). Environmental enrichment and cognitive complexity in reptiles and amphibians: Concepts, review, and implications for captive populations. *Applied Animal Behaviour Science*, 147(3–4), 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.04.013>

Case, B. C., Lewbart, G. A., & Doerr, P. D. (2005). The physiological and behavioural impacts of and preference for an enriched environment in the eastern box turtle (*Terrapene carolina carolina*). *Applied Animal Behaviour Science*, 92(4), 353–365. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.11.021>

Chessman, B. C. (2024). The conundrum of turtle and tortoise basking: A critical review. *Journal of Zoology*, 323(4), 263–283. <https://doi.org/10.1111/jzo.13175>

Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA). (2024, 9 de julio). *105 animales recuperados en el Hogar de Paso del Dagma serán enviados a Cartagena y liberados en su hábitat natural*. Alcaldía de Santiago de Cali. <https://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/182009/105-animales-recuperados->

en-el-hogar-de-paso-del-dagma-seran-enviados-a-cartagena-y-liberados-en-su-habitat-natural/

Diggins, R., Burrie, R., Ariel, E., Ridley, J., Olsen, J., Schultz, S., Pettett-Willmet, A., Hemming, G., & Lloyd, J. (2022). A review of welfare indicators for sea turtles undergoing rehabilitation, with emphasis on environmental enrichment. *Animal Welfare*, 31(2), 219–230. <https://doi.org/10.7120/09627286.31.2.006>

Escobedo-Bonilla, C. M., Quiros-Rojas, N. M., & Rudín-Salazar, E. (2022). Rehabilitation of marine turtles and welfare improvement by application of environmental enrichment strategies. *Animals*, 12(3), 282. <https://doi.org/10.3390/ani12030282>

Harvey-Carroll, J., Crespo-Picazo, J. L., Saubidet, M., Robinson, N. J., García-Párraga, D., & March, D. (2023). Brushes and shelters as low-cost environmental enrichment devices for loggerhead turtles (*Caretta caretta*) during rehabilitation. *Chelonian Conservation and Biology*, 22(2), 237–244. <https://doi.org/10.2744/CCB-1596.1>

Lopes, L. L., Paulsch, A., & Nuno, A. (2022). Global challenges and priorities for marine turtle conservation interventions addressing illegal harvest, use and trade. *Oryx*, 56(4), 592–600. <https://doi.org/10.1017/S0030605320001210>

McKnight, D. T., et al. (2023). Nocturnal basking in freshwater turtles: A global assessment. *Global Ecology and Conservation*, 45, e02435. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02435>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2025, 11 de abril). *Campaña nacional para prevenir el tráfico ilegal de vida silvestre en Semana Santa*. <https://www.minambiente.gov.co/>

Mongabay Latam. (2024, 30 de marzo). *Colombia: Decomisan tortugas hicotreas traficadas durante Semana Santa en Ibagué*. Mongabay Latam. [Añade la URL específica de la nota]

Oddie, M. A. Y., et al. (2015). Investigation of cues used by predators to detect snapping turtle nests. *Canadian Journal of Zoology*, 93(8), 555–561. <https://doi.org/10.1139/cjz-2014-0264>

Páez, V. P., Morales-Betancourt, M. A., Lasso, C. A., Castaño-Mora, O. V., & Bock, B. C. (2022). Turtles of Colombia: Diversity, distribution, and conservation. *Amphibian & Reptile Conservation*, 16(1), 106–135 (e306). <https://amphibian-reptile-conservation.org>

Piña Paucar, A. L. (2025). Evaluación del enriquecimiento ambiental en tortugas: Impacto en su comportamiento y bienestar. *Revista Alfa, Arca*, 9(26). <https://doi.org/10.1590/S2664-0902ARCA91002400616>

Pulliam, H. R. (1974). On the theory of optimal diets. *The American Naturalist*, 108(951), 59–74. <https://doi.org/10.1086/282885>

Riley, L. M., et al. (2020). Concepts, applications, uses and evaluation of environmental enrichment: Perceptions of zoo professionals. *Journal of Zoo and Aquarium Research*, 8(1), 18–28. <https://doi.org/10.19227/jzar.v8i1.384>

Rivera, G., Rivera, A. R. V., Dougherty, E. E., & Blob, R. W. (2006). Aquatic turning performance of painted turtles (*Chrysemys picta*) and functional consequences of a rigid body design. *Journal of Experimental Biology*, 209(21), 4203–4213. <https://doi.org/10.1242/jeb.02488>

Rivera, G., Rivera, A. R. V., & Blob, R. W. (2011). Hydrodynamic stability of the painted turtle (*Chrysemys picta*): Effects of four-limbed rowing versus forelimb flapping in rigid-bodied tetrapods. *Journal of Experimental Biology*, 214(7), 1153–1162. <https://doi.org/10.1242/jeb.050062>

Therrien, C. L., Gaster, L., Cunningham-Smith, P., & Manire, C. A. (2007). Experimental evaluation of environmental enrichment of sea turtles. *Zoo Biology*, 26(5), 407–416. <https://doi.org/10.1002/zoo.20145>

Waterman, J. M., Wilkinson, A., & Williams, L. J. (2021). Evaluating environmental enrichment methods in three zoo-housed *Varanidae* lizard species. *Journal of Zoological and Botanical Gardens*, 2(4), 716–727. <https://doi.org/10.3390/jzbg2040051>

Webb, J. K., Brown, G. P., & Shine, R. (2010). Olfactory recognition of predators by nocturnal lizards. *Behavioral Ecology*, 21(1), 72–77. <https://doi.org/10.1093/beheco/arp152>

Wikipedia contributors. (n.d.). *Trachemys callirostris*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Recuperado el 11 de noviembre de 2025, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Trachemys\\_callirostris](https://es.wikipedia.org/wiki/Trachemys_callirostris)

Wyneken, J. (2001). *The anatomy of sea turtles* (NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-470). National Marine Fisheries Service.

Zerda, A. L. (2004). *Observación y muestreo de comportamiento* (Guía docente). Universidad Nacional de Colombia.