

## Efecto de la radiación ultravioleta B sobre la preferencia térmica en renacuajos de *Engystomops pustulosus*

Effect of ultraviolet B radiation on the thermal preference of *Engystomops pustulosus* tadpoles

Katalina Gutiérrez H. MSc<sup>1</sup>\*, <https://orcid.org/0000-0001-5181-5507>,  
Manuel Hernando Bernal B. PhD<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-0940-4514>,

<sup>1</sup>. Grupo de Herpetología, Eco-Fisiología & Etología (GHEE), Universidad del Tolima, Ibagué-Tolima, Colombia.

Recibido: Agosto 20 de 2025

Aceptado: Noviembre 30 de 2025

\*Correspondencia del autor: Katalina Gutiérrez H.

E-mail: kgutierrezh@ut.edu.co

<https://doi.org/10.47499/revistaacccb.v1i37.330>

### Resumen

**Introducción:** La radiación ultravioleta B (RUVB) y la temperatura son factores ambientales que pueden afectar a los anfibios, especialmente durante su fase larval. Dada la importancia de la termorregulación para el desarrollo y supervivencia. **Objetivo:** Identificar el impacto de la RUVB sobre la preferencia térmica de los renacuajos de *Engystomops pustulosus*. **Materiales y métodos:** En laboratorio, se realizaron exposiciones de una hora en canaletas de aluminio de 120 cm x 7 cm x 5 cm, con de 3 cm de agua, donde se establecieron gradientes térmicos desde 25 hasta 35°C, combinados con dos niveles de RUVB (bajo: 5 µW/cm<sup>2</sup>; alto: 100 µW/cm<sup>2</sup>). Se construyeron 6 diseños experimentales con diferentes gradientes térmicos y niveles de RUVB. Por cada diseño se estudiaron 45 renacuajos, y después de la exposición a la RUVB y temperatura, mediante el método de escaneo, que consiste en registrar la posición de los individuos a intervalos fijos, se determinó la distribución de los renacuajos en el gradiente térmico y RUVB. **Resultados:** En el experimento 1, los renacuajos evitaron significativamente lugares con RUVB alta, tanto en temperaturas altas como bajas. En el experimento 2, los renacuajos no mostraron diferencias en la preferencia térmica cuando se encontraban expuestos a una RUVB constante alta o baja. Finalmente, en el experimento 3, los renacuajos evitaron la RUVB alta, tanto a una temperatura constante baja como alta. **Conclusión:** Los renacuajos de esta especie evitan lugares con RUVB alta, independiente de la temperatura, por lo que al parecer priorizan la fotoprotección sobre la termorregulación.

**Palabras clave:** Anfibios, Comportamiento, Fotoprotección, Larvas, Rayos Ultravioleta-B, Termorregulación.

## Abstract

**Introduction:** Ultraviolet B radiation (UVBR) and temperature are environmental factors that can affect amphibians, especially during their larval stage. Given the importance of thermoregulation for development and survival. **Objective:** Identify the impact of UVBR on the thermal preference of *Engystomops pustulosus* tadpoles. **Materials and Methods:** In the laboratory, tadpoles were exposed for one hour in 120 cm × 7 cm × 5 cm aluminum channels with 3 cm of water depth, where thermal gradients from 25 to 35°C were established, combined with two UVBR levels (low: 5 µW/cm<sup>2</sup>; high: 100 µW/cm<sup>2</sup>). Six experimental designs were constructed with different combinations of thermal gradients and UVBR levels. For each design, 45 tadpoles were tested, and after the exposure to UVBR and temperature, their distribution along the thermal and UVBR gradients was determined using the scan sampling method, which consists of recording the position of individuals at fixed intervals. **Results:** In experiment 1, tadpoles significantly avoided areas with high UVBR, at both high and low temperatures. In experiment 2, tadpoles showed no differences in thermal preference when exposed to constant high or low UVBR. In experiment 3, tadpoles avoided high UVBR at both constant low and high temperatures. **Conclusion:** Tadpoles of this species avoid high UVBR areas regardless of temperature, suggesting that they prioritize photoprotection over thermoregulation.

**Keywords:** Amphibians, Behavior, Larvae, Photoprotection, Thermoregulation, Ultraviolet-B rays.

## Introducción

La radiación ultravioleta B (RUVB) que alcanza la superficie terrestre ha aumentado de manera continua desde mediados del siglo XX, principalmente por la reducción de la capa de ozono estratosférico (1). Este incremento se ha convertido en un factor de estrés ambiental relevante para numerosos organismos acuáticos, entre ellos los anfibios, cuyos ciclos de vida incluyen fases como los renacuajos, altamente expuestas a la luz solar (2). Debido a su naturaleza ectotérmica y a la permeabilidad de su piel, los anfibios son particularmente sensibles a la RUVB, lo que ha despertado un creciente interés por comprender cómo la RUVB interactúa con otros componentes de los ecosistemas dulceacuícolas (3).

Los efectos negativos de la RUVB sobre los anfibios están bien documentados, entre estos: el aumento de la mortalidad, malformaciones, retrasos en el desarrollo, reducción del crecimiento y de la capacidad locomotora, así como alteraciones inmunológicas y fisiológicas (3,4,5). A nivel celular, la RUVB induce la formación de dímeros de pirimidina (CPD) en el ADN, genera especies reactivas de oxígeno y compromete la integridad de las membranas, procesos que pueden traducirse en lesiones permanentes si la reparación es insuficiente (6). Estos daños fisiológicos han sido señalados como

posibles impulsores de las declinaciones poblacionales observadas en algunas regiones, aunque su magnitud y persistencia varían según el contexto ecológico.

Adicionalmente, la RUVB no actúa de manera aislada, su impacto suele potenciarse en presencia de otros factores. Condiciones como bajo oxígeno, elevada densidad larval o materia orgánica en descomposición intensifican los efectos negativos de la radiación, comprometiendo el desarrollo y la supervivencia (7,8). Asimismo, los cambios térmicos pueden exacerbar su letalidad; por ejemplo, temperaturas extremas afectan la eficacia de los mecanismos de reparación enzimática prolongando el daño genético (9,10).

Los efectos de la RUVB se extienden a nivel comportamental. Exposiciones prolongadas a esta radiación disminuyen la actividad natatoria y las respuestas de escape de los renacuajos, aumentando su vulnerabilidad frente a depredadores (11). También, la RUVB interfiere en la selección del microhábitat, dificultando la elección de zonas protegidas de la radiación directa (12). En anfibios ectotermos, este problema se agrava porque los gradientes térmicos más favorables para el crecimiento, como cuerpos de aguas cálidas, suelen coincidir con los niveles más altos de RUVB, obligando a los individuos a equilibrar las demandas de termorregulación con la necesidad de minimizar el daño fotoquímico.

Un estudio experimental demostró que las larvas de anuros tienden a seleccionar temperaturas cálidas, a pesar de exponerse a niveles perjudiciales de RUVB (13). Esta interacción entre termorregulación y foto-protectión podría incrementar su vulnerabilidad, especialmente en ambientes con alta irradiancia, exacerbando los daños genéticos y alterando procesos críticos del desarrollo (14). No obstante, otras investigaciones muestran que ciertas especies evitan la RUVB, lo que evidencia estrategias conductuales variadas.

La especie *E. pustulosus* es un anuro neotropical de reproducción explosiva, que deposita sus huevos en charcas temporales expuestas a fluctuaciones térmicas y elevados niveles de radiación. Sus renacuajos presentan coloración clara y, posiblemente, bajas concentraciones de melanina ya que en etapas tempranas se ha encontrado baja expresión de *shrm2*, un gen relacionado con la melanogénesis (15), característica que podría disminuir la foto-protectión. Sin embargo, la forma en que la RUVB interactúa con su preferencia térmica sigue poco explorada, a pesar de que la temperatura y la radiación son componentes esenciales de sus hábitats reproductivos. Por lo anterior, el presente estudio evaluó el impacto de la RUVB sobre la preferencia térmica en renacuajos de *E. pustulosus*. Se planteó la hipótesis de que la exposición a la RUVB modifica la preferencia térmica de los renacuajos, de tal manera que en niveles altos de RUVB evitarían termorregular; esto es, buscar temperaturas altas, lo que sería crítico para su desarrollo. Alternativamente, que los renacuajos prefieren termorregular, independiente del nivel de exposición a la RUVB, lo que podría exponerlos a los efectos deletéreos de esta radiación.

## Materiales y métodos

### *Especie de estudio y sitios de colecta*

La especie *E. pustulosus* (16) fue seleccionada como modelo biológico por encontrarse naturalmente expuesta a niveles elevados de RUVB y altas temperaturas. También, por su abundancia, amplia distribución en el departamento del Tolima (Colombia), por presentar un número alto de huevos por postura, y por estar clasificada actualmente como preocupación menor (LC) según la UICN (17). Además, deposita nidos de espuma con huevos de color blanco-crema. Los huevos fueron recolectados en diferentes salidas de campo, entre el 11 de noviembre del 2024 y el 27 de febrero del 2025, en distintas localidades alrededor del municipio de Ibagué N 4°23'41", W 75°08'56", 940 msnm; N 4°24'17"N, W 75°11'47", 1090 msnm; N 4° 26' 54" W 75° 15' 44",

1400 msnm. Esto con el fin de obtener posturas de diferentes parentales para cada réplica de los experimentos. Posteriormente, se trasladaron al Laboratorio de Herpetología de la Universidad del Tolima, donde fueron mantenidos en agua declorada hasta alcanzar el estadio 25 de Gosner (18), momento en el cual se inició el periodo experimental. Los renacuajos no fueron alimentados antes, ni durante los ensayos.

### *Gradiente térmico y niveles de RUVB*

Los valores seleccionados para el gradiente de la temperatura (25–35°C) y la RUVB (5 y 100 µW/cm<sup>2</sup>) fueron determinados con base en mediciones directas en el microhábitat natural de *E. pustulosus*. Ambos rangos se encuentran dentro de las condiciones que los renacuajos experimentan en cuerpos de agua temporales expuestos al sol, especialmente durante las horas de la mañana. Las temperaturas ambientales en estos hábitats fluctúan típicamente entre los 21,28 y 35,90°C, con promedios de 26,04°C, mientras que los niveles de RUVB registrados en la superficie del agua oscilan entre 1 y 466 µW/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, los valores utilizados en los experimentos corresponden a aquellos más comunes alrededor de las 9:00 a. m., cuando se observan renacuajos termorregulando y la exposición solar es intensa, pero no letal, de acuerdo con ensayos previos de tolerancia a la RUVB.

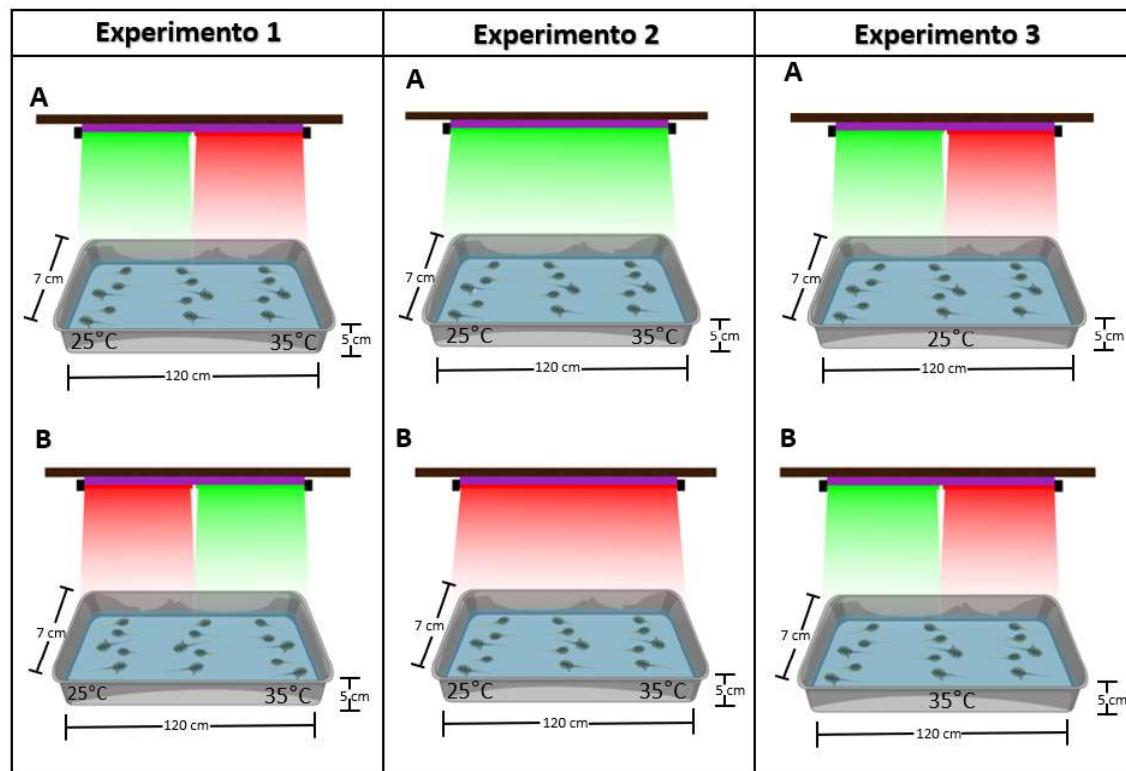
### *Diseño experimental*

Los renacuajos fueron mantenidos bajo un fotoperiodo de 12 h luz y 12 h oscuridad a lo largo de los tres días del experimento. Durante los períodos de exposición a RUVB y temperatura, únicamente se encendieron las lámparas UVB en las canaletas, sin iluminación adicional distinta de la ambiental del laboratorio. Tres experimentos, con dos diseños experimentales [A y B] (Fig. 1), fueron realizados para probar si la RUVB afecta las preferencias térmicas de los renacuajos. En el primer experimento, se construyeron por separado dos gradientes térmicos (desde una temperatura alta: 35°C hasta baja: 25°C), y cada uno fue expuesto simultáneamente a dos niveles de RUVB (alta: 100 µW/cm<sup>2</sup> y baja: 5 µW/cm<sup>2</sup>), con posiciones alternadas a lo largo del gradiente, de modo que los renacuajos pudieran seleccionar: 1) alta RUVB / alta temperatura; 2) baja RUVB / baja temperatura; 3) alta RUVB / baja temperatura; 4) baja RUVB / alta temperatura (Fig. 1). En el segundo experimento se construyeron dos gradientes térmicos: uno expuesto de manera constante al nivel bajo de RUVB y el otro al nivel alto de RUVB (Fig. 1), para evaluar si las preferencias térmicas de los renacuajos son influenciadas por

diferentes niveles de RUVB. Finalmente, en el tercer experimento, se permitió a los renacuajos seleccionar entre los dos niveles de RUVB (bajo y alto) mientras se mantenían a: 1) una temperatura constante baja ( $25^{\circ}\text{C}$ ), y 2) una temperatura constante alta ( $35^{\circ}\text{C}$ ) (Fig. 1), para determinar si la temperatura puede afectar la selección de un nivel bajo o alto de RUVB.

La exposición a las temperaturas y los dos niveles de RUVB se llevó a cabo en seis canaletas rectangulares de aluminio ( $120\text{ cm}$  de largo  $\times$   $7\text{ cm}$  de ancho  $\times$   $5\text{ cm}$  de profundidad) ubicadas en el Laboratorio de Herpetología de la Universidad del Tolima. Estas canaletas se llenaron con agua previamente declorada, mediante aireación continua por al menos 72 horas, a una profundidad de  $3\text{ cm}$ . Se utilizó hielo seco y un calentador ( $20\text{ W}$ ) en los extremos opuestos de la canaleta de aluminio para crear el gradiente térmico acuático de  $35$  a  $25^{\circ}\text{C}$ . Siete termómetros digitales (T918/TM803,  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) fueron dispuestos lateralmente en el agua de las canaletas

a intervalos de  $20\text{ cm}$  para registrar la temperatura a lo largo del gradiente. Los gradientes térmicos se mantuvieron dentro del rango esperado ( $25$ – $35^{\circ}\text{C}$ ), con una variación máxima de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  entre réplicas. Adicionalmente, sobre las canaletas experimentales, a una altura de  $50\text{ cm}$ , se instalaron lámparas de RUVB (Light Sources Ref. FS40T12/UV-B) y filtros de polipropileno, para obtener los dos niveles de RUVB: bajo ( $5\text{ }\mu\text{W/cm}^2$ ) y alto ( $100\text{ }\mu\text{W/cm}^2$ ). La exposición a la RUVB, inmediatamente encima de la superficie del agua en las canaletas de aluminio, fue monitoreada utilizando un radiómetro (Solarmeter® Model 6.2). Para cada ensayo, las mediciones se realizaron al inicio y al final del periodo de exposición, ya que ensayos previos demostraron que la variación del nivel de radiación durante la primera hora de exposición es equivalente a la registrada con mediciones más frecuentes (cada  $10\text{ min}$ ). Este procedimiento reduce la manipulación durante el ensayo y evita influir en el comportamiento de los renacuajos.



**Figura 1.** Diseño experimental para evaluar el efecto de la RUVB sobre la preferencia térmica de los renacuajos. Las letras A y B representan dos condiciones diferentes para cada experimento. Los colores representan los niveles de RUVB (verde: baja, rojo: alta).

### Recolección de datos

Quince renacuajos por especie fueron evaluados en cada una de las tres réplicas para los experimentos [A y B] (Fig. 1). Así, se utilizaron 270 renacuajos por especie (15 renacuajos  $\times$  3 réplicas  $\times$  3 experimentos  $\times$  2 condiciones [A y B]). Para evaluar las preferencias de los renacuajos en los gradientes térmicos y niveles de RUVB, los 15 renacuajos fueron divididos en tres grupos de cinco, posicionados en el centro y en cada extremo de la canaleta de aluminio. Los montajes experimentales se llevaron a cabo de 8:30 a 9:30 a. m., durante tres días consecutivos, un día para cada uno de los tres experimentos. El orden en que se realizó cada réplica dentro de los experimentos fue aleatoriamente rotado, así como la orientación de la canaleta de aluminio en el laboratorio. Las observaciones para registrar la temperatura y el nivel de RUVB seleccionado por cada renacuajo en los experimentos se realizaron a las 9:30 a. m. (después de 1 hora de exposición), a través del método de escaneo (19), el cual consistió en registrar el comportamiento o la posición de cada renacuajo a un intervalo de tiempo seleccionado. Este registro fue obtenido con una cámara de video de alta definición (Panasonic, modelo HC-V750) a 60 fps. Para considerar las posibles variaciones en la actividad de los renacuajos, realizamos todos los escaneos en intervalos de tiempo fijos y bajo condiciones experimentales idénticas. De esta manera, nos aseguramos de que las diferencias en la posición de los renacuajos reflejaran los efectos del tratamiento y no fluctuaciones temporales en su actividad.

### Análisis estadístico

Las preferencias de los renacuajos por la temperatura y los niveles de RUVB se compararon de forma independiente para cada uno de los tres experimentos. En el experimento 1, se realizó una prueba binomial con intervalos de confianza para evaluar la preferencia de los renacuajos por la RUVB (baja o alta) y/o la temperatura (baja o alta). En el experimento 2, se llevó a cabo una prueba U de Mann-Whitney para comparar las preferencias térmicas de los renacuajos cuando estaban expuestos a RUVB alta o baja de forma constante. Finalmente, en el experimento 3, se realizó otra prueba binomial con intervalos de confianza para evaluar las preferencias por los dos niveles de RUVB, cuando los renacuajos se mantuvieron a una temperatura alta constante, y a una temperatura baja constante. La prueba binomial se aplicó en los experimentos con elecciones dicotómicas (alta vs. baja RUVB, o alta vs. baja temperatura), mientras que la prueba U de Mann-Whitney

se empleó para comparar distribuciones continuas de temperatura que no cumplían supuestos de normalidad.

### Aspectos éticos

Este estudio fue realizado cumpliendo con los principios éticos para la investigación en animales, siguiendo las directrices establecidas por la legislación colombiana y los lineamientos internacionales para el uso ético de vertebrados en investigación científica. Todos los procedimientos experimentales fueron revisados y aprobados por el Comité de Bioética de la Universidad del Tolima. Además, la recolección de embriones de *E. pustulosus* se efectuó bajo el permiso otorgado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), en el marco de la resolución 2191 del 27 de noviembre de 2018.

### Resultados

Dado que en el centro del gradiente se formaba una franja estrecha (10 cm) con irradiancia intermedia, producto de la transición en el paso de alta a baja radiación a través de los filtros. Los individuos que permanecieron en esta zona fueron excluidos de los análisis para evitar sesgos en la comparación entre las zonas laterales de baja y alta RUVB (55 cm cada una). Por esta razón, los porcentajes de selección de baja y alta RUVB no suman el 100 %.

La Tabla 1 muestra los porcentajes de selección de los renacuajos para todas las combinaciones de temperatura y niveles de RUVB evaluadas en los tres experimentos, junto con los intervalos de confianza del 95%. Despues de una hora de exposición en los gradientes, se evidenciaron diferencias significativas en la preferencia de los renacuajos de *E. pustulosus* frente a los niveles de RUVB y las temperaturas experimentales.

En el experimento 1A (Fig. 2A), la mayoría de los renacuajos (88,89%) se ubicaron en zonas de baja RUVB y baja temperatura (promedio=26,82°C), mientras que solo el 8,89% se posicionó en áreas de alta RUVB y alta temperatura (promedio=32,65°C) (Tabla 1), siendo un resultado estadísticamente significativo (prueba binomial,  $p<0,05$ ). En el experimento 1B (Fig. 2B), el 86,67% de los individuos prefirió la zona de baja RUVB y alta temperatura (promedio=31,67°C), frente al 6,67% que eligió alta RUVB y baja temperatura (promedio=25,43°C) (Tabla 1), un resultado que también fue estadísticamente significativo (prueba binomial,  $p<0,05$ ).

En el experimento 2AB (Fig. 3) no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. Todos los individuos (100%) se distribuyeron a lo largo del gradiente térmico, tanto en la condición de RUVB baja (promedio=29,98°C) como alta (promedio=30,38°C) (Tabla 1), sin que el nivel de RUVB afectara su ubicación (prueba U de Mann-Whitney,  $p>0,05$ ).

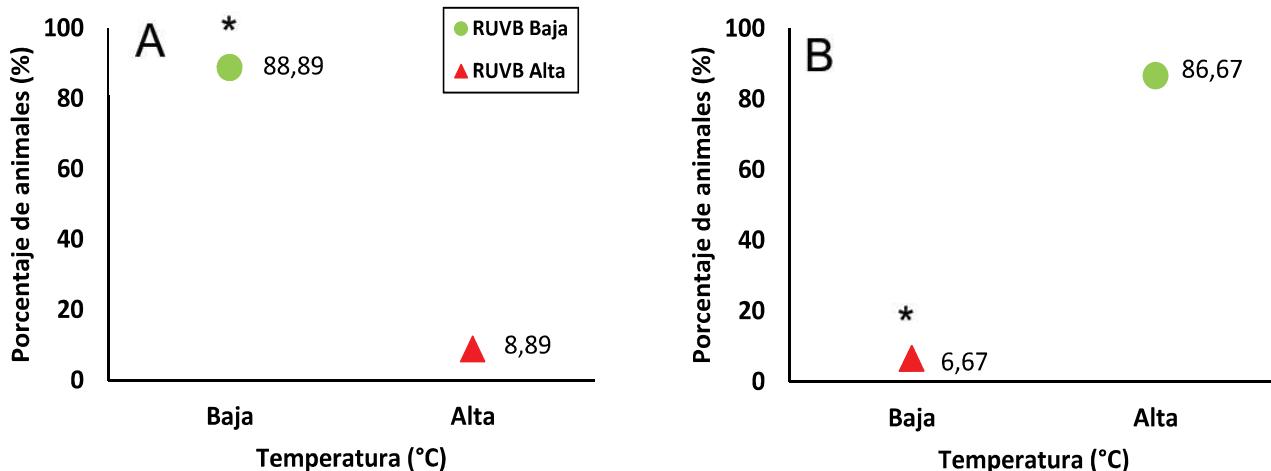
En el experimento 3A (Fig. 4A), cuando se mantuvo una temperatura constante baja (25°C), el 86,67%

de los renacuajos eligió la zona con RUVB baja (promedio=25,52°C), mientras que el 11,11% permaneció en la zona de RUVB alta (promedio=25,80°C) (Tabla 1) (prueba binomial,  $p<0,05$ ). En contraste, en el experimento 3B (Fig. 4B), con temperatura constante alta (35°C), el 68,89% de los individuos prefirieron la condición de baja RUVB (promedio=34,84°C), frente al 24,44% que seleccionaron la alta RUVB (promedio=34,74°C) (Tabla 1) (prueba binomial,  $p<0,05$ ).

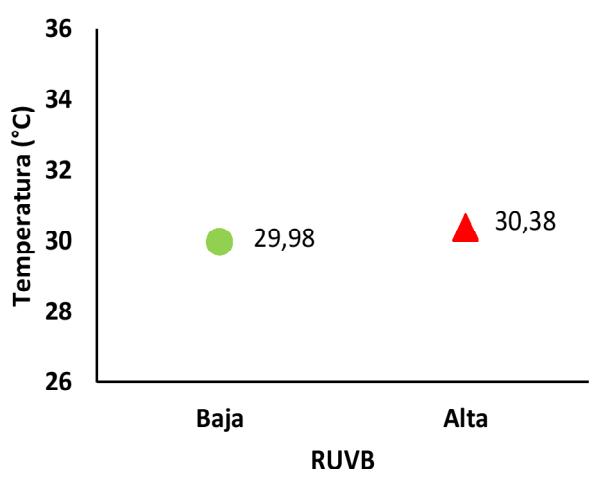
**Tabla 1.** Porcentaje de renacuajos de *E. pustulosus*, y sus temperaturas seleccionadas (promedio y rangos), bajo las distintas condiciones experimentales.

Experimento	Condición experimental		% de renacuajos	Temperatura seleccionada (°C)	IC (95%)
	RUVB	Temperatura			
1A	Alta	Alta	8,89	32,65 (31,30-34,00)	0,0248-0,2122
	Baja	Baja	88,89	26,82 (25,30-30,10)	0,7596-0,9629
1B	Alta	Baja	6,67	25,43 (25,20-25,70)	0,0140-0,1827
	Baja	Alta	86,67	31,67 (28,20-34,90)	0,7321-0,9495
2AB	Alta	Gradiente	100	30,38 (24,50-35,80)	0,9213-1,0000
	Baja	Gradiente	100	29,98 (25,30-35,50)	0,9213-1,0000
3A	Alta	Baja	11,11	25,80 (25,40-26,10)	0,0371-0,2405
	Baja	Baja	86,67	25,52 (25,10-26,00)	0,7321-0,9495
3B	Alta	Alta	24,44	34,74 (34,30-35,10)	0,1288-0,3954
	Baja	Alta	68,89	34,84 (34,30-36,00)	0,5335-0,8183

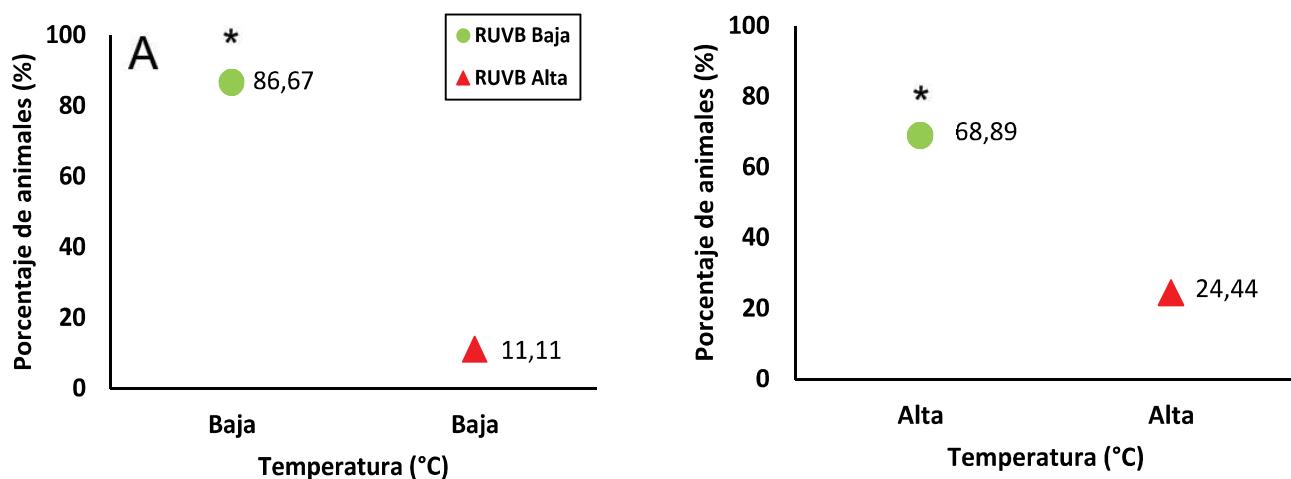
IC: Intervalos de confianza.



**Figura 2.** Porcentaje de renacuajos de *E. pustulosus* que seleccionaron diferentes condiciones experimentales de RUVB y temperatura en el experimento 1A (A) y 1B (B). Los asteriscos denotan diferencia significativa.



**Figura 3.** Temperatura promedio seleccionada por renacuajos de *E. pustulosus* expuestos a niveles constantes de RUVB en el experimento 2A y 2B. Los asteriscos denotan diferencia significativa.



## Discusión.

Los resultados de este estudio evidencian que los renacuajos de *E. pustulosus* son capaces de modificar su comportamiento espacial en respuesta a niveles variables de RUVB, incluso cuando dicha selección conlleva ubicarse en condiciones térmicas menos favorables. En el primer experimento (Fig. 2A), el 88,89 % de los individuos evitaron significativamente las zonas de alta RUVB, aun cuando estas ofrecían temperaturas promedio altas (32,65°C), y en su lugar seleccionaron la zona con baja RUVB, asociada a una temperatura promedio más baja (26,82°C). Este comportamiento sugiere que la RUVB influye significativamente en la distribución espacial de los individuos durante el desarrollo larval, probablemente debido a su limitada capacidad de fotoprotección asociada a la coloración clara. Las pruebas experimentales también revelaron que las preferencias térmicas pueden verse moduladas por la presencia de RUVB, especialmente cuando los renacuajos tuvieron la posibilidad de elegir entre zonas con distintos niveles de radiación, lo que indica que para esta especie la RUVB puede representar un factor de mayor

prioridad que la temperatura, como ha sido reportado en otros estudios (1,4,20).

El diseño experimental se invirtió en el experimento 1B (Fig. 2B); en este escenario, la mayoría de los individuos (86,67 %) se ubicaron en la zona con baja RUVB, que además presentaba temperaturas más altas (31,67°C). En contraste, solo el 6,67 % de los renacuajos eligieron la zona con alta RUVB, asociada a temperaturas más bajas (25,43°C). Estos resultados indican una clara evitación de la RUVB alta, lo que sugiere una interacción dependiente del contexto entre ambas variables (7,8,21) (Fig. 2). Este hallazgo concuerda con estudios que han demostrado que la RUVB puede modificar las preferencias por la temperatura (9,10,11).

La ausencia de diferencias significativas en el experimento 2AB (Fig. 3) indica que la selección térmica no fue alterada cuando los dos niveles de RUVB se mantuvieron constantes (Fig. 3). Esta respuesta podría indicar la necesidad de mantener una temperatura corporal preferida independiente del nivel de RUVB que no pueden evitar. Estudios previos respaldan la idea que algunas especies utilizan microhábitats térmicamente favorables incluso bajo exposición a RUVB (8), aunque otras han mostrado respuestas opuestas cuando la exposición es prolongada o más intensa (4,20).

Sin embargo, los experimentos 3A (Fig. 4A) y 3B (Fig. 4B) confirman que cuando se obliga a los renacuajos a elegir entre distintos niveles de RUVB, ahora bajo una temperatura constante, estos evitan significativamente la exposición a RUVB, tanto a baja como a alta temperatura. En el experimento 3A, realizado a baja temperatura (25°C), el 86,67 % de los individuos eligió la zona con baja RUVB, mientras solo el 11,11 % se ubicó bajo alta RUVB. De manera similar, en el experimento 3B, realizado a alta temperatura (35°C), el 68,89 % evitó la alta RUVB, que fue seleccionada únicamente por el 24,44 %. Este resultado sugiere que la RUVB actúa como un estresor, incluso en condiciones térmicas que favorecerían el desempeño fisiológico, y que los renacuajos de esta especie parece que ajustan su comportamiento en respuesta a los niveles de radiación del ambiente (4,5,8).

Los resultados obtenidos en los experimentos 1A, 1B, 3A y 3B muestran que los renacuajos de *E. pustulosus* tienden a evitar zonas con alta RUVB, incluso cuando estas ofrecen condiciones térmicas altas que pueden ser favorables para ellos. Esta conducta de evasión a

la RUVB aporta evidencia experimental sobre la capacidad de esta especie para responder a este factor ambiental mediante cambios en su comportamiento espacial. Esto refuerza la importancia de considerar este tipo de radiación en estudios sobre ecología térmica, uso del microhábitat y vulnerabilidad al cambio climático (3,4,6,14). Además, apoyan la hipótesis de que la evasión conductual puede funcionar como una primera línea de defensa ante el daño potencial por radiación solar (5,8,22), y que dicha evasión puede implicar compromisos fisiológicos cuando las zonas más protegidas térmicamente coinciden con mayor exposición RUVB (8, 20, 21).

Dado que los efectos negativos de la RUVB pueden amplificarse por otros estresores ambientales, como enfermedades, contaminantes o reducción de cobertura vegetal (5,6,14), la identificación de patrones conductuales como los aquí documentados resulta fundamental para entender los mecanismos de resiliencia de especies neotropicales ante el cambio climático y la degradación del hábitat (3,14). Estudios futuros deberían evaluar la plasticidad de esta respuesta en otras poblaciones o especies con distintos contextos ecológicos, así como sus consecuencias sobre la supervivencia, desarrollo y éxito reproductivo a largo plazo (3,4,7).

También, los resultados de este estudio muestran que la selección térmica de los renacuajos puede verse afectada por la presencia de RUVB, probablemente como una respuesta para reducir el daño potencial causado por la radiación solar. Este hallazgo es especialmente relevante en un escenario de cambio climático y pérdida de cobertura vegetal, donde las condiciones extremas de temperatura y radiación se vuelven más frecuentes. En consecuencia, se resalta la importancia de considerar a la RUVB como un componente ambiental clave en la ecología térmica y en las estrategias de conservación de los anfibios, así como en la evaluación del comportamiento de los renacuajos frente a múltiples estresores ambientales.

En conclusión, los resultados de este estudio evidencian que la RUVB afecta el comportamiento térmico de los renacuajos de *E. pustulosus*, ya que, por evitar zonas con alta exposición a la RUVB, se alejan de temperaturas potencialmente favorables para su rápido desarrollo y crecimiento, como las temperaturas altas. Este patrón sugiere la existencia de compromisos ecológicos entre la necesidad de termorregular y la de minimizar el daño inducido por la radiación solar durante el desarrollo lar-

val. En el contexto actual de cambio climático y pérdida de cobertura vegetal, comprender cómo los organismos responden conductualmente a múltiples estresores ambientales es fundamental para anticipar sus respuestas y posibilidades de supervivencia. Por lo anterior, estos hallazgos resaltan la importancia de incorporar la RUVB como una variable clave en estudios de ecología térmica y en el diseño de las estrategias de conservación para anfibios tropicales.

### Agradecimientos

Agradecemos a Rafael Ramírez, por su ayuda incondicional en la adecuación del experimento, a María Triana por su incansable apoyo y a los propietarios de los pre-

dios Cauchitos, San Mateo y el Potrero (Ibagué, Tolima), por permitirnos recolectar las posturas de huevos de la especie de estudio.

### Conflictos de intereses y financiación

Los autores de esta investigación manifiestan no tener ningún conflicto de interés.

Este trabajo contó con la financiación de Minciencias, a través de la Convocatoria No 933 – Formación en doctorados nacionales con enfoque territorial, étnico y de género en el marco de la Política Orientada por Misiones, para la investigadora principal de este proyecto, Katalina Gutiérrez Hernández.

### Referencias

1. McKenzie, R. L., Björn, L. O., Bais, A. F., & Ilyas, M. (2003). Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2, 5–15. <https://doi.org/10.1039/B211155C>
2. Häder, D.-P., Kumar, H. D., Smith, R. C., & Worrest, R. C. (2007). Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 6, 267–285. <https://doi.org/10.1039/B700020K>
3. Blaustein, A. R., Belden, L. K., Hatch, A. C., Kats, L. B., Hoffman, P. D., Hays, J. B., et al. (2001). Ultraviolet radiation and amphibians. En C. S. Cockell & A. R. Blaustein (Eds.), *Ecosystems, evolution, and ultraviolet radiation* (pp. 63–79). Springer.
4. Alton, L. A., & Franklin, C. E. (2017). Drivers of amphibian declines: Effects of ultraviolet radiation and interactions with other environmental factors. *Clim Chang Responses* 4, 6 (2017), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s40665-017-0034-7>
5. Londero, J. E. L., Santos, M. S., & Schuch, A. P. (2019). Impact of solar UV radiation on amphibians: Focus on genotoxic stress. *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen*, 842, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2019.03.003>
6. Schavinski, C. Z., dos Santos, M. S., Londero, J. E. L., da Rocha, M. C., do Amaral, A. M., Ruiz, N. R., et al. (2022). Effects of isolated and combined exposures of *Boana curupi* (Anura: Hylidae) tadpoles to environmental doses of trichlorfon and ultraviolet radiation. *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen*, 883–884, Article 503549. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2022.503549>
7. Belden, L. K., & Blaustein, A. R. (2002). Exposure of red-legged frog embryos to ambient UV-B radiation in the field negatively affects larval growth and development. *Oecologia*, 130, 551–554. <https://doi.org/10.1007/s00442-001-0843-y>
8. Häkkinen, J., Pasanen, S., & Kukkonen, J. V. K. (2001). The effects of solar UV-B radiation on embryonic mortality and development in three boreal anurans (*Rana temporaria*, *Rana arvalis* and *Bufo bufo*). *Chemosphere*, 44, 441–446. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00295-2](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00295-2)
9. Ghanizadeh, E., Franklin, C. E., & Seebacher, F. (2016). UV-B radiation interacts with temperature to determine animal performance. *Funct. Ecol.*, 30, 584–595. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12520>
10. Sanders, R. W., Macaluso, A. L., Sardina, T. J., & Mitchell, D. L. (2005). Photoreactivation in two freshwater ciliates: Differential responses to variations in UV-B flux and temperature. *Aquat. Microb. Ecol.*, 40, 283–292.
11. Searle, C. L., Belden, L. K., Bancroft, B. A., Han, B. A., Biga, L. M., Blaustein, A. R., et al. (2010). Experimental examination of the effects of ultraviolet-B radiation in combination with other stressors on frog larvae. *Oecologia*, 162, 237–245. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1440-8>

12. Smith, K. C. (2000). Induction of photolyase activity in wood frog (*Rana sylvatica*) embryos. *Photochem. Photobiol.*, 72, 575–578.
13. Bancroft, B. A., Baker, N. J., Searle, C. L., Garcia, T. S., & Blaustein, A. R. (2008). Larval amphibians seek warm temperatures and do not avoid harmful UV-B radiation. *Behav. Ecol.*, 19(4), 879–886. <https://doi.org/10.1093/beheco/arn044>
14. Bancroft, B. A., Baker, N. J., & Blaustein, A. R. (2008). A meta-analysis of the effects of ultraviolet B radiation and its synergistic interactions with pH, contaminants, and disease on amphibian survival. *Conserv. Biol.*, 22(4), 987–996. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00966.x>
15. Lee, C., Le, M., Cannatella, D., & Wallingford, J. B. (2009). Changes in localization and expression levels of Shroom2 and spectrin contribute to variation in amphibian egg pigmentation patterns. *Dev Genes Evol*, 219, 319–330. <https://doi.org/10.1007/s00427-009-0292-x>
16. Cope, E. D. (1864). Contributions to the herpetology of tropical America. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila*, 16, 166–181.
17. International Union for Conservation of Nature. (2025). *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org> (Consultado el 23 de junio de 2025)
18. Gosner, K. L. (1960). A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica*, 16(3), 183–190.
19. Lehner, P. N. (1996). *Handbook of ethological methods* (2nd ed.). Cambridge University Press.
20. Blaustein, A. R., Romansic, J. M., & Scheessele, E. A. (2005). Ambient levels of ultraviolet-B radiation cause mortality in juvenile western toads (*Bufo boreas*). *Am. Midl. Nat.*, 154(2), 375–382. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2005\)154\[0375:ALOURC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2005)154[0375:ALOURC]2.0.CO;2)
21. Hird, C. M., Franklin, C. E., & Cramp, R. L. (2022). Temperature causes species-specific responses to UV-induced DNA damage in amphibian larvae. *Biol. Lett.*, 18(10), Article e20220359. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2022.0359>
22. van Uitregt, V. O., Wilson, R. S., & Franklin, C. E. (2007). Cooler temperatures increase sensitivity to ultraviolet B radiation in embryos and larvae of the frog *Limnodynastes peronii*. *Glob. Chang. Biol.*, 13(6), 1114–1121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01353>.