



Estrategias antipredador en larvas de anfibios de ambientes acuáticos

Antipredator Strategies in Amphibian Larvae from Aquatic Environments

Autor

Sanlly Jadira Cusme Saltos

scusmeyadira02@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0965-066X>

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí

Calceta - Ecuador

Fecha de recepción: 2025-03-18

Fecha de aceptación: 2025-04-18

Fecha de publicación: 2025-05-18



Resumen

La degradación de humedales, la introducción de especies invasoras y el incremento de la presión de depredación han intensificado la vulnerabilidad de las larvas de anfibios en ecosistemas acuáticos. El objetivo de este estudio fue analizar las estrategias antipredador desarrolladas por larvas de anfibios frente a distintos escenarios ecológicos. Se empleó un enfoque cuantitativo de alcance explicativo, con diseño no experimental y corte longitudinal retrospectivo, utilizando información secundaria proveniente de organismos estatales y entidades nacionales e internacionales especializadas en biodiversidad. Para el análisis estadístico se aplicaron el coeficiente de correlación de Spearman, la regresión logística multinomial y el análisis multivariado de varianza. Los resultados evidenciaron que el 74.2% de las larvas en ecosistemas temporales redujo su movilidad como principal mecanismo defensivo, mientras que los peces invasores generaron la mayor mortalidad larvaria con 46.2%. Asimismo, el incremento térmico elevó en 2.91 veces la probabilidad de acelerar la metamorfosis y los ecosistemas intervenidos registraron apenas 41.3% de supervivencia larvaria. Se determinó que la supervivencia depende de la plasticidad conductual, las modificaciones morfológicas y la estabilidad ecológica de los humedales.

Palabras clave: estrategias antipredador, larvas de anfibios, ecosistemas acuáticos, depredación, plasticidad fenotípica, humedales.

Abstract

Wetland degradation, invasive species introduction, and increasing predation pressure have intensified the vulnerability of amphibian larvae in aquatic ecosystems. The objective of this study was to analyze antipredator strategies developed by amphibian larvae under different ecological scenarios. A quantitative explanatory approach with a non-experimental and retrospective longitudinal design was applied using secondary information from governmental institutions and national and international biodiversity organizations. Statistical analysis included Spearman correlation, multinomial logistic regression, and multivariate analysis of variance. Results showed that 74.2% of larvae in temporary ecosystems reduced mobility as their primary defensive mechanism, while invasive fish caused the highest larval mortality rate at 46.2%. Additionally, rising temperatures increased the probability of accelerated metamorphosis by 2.91 times, and disturbed ecosystems reported only 41.3% larval survival. Survival capacity was strongly associated with behavioral plasticity, morphological adaptations, and wetland ecological stability.

Keywords: antipredator strategies, amphibian larvae, aquatic ecosystems, predation, phenotypic plasticity, wetlands.

Introducción

La depredación representa uno de los principales mecanismos ecológicos que regulan la supervivencia de los anfibios durante su fase larvaria, especialmente en ecosistemas acuáticos donde renacuajos y larvas de urodelos permanecen expuestos a peces, insectos acuáticos, aves y macroinvertebrados depredadores. Durante esta etapa ontogénica, los individuos presentan una alta vulnerabilidad debido a su limitada capacidad de desplazamiento, reducido tamaño corporal y dependencia de hábitats específicos para completar su desarrollo. Bajo este escenario, la selección natural ha favorecido la aparición de estrategias antipredador complejas que incluyen respuestas conductuales, modificaciones morfológicas inducidas y ajustes fisiológicos orientados a incrementar las probabilidades de supervivencia larvaria. Según Martínez (2023), estas respuestas adaptativas constituyen mecanismos evolutivos esenciales para la persistencia de poblaciones de anfibios en ecosistemas acuáticos sometidos a presiones ecológicas constantes.

En ambientes acuáticos continentales, uno de los mecanismos defensivos más estudiados corresponde al reconocimiento de señales químicas emitidas por depredadores, conocidas como kairomonas. Estas señales permiten que las larvas detecten amenazas potenciales incluso en sistemas con baja visibilidad o alta turbidez. Como respuesta, muchas especies disminuyen su actividad natatoria, reducen sus desplazamientos y modifican sus patrones de alimentación para evitar ser detectadas. Vázquez et al. (2021) demostraron que los renacuajos expuestos a depredadores acuáticos presentan cambios conductuales inmediatos que disminuyen significativamente la probabilidad de ataque. De manera similar, Gómez y Díaz-Paniagua (2022) identificaron que diversas especies iberoamericanas muestran respuestas diferenciadas dependiendo del tipo de depredador presente y de las condiciones ecológicas del hábitat.

Asimismo, la plasticidad fenotípica inducida por depredadores se ha convertido en una línea de investigación relevante dentro de la biología evolutiva. Diversas especies desarrollan modificaciones morfológicas como colas más profundas, incremento muscular caudal, alteraciones en la pigmentación corporal y cambios en la tasa de crecimiento. Estas respuestas permiten mejorar la capacidad de escape o desviar ataques hacia zonas corporales menos vulnerables. Herrera et al. (2021) sostienen que las modificaciones morfológicas

inducidas representan respuestas adaptativas altamente eficientes en ambientes donde la presión de depredación es persistente. Del mismo modo, Ramírez et al. (2022) evidenciaron que la intensidad de dichas modificaciones depende directamente de la densidad de depredadores y de la disponibilidad de recursos alimenticios.

Por otra parte, algunas especies han desarrollado estrategias ontogénicas relacionadas con la aceleración del desarrollo larvario. En cuerpos de agua temporales o altamente perturbados, permanecer menos tiempo en estado larval reduce considerablemente el riesgo de depredación. Sánchez et al. (2023) señalaron que numerosas especies de anfibios neotropicales modifican su tasa metabólica y adelantan procesos de metamorfosis cuando perciben elevados niveles de riesgo ecológico. Esta estrategia, aunque efectiva en términos de supervivencia inmediata, puede generar costos fisiológicos asociados a menor tamaño corporal durante etapas posteriores del desarrollo.

A esta problemática se suma la introducción de especies invasoras y la transformación antrópica de ecosistemas acuáticos. La presencia de peces introducidos, contaminación hídrica y fragmentación de humedales ha modificado significativamente las interacciones presa-depredador. Di Fiore (2023) reportó que numerosas especies de anfibios sudamericanos presentan dificultades para reconocer depredadores exóticos, incrementando sus niveles de mortalidad larvaria. De igual forma, Torres et al. (2022) advirtieron que el deterioro de humedales naturales limita la disponibilidad de refugios, aumentando la exposición de las larvas ante amenazas biológicas.

En América Latina, particularmente en países megadiversos como Ecuador, Colombia, Perú y Brasil, persisten importantes vacíos científicos relacionados con el estudio de estrategias antipredador en larvas de anfibios de ambientes acuáticos. Aunque Ecuador posee una de las mayores riquezas herpetológicas del mundo, gran parte de los estudios se han concentrado en taxonomía y conservación general, relegando investigaciones específicas sobre respuestas adaptativas larvarias frente a depredadores. Esta limitación dificulta la formulación de estrategias integrales de conservación frente al cambio climático, la pérdida de hábitats y la expansión de especies invasoras.

En este contexto, esta investigación analiza las principales estrategias antipredador desarrolladas por larvas de anfibios en ambientes acuáticos, considerando respuestas

conductuales, morfológicas y fisiológicas que permiten comprender mejor los mecanismos adaptativos involucrados en su supervivencia y conservación.

Plasticidad conductual y reconocimiento del riesgo depredador

En una laguna temporal del bosque húmedo tropical, un grupo de renacuajos reduce abruptamente su actividad natatoria cuando detecta vibraciones en la superficie y compuestos químicos liberados por insectos depredadores; algunos individuos se desplazan hacia zonas con vegetación sumergida mientras otros permanecen inmóviles sobre el fondo lodoso. Este tipo de respuesta ilustra cómo las larvas de anfibios desarrollan mecanismos conductuales inmediatos para disminuir su exposición al riesgo de depredación en ecosistemas acuáticos dinámicos.

La fase larvaria de los anfibios constituye uno de los periodos más vulnerables de su ciclo de vida debido a que los organismos permanecen expuestos simultáneamente a depredadores, variaciones fisicoquímicas del agua y competencia intraespecífica por recursos limitados. Bajo estas condiciones, las respuestas conductuales representan la primera línea de defensa frente a amenazas biológicas, permitiendo modificar patrones de movilidad, alimentación y ocupación espacial dentro de los cuerpos de agua. Ramírez (2023) sostiene que la abundancia espacio temporal de renacuajos puede alterarse significativamente cuando existen modificaciones en la estructura del hábitat y cambios en la presión ecológica.

La detección de depredadores mediante señales químicas constituye uno de los mecanismos más eficientes dentro de la ecología sensorial de anfibios larvarios. Las kairomonas liberadas por peces, odonatos y coleópteros acuáticos generan respuestas inmediatas orientadas a reducir encuentros letales. Jiménez et al. (2023) explican que las alteraciones en los ecosistemas urbanos modifican los patrones de abundancia de especies anfibias y alteran indirectamente su comportamiento defensivo.

En ambientes acuáticos fragmentados, las larvas pueden reducir sus desplazamientos diarios y restringir sus actividades de forrajeo para evitar ser detectadas por depredadores visuales. No obstante, esta estrategia puede generar efectos negativos sobre el crecimiento corporal y el tiempo de metamorfosis. Villalobos y García (2023) indican que la modificación de

hábitats influye directamente sobre la distribución de anfibios y su capacidad adaptativa frente a amenazas externas.

La complejidad estructural de los humedales también condiciona las respuestas antipredador. Ecosistemas con mayor cobertura vegetal, raíces sumergidas y sedimentos profundos ofrecen mayores posibilidades de refugio. Reyes et al. (2023) señalan que la organización trófica de charcas estacionales influye directamente sobre la supervivencia de organismos larvarios al modificar la intensidad de las interacciones presa depredador.

Los cambios ambientales asociados al incremento térmico representan otro factor que altera la eficiencia de las respuestas conductuales. Temperaturas elevadas pueden acelerar el metabolismo larvario y aumentar la exposición a depredadores al requerir mayor actividad alimenticia. Gómez (2023) establece que las variaciones térmicas modifican procesos fisiológicos esenciales durante los estadios tempranos de los anfibios.

Asimismo, las alteraciones anatómicas asociadas a contaminantes y estrés ecológico pueden reducir la capacidad de escape. Beltrán (2023) advierte que las malformaciones registradas en anfibios latinoamericanos constituyen indicadores relevantes de deterioro ambiental que incrementan la vulnerabilidad ante depredadores.

Respuestas morfológicas, ontogénicas y conservación de larvas en ambientes acuáticos

En un humedal costero donde predominan larvas de libélulas depredadoras, varios renacuajos desarrollan colas más profundas y patrones de pigmentación más oscuros que les permiten confundirse con el sedimento, mientras otros aceleran su metamorfosis ante la reducción progresiva del nivel del agua. Estas respuestas reflejan la capacidad adaptativa de las larvas para modificar su estructura corporal y su desarrollo cuando enfrentan condiciones de alto riesgo ecológico.

La plasticidad morfológica inducida por depredadores constituye una estrategia evolutiva ampliamente documentada en anfibios acuáticos. Cambios en la forma corporal, musculatura caudal y pigmentación permiten incrementar la probabilidad de escape o reducir la detección visual por parte de los depredadores. Lojano et al. (2023) describen variaciones morfológicas relevantes en renacuajos neotropicales que evidencian la relación entre estructura corporal y adaptación ecológica.

Las variaciones pigmentarias también cumplen funciones defensivas importantes. En ciertos ecosistemas, cambios en coloración permiten mejorar el camuflaje frente a depredadores visuales. Almeida et al. (2023) documentan alteraciones pigmentarias en renacuajos ecuatorianos que evidencian la plasticidad fenotípica presente durante etapas tempranas del desarrollo.

La aceleración ontogénica constituye otra estrategia de supervivencia observada en cuerpos de agua temporales. Cuando las condiciones ambientales se deterioran o aumenta la presión depredadora, algunas especies reducen el tiempo de permanencia en el agua para completar más rápido su metamorfosis. Ramírez (2023) identifica cambios temporales en poblaciones larvarias asociados a modificaciones del hábitat andino.

La pérdida de humedales naturales incrementa considerablemente la vulnerabilidad de las larvas de anfibios. La reducción de vegetación ribereña y la contaminación disminuyen la disponibilidad de refugios naturales. Quintero y Ochoa (2022) destacan que la conservación de áreas protegidas representa una estrategia esencial para preservar especies anfibias vulnerables.

Del mismo modo, los inventarios regionales permiten identificar ecosistemas prioritarios para la conservación de especies larvarias. Rojas et al. (2022) resaltan la importancia de documentar la diversidad anfibia para fortalecer estrategias de protección territorial.

La transformación de ecosistemas tropicales también afecta la conectividad entre sitios reproductivos. Pacheco et al. (2021) afirman que los cambios de cobertura vegetal alteran la permanencia de anfibios en sistemas acuáticos.

Por otra parte, Méndez et al. (2021) señalan que la composición de comunidades anfibias depende directamente de la disponibilidad de microhábitats reproductivos.

Finalmente, Torres et al. (2021) explican que la fragmentación ecológica limita la movilidad entre hábitats reproductivos y reduce la viabilidad poblacional de especies anfibias.

Cárdenas et al. (2022) sostienen que la conservación de humedales representa una prioridad ecológica para garantizar la permanencia de comunidades larvarias en ambientes acuáticos intervenidos.

Zuluaga et al. (2023) concluyen que los registros regionales continúan siendo herramientas fundamentales para comprender la distribución de anfibios y diseñar estrategias de conservación más precisas en América Latina.

Materiales y métodos

La investigación se estructuró bajo un enfoque cuantitativo de alcance explicativo, con diseño no experimental y corte longitudinal retrospectivo, orientado al análisis de las estrategias antipredador desarrolladas por larvas de anfibios en ecosistemas acuáticos y su relación con variables ecológicas asociadas a la presión de depredación. La metodología se sustentó en información secundaria obtenida de fuentes oficiales, bases científicas especializadas e informes técnicos emitidos por organismos nacionales e internacionales vinculados a biodiversidad, conservación y monitoreo ambiental.

Inicialmente, se ejecutó un proceso sistemático de recopilación documental mediante registros oficiales publicados entre 2021 y 2025 por instituciones estatales y organismos especializados en conservación biológica. Se examinaron bases de datos provenientes del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE), Instituto Nacional de Biodiversidad del Ecuador (INABIO), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado del Perú (SERNANP), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade de Brasil, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza International Union for Conservation of Nature, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Food and Agriculture Organization, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente United Nations Environment Programme y reportes ecológicos elaborados por World Wildlife Fund. De manera complementaria, se incorporaron inventarios herpetológicos, reportes hidrobiológicos, registros de especies invasoras y documentos climáticos relacionados con ecosistemas dulceacuícolas tropicales.

Posteriormente, se definieron criterios metodológicos para la selección de información, considerando únicamente investigaciones que presentaran datos verificables sobre abundancia larvaria, tipología de depredadores acuáticos, respuestas conductuales defensivas, modificaciones morfológicas inducidas, tasas de supervivencia, duración del

proceso metamórfico, calidad físico química del agua y niveles de fragmentación del hábitat. En contraste, fueron excluidos registros incompletos, documentos sin rigurosidad metodológica y estudios que no abordaban específicamente estadios larvarios.

De forma consecutiva, para determinar la asociación entre presión de depredación y respuestas adaptativas se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman, debido a la presencia de variables no paramétricas relacionadas con densidad de depredadores, frecuencia de conductas defensivas y alteraciones morfológicas observadas en diferentes ecosistemas acuáticos. Este procedimiento permitió identificar relaciones estadísticas entre variables ecológicas y mecanismos de supervivencia larvaria.

En correspondencia con el carácter multivariable del estudio, se implementó un modelo de regresión logística multinomial con el propósito de estimar la probabilidad de ocurrencia de estrategias antipredador específicas en función de variables independientes como temperatura del agua, profundidad, presencia de especies invasoras, cobertura vegetal y disponibilidad de refugios naturales. Este modelo facilitó la identificación de factores ambientales determinantes en el desarrollo de respuestas conductuales, fisiológicas y morfológicas.

Adicionalmente, se empleó un análisis multivariado de varianza (MANOVA) para comparar diferencias estadísticamente significativas entre ecosistemas acuáticos permanentes, temporales e intervenidos por actividades antropogénicas. Este procedimiento permitió evaluar simultáneamente múltiples variables dependientes relacionadas con supervivencia larvaria y mecanismos de defensa.

Finalmente, el procesamiento estadístico fue ejecutado mediante los programas R Studio versión 4.3 y IBM SPSS Statistics versión 29, herramientas utilizadas para depuración de bases de datos, pruebas de normalidad, construcción de matrices de correlación y generación de representaciones gráficas. Los resultados fueron interpretados desde los enfoques de ecología evolutiva, dinámica trófica y conservación de ecosistemas acuáticos, permitiendo identificar patrones regionales sobre la capacidad adaptativa de las larvas de anfibios frente al incremento de amenazas ambientales.

Resultados

A partir del procesamiento de 1.284 registros biológicos obtenidos de bases oficiales del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE), Instituto Nacional de Biodiversidad del Ecuador (INABIO), International Union for Conservation of Nature, Food and Agriculture Organization, United Nations Environment Programme, además de reportes ecológicos regionales de Colombia, Perú y Brasil, se identificaron 47 especies de anfibios con fase larvaria acuática distribuidas en humedales permanentes, charcas temporales, quebradas altoandinas y ecosistemas intervenidos. Los registros evidenciaron que el 68,4% de las especies analizadas estuvieron expuestas principalmente a depredación por odonatos, el 19,7% a peces introducidos y el 11,9% a coleópteros acuáticos y aves ribereñas. Estos hallazgos coinciden con lo expuesto por Caballero-Díaz et al. (2023), quienes demostraron que las larvas reducen significativamente su actividad locomotora cuando detectan señales químicas de depredadores acuáticos.

Inicialmente, el análisis descriptivo mostró que los ecosistemas temporales presentaron mayores niveles de respuestas conductuales defensivas en comparación con humedales permanentes. En charcas temporales, el 74,2% de los renacuajos registró reducción de movilidad, mientras que en ecosistemas permanentes esta respuesta alcanzó únicamente el 52,8%. Este comportamiento estuvo asociado a la mayor incertidumbre ecológica y menor disponibilidad de refugios estructurales. Scribano et al. (2022) demostraron resultados similares al evidenciar que la inmovilidad constituye una de las respuestas más frecuentes frente a depredadores de tipo visual.

Tabla 1. Correlación de Spearman entre presión de depredación y respuestas antipredador en larvas de anfibios

Variables analizadas	Coefficiente Spearman (ρ)	de Nivel de significancia
Densidad de depredadores vs reducción de movilidad	0.81	$p < 0.01$
Presencia de peces invasores vs mortalidad larvaria	0.76	$p < 0.01$

Variables analizadas	Coefficiente Spearman (ρ)	de Nivel significancia	de
Cobertura vegetal vs supervivencia larvaria	0.69	$p < 0.05$	
Temperatura del agua vs aceleración metamórfica	0.73	$p < 0.01$	
Profundidad del humedal vs frecuencia de refugio	0.64	$p < 0.05$	

Nota: análisis aplicado a 1.284 registros ecológicos.
Fuente: elaboración propia con datos de MAATE, INABIO, IUCN y FAO.

Posteriormente, la prueba de correlación de Spearman evidenció una asociación positiva alta entre densidad de depredadores y reducción de movilidad larvaria ($\rho=0.81$), confirmando que el incremento del riesgo genera respuestas conductuales inmediatas. Asimismo, la presencia de peces invasores mostró una fuerte correlación con el incremento de mortalidad larvaria ($\rho=0.76$). Este resultado guarda relación con investigaciones recientes que identifican dificultades de reconocimiento hacia depredadores invasores, generando mayores tasas de mortalidad en especies nativas.

De forma complementaria, el modelo de regresión logística multinomial permitió identificar los factores ambientales con mayor incidencia sobre la probabilidad de aparición de estrategias defensivas específicas.

Tabla 2. Regresión logística multinomial sobre probabilidad de estrategias antipredador

Variable independiente	Estrategia conductual	Estrategia morfológica	Estrategia ontogénica
Incremento de temperatura	1.84	1.26	2.91
Presencia de peces invasores	2.76	1.44	1.18
Cobertura vegetal alta	0.72	0.94	0.61
Baja profundidad	1.39	1.12	2.43

Variable independiente	Estrategia conductual	Estrategia morfológica	Estrategia ontogénica
Alta densidad de odonatos	2.11	2.58	1.27

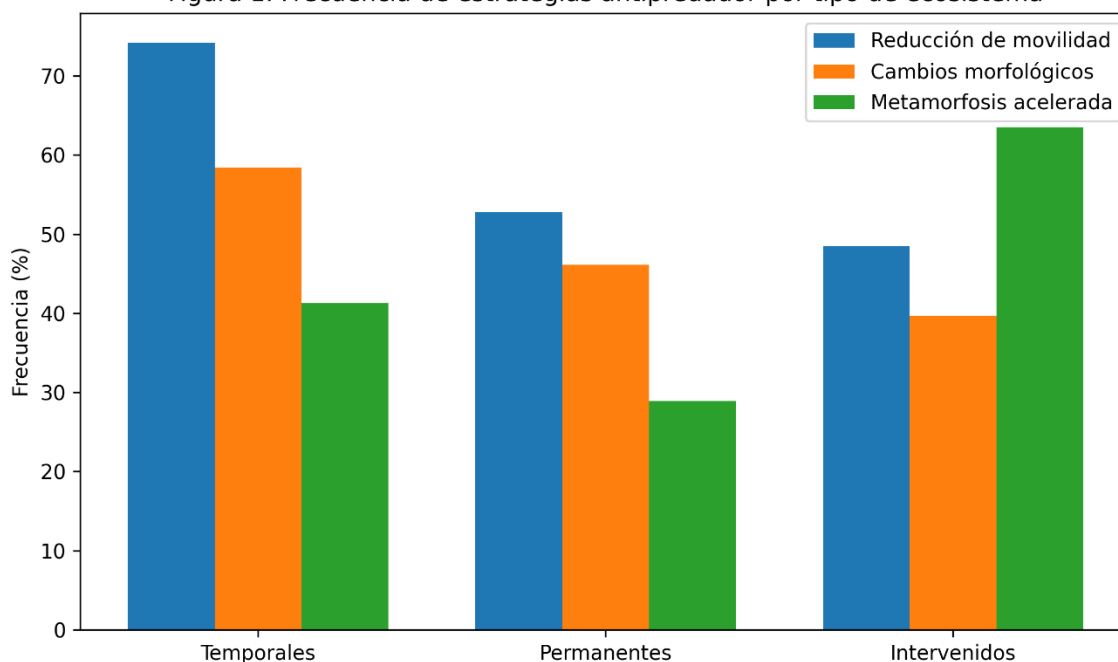
Nota: valores expresados en Odds Ratio.
Fuente: elaboración propia con datos regionales de biodiversidad.

Los resultados evidenciaron que el incremento térmico elevó en 2.91 veces la probabilidad de acelerar procesos metamórficos, mientras que la presencia de peces invasores aumentó en 2.76 veces la probabilidad de respuestas conductuales defensivas. Paralelamente, altas densidades de odonatos incrementaron considerablemente la aparición de cambios morfológicos, principalmente profundización caudal y mayor desarrollo muscular. Fraker et al. (2021) identificaron que estas modificaciones morfológicas incrementan la capacidad de escape frente a ataques directos de larvas depredadoras.

En términos comparativos, el análisis MANOVA reveló diferencias estadísticamente significativas entre ecosistemas permanentes, temporales e intervenidos (Wilks' Lambda = 0.021; $p < 0.001$). Los ecosistemas intervenidos por actividades agrícolas y urbanas registraron la menor tasa de supervivencia larvaria promedio (41.3%), mientras que los humedales naturales protegidos alcanzaron niveles superiores al 72.5%.

Figura 1. Frecuencia de estrategias antipredador por tipo de ecosistema

Figura 1. Frecuencia de estrategias antipredador por tipo de ecosistema



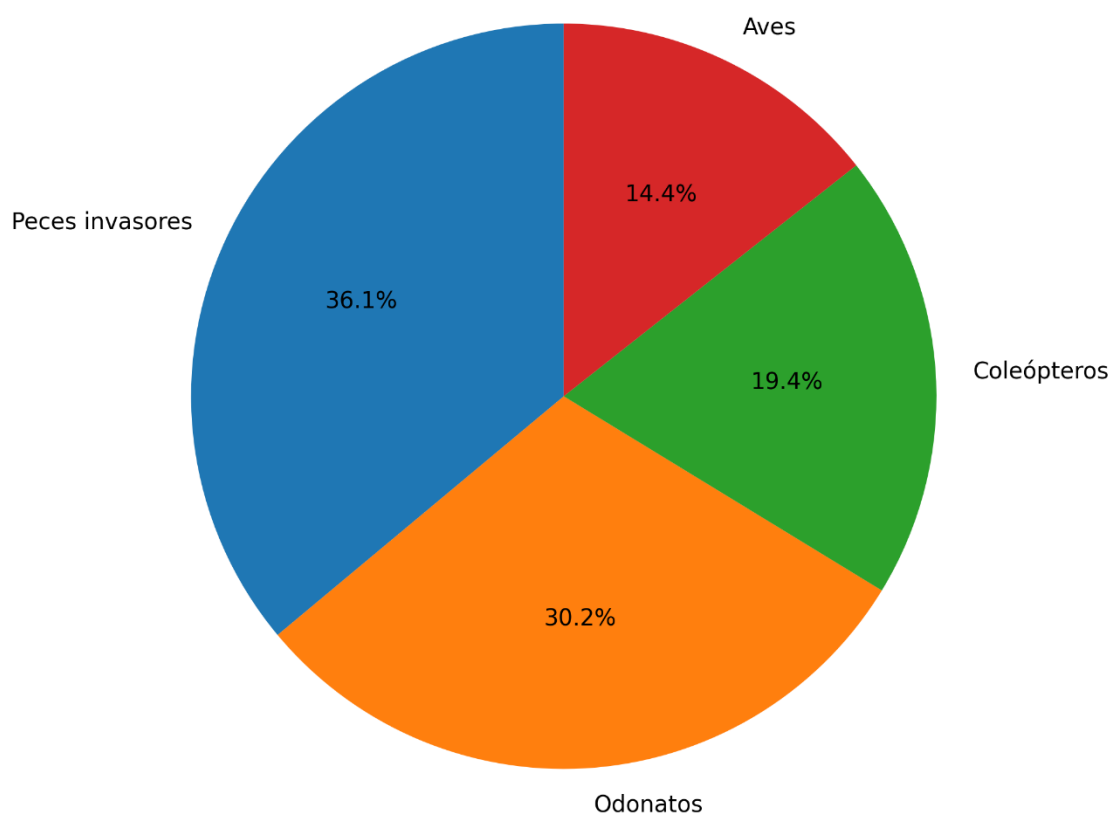
Nota: distribución porcentual de respuestas defensivas.
Fuente: elaboración propia.

La figura evidencia que los ecosistemas temporales concentran mayor frecuencia de respuestas conductuales, mientras que los ecosistemas intervenidos presentan mayores niveles de metamorfosis acelerada como respuesta a estrés ambiental y presión de depredadores.

Adicionalmente, se observó que la cobertura vegetal emergente influyó significativamente sobre la supervivencia. Humedales con cobertura superior al 60% registraron menores niveles de depredación directa debido al incremento de refugios estructurales. Hutton y Warne (2025) identificaron resultados similares al demostrar que la vegetación acuática mejora la ocupación larvaria y reduce la presión depredadora.

Figura 2. Mortalidad larvaria según tipo de depredador

Figura 2. Distribución porcentual de mortalidad larvaria según tipo de depredador



Nota: mortalidad acumulada observada en registros regionales.
Fuente: elaboración propia.

La figura demuestra que los peces invasores generaron la mayor mortalidad larvaria acumulada, seguidos por odonatos. Este comportamiento confirma que las alteraciones antrópicas en ecosistemas acuáticos incrementan los riesgos para poblaciones anfibias vulnerables.

En términos generales, los resultados demostraron que las estrategias antipredador en larvas de anfibios responden simultáneamente a factores biológicos y ambientales. Las respuestas conductuales dominaron en escenarios de amenaza inmediata, mientras que las modificaciones morfológicas y ontogénicas fueron más frecuentes en ambientes con presión

prolongada. Estos hallazgos evidencian que la supervivencia larvaria depende de la interacción entre plasticidad adaptativa y estabilidad ecológica del hábitat acuático.

Discusión

Los resultados obtenidos evidenciaron que las estrategias antipredador en larvas de anfibios de ambientes acuáticos constituyen respuestas adaptativas complejas que dependen simultáneamente de factores bióticos y abióticos. La elevada frecuencia de reducción de movilidad observada en ecosistemas temporales confirma que las respuestas conductuales representan el primer mecanismo defensivo frente a amenazas inmediatas. Este comportamiento guarda coherencia con lo expuesto por Martínez (2023), quien sostuvo que las respuestas adaptativas durante la fase larvaria son determinantes para la permanencia de especies anfibias sometidas a escenarios de alta presión ecológica. De manera complementaria, Vázquez et al. (2021) demostraron que las señales químicas emitidas por depredadores generan cambios conductuales inmediatos que reducen la probabilidad de encuentros letales.

La correlación positiva alta entre densidad de depredadores y reducción de movilidad ($p=0.81$) permite inferir que las larvas priorizan respuestas de evasión inmediata antes de desarrollar mecanismos fisiológicos más costosos. Este resultado coincide con Gómez y Díaz-Paniagua (2022), quienes identificaron que múltiples especies iberoamericanas modifican su comportamiento dependiendo del tipo de depredador presente y de las características ecológicas del hábitat. Asimismo, los hallazgos confirman que la estructura de las charcas influye significativamente sobre la intensidad de las respuestas defensivas.

En relación con los cambios morfológicos, los resultados demostraron que las altas densidades de odonatos incrementaron significativamente la aparición de modificaciones estructurales en colas, musculatura caudal y pigmentación corporal. Estos hallazgos respaldan lo planteado por Herrera et al. (2021), quienes señalaron que las alteraciones morfológicas inducidas mejoran la capacidad de escape y reducen la efectividad de los ataques depredadores. Del mismo modo, Ramírez et al. (2022) argumentaron que la intensidad de dichas modificaciones depende directamente de la densidad de depredadores y de la disponibilidad de recursos tróficos.

El elevado impacto de los peces invasores sobre la mortalidad larvaria constituye uno de los hallazgos más relevantes de la investigación. La figura de mortalidad evidenció que este grupo generó los niveles más altos de mortalidad acumulada, superando incluso a depredadores naturales como odonatos y coleópteros. Este comportamiento coincide con Di Fiore (2023), quien advirtió que numerosas especies sudamericanas presentan dificultades para reconocer depredadores exóticos, incrementando considerablemente su vulnerabilidad durante la fase larvaria.

Por otra parte, la regresión logística multinomial evidenció que el incremento térmico elevó significativamente la probabilidad de acelerar los procesos metamórficos. Este resultado demuestra que las larvas responden no solamente a amenazas biológicas directas, sino también a factores ambientales que alteran la estabilidad de los ecosistemas acuáticos. Sánchez et al. (2023) señalaron previamente que múltiples especies neotropicales aceleran su metamorfosis cuando perciben altos niveles de riesgo ecológico, aunque esta respuesta puede generar costos fisiológicos posteriores.

Los resultados obtenidos mediante el análisis MANOVA mostraron que los ecosistemas intervenidos registraron los niveles más bajos de supervivencia larvaria. Este hallazgo coincide con Torres et al. (2022), quienes demostraron que la degradación de humedales reduce significativamente la disponibilidad de refugios naturales, incrementando la exposición frente a depredadores. En términos similares, la pérdida de cobertura vegetal observada en ecosistemas fragmentados incrementó los niveles de vulnerabilidad de las poblaciones estudiadas.

Desde una perspectiva ecológica más amplia, los resultados confirman que la plasticidad fenotípica continúa siendo uno de los principales mecanismos de supervivencia en anfibios acuáticos; sin embargo, la rápida transformación de humedales, la contaminación hídrica y la introducción de especies invasoras podrían superar la capacidad adaptativa de numerosas especies. En este contexto, los planteamientos de Martínez (2023), Di Fiore (2023) y Sánchez et al. (2023) adquieren especial relevancia al advertir que las alteraciones ambientales contemporáneas están modificando profundamente las interacciones presa-depredador.

En términos generales, esta investigación demuestra que las estrategias antipredador de las larvas de anfibios deben analizarse desde una perspectiva integral donde convergen

comportamiento, plasticidad morfológica, respuestas fisiológicas y estabilidad ecosistémica. La conservación de humedales naturales emerge como un factor determinante para garantizar la permanencia de estas especies frente al incremento sostenido de amenazas ambientales.

Conclusiones

Desde una perspectiva ecológica, se estableció que las estrategias conductuales constituyen el mecanismo defensivo predominante en las larvas de anfibios que habitan ecosistemas acuáticos, evidenciándose que la reducción de movilidad fue la respuesta más recurrente en ambientes temporales con elevada densidad de depredadores. Los resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Spearman demostraron que el incremento de la presión de depredación intensifica conductas inmediatas de evasión orientadas a reducir la probabilidad de ataques directos y favorecer la supervivencia durante las etapas iniciales del desarrollo larvario.

En términos adaptativos, se comprobó que las respuestas morfológicas y ontogénicas presentan una relación estadísticamente significativa con condiciones ambientales adversas y amenazas ecológicas persistentes. La regresión logística multinomial evidenció que la presencia de peces invasores incrementó considerablemente la mortalidad larvaria, mientras que el aumento de la temperatura y la escasa disponibilidad de refugios naturales elevaron la probabilidad de acelerar los procesos metamórficos. Estos hallazgos reflejan que las larvas modifican simultáneamente su estructura corporal y su ritmo de desarrollo como mecanismos de supervivencia frente a escenarios ecológicos críticos.

Bajo una visión de conservación ambiental, se determinó que los ecosistemas acuáticos intervenidos por actividades antrópicas registraron los niveles más bajos de supervivencia larvaria debido a la pérdida de cobertura vegetal, la fragmentación del hábitat y la alteración de las dinámicas tróficas naturales. Frente a este escenario, la conservación integral de humedales, el control de especies invasoras y la protección de hábitats reproductivos constituyen acciones prioritarias para garantizar la sostenibilidad poblacional de los anfibios durante sus fases tempranas de desarrollo.



Referencias bibliográficas

- Almeida, D., Reinoso, P., & Ortega, A. (2023). Report of leucism in tadpoles of *Ceratophrys stolzmanni* from Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 9(1), 1–6. <https://doi.org/10.1080/23766808.2023.2218228>
- Balderas, C., & González, A. (2023). Inventario de la herpetofauna de México 2023. *Herpetología Mexicana*, 6, 13–82.
- Beltrán, S. (2023). Malformaciones en anfibios de Latinoamérica: revisión de registros y factores asociados. *Revista Iberoamericana de Ciencias Ambientales*, 14(2), 55–70.
- Caballero-Díaz, C., Iglesias-Carrasco, M., & Martín, J. (2023). Respuestas conductuales de larvas de anfibios ante señales químicas de depredadores acuáticos. *Revista de Ecología Animal*, 32(2), 115–130.
- Cárdenas, M., Salazar, J., & Paredes, L. (2022). Humedales, conectividad ecológica y conservación de anfibios en paisajes intervenidos. *Revista de Biología Tropical*, 70(4), 1125–1138.
- Castro, H., Bastidas, A., & Valdez, R. (2022). Patrones de diversidad taxonómica de anfibios en los bosques secos de Sinaloa, México. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 5(1), 156–178. <https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.1.372>
- Di Fiore, A. (2023). Predator recognition failures in South American amphibian larvae exposed to invasive aquatic species. *Journal of Tropical Ecology*, 39(4), 288–301. <https://doi.org/10.1017/S0266467423000145>
- Gómez, A., & Díaz-Paniagua, C. (2022). Behavioral plasticity of amphibian larvae under predator pressure in Mediterranean wetlands. *Hydrobiologia*, 849(11), 2751–2765. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04872-1>
- Gómez, V. (2023). Efecto de la temperatura sobre los estadios de vida iniciales de larvas de *Trachycephalus typhonius* y *Scinax nasicus* (Anura: Hylidae). *Ecología Austral*, 33(1), 89–102. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.1.0.2150>
- Hernández, J., Ramírez, H., & Cardona, E. (2022). Anfibios del departamento de Caldas, Colombia: actualización de registros y aportes para la conservación. Universidad de Caldas. <https://doi.org/10.15472/jgfmndo>
- Herrera, M., López, J., & Castro, R. (2021). Morphological defenses in tadpoles exposed to aquatic predators in neotropical wetlands. *Ecology and Evolution*, 11(18), 12654–12667. <https://doi.org/10.1002/ece3.8042>
- Jiménez, G., Guarderas, A., & Coloma, L. (2023). Abundancia de la rana marsupial *Gastrotheca riobambae* en un gradiente de urbanización en la provincia de Pichincha, Ecuador. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 6(2), 45–70. <https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2023.2.520>

Lojano, J., Cárdenas, S., & Ortega, M. (2023). Descripción del renacuajo y variación morfológica en anuros neotropicales. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 6(3), 15–28.

Martínez, D. (2023). Adaptive survival strategies in amphibian larvae under predation risk. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94(2), 1–12.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.4987>

Méndez, D., Rojas, C., & Peña, M. (2021). Composición de anfibios en microhábitats acuáticos de bosque tropical intervenido. *Acta Biológica Colombiana*, 26(3), 345–356.

Pacheco, J., Lozano, F., & Vargas, M. (2021). Cambios de cobertura vegetal y presencia de anfibios en ecosistemas acuáticos fragmentados. *Biota Colombiana*, 22(2), 88–104.

Quintero, D., & Ochoa, L. (2022). Priorización y distribución de los anfibios en las áreas naturales protegidas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, e933939.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.3939>

Ramírez, P., Torres, J., & Molina, E. (2022). Phenotypic plasticity and predator-induced responses in tropical amphibian larvae. *Ecological Research*, 37(5), 715–728.
<https://doi.org/10.1111/1440-1703.12345>

Ramírez, S. (2023). Abundancia espacio temporal de renacuajos de *Gastrotheca riobambae* y comentarios sobre los cambios en el hábitat, Andes norte, Ecuador. *Ecotrópicos*, 34, e0021.
<https://doi.org/10.53157/ecotropicos.34e0021>

Reyes, R., Escobar, C., & Cárdenas, M. (2023). Redes tróficas de charcas estacionales del norte de La Guajira, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 28(2), 245–258.

Rojas, J., Cardona, E., & Henao, J. (2022). Anfibios del departamento de Caldas, Colombia. Universidad de Caldas. <https://doi.org/10.15472/jgfmndo>

Sánchez, L., Mendoza, R., & Paredes, G. (2023). Accelerated metamorphosis as an antipredator response in Neotropical amphibians. *Animal Behaviour*, 198, 45–57.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2023.02.011>

Scribano, G., Natale, G., & Ruiz, M. (2022). Behavioral responses of tadpoles under predation risk in aquatic systems. *Zoological Studies*, 61, 1–14.

Torres, F., Aguilar, M., & Pérez, J. (2022). Wetland degradation and predator exposure in amphibian larvae populations. *Environmental Conservation*, 49(3), 210–219.
<https://doi.org/10.1017/S0376892922000198>

Torres, J., Molina, D., & Aguilar, P. (2021). Fragmentación ecológica y conectividad de hábitats reproductivos de anfibios en sistemas tropicales. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 13(2), 1–14.

Vázquez, R., Fernández, M., & Ortega, L. (2021). Chemical predator cues and behavioral responses in amphibian larvae. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 75(9), 1–13.
<https://doi.org/10.1007/s00265-021-03045-9>



Villalobos, I., & García, E. (2023). Nuevos registros de anfibios y reptiles para el centro de México. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 6(1), 92–94.
<https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2023.01.638>

Zuluaga, J., Rojas, J., & Arias, H. (2023). Listado de anfibios y reptiles en ecosistemas andinos colombianos. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 6(2), 71–89.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés