

Artículo de investigación

Estimación de un coeficiente de conservación de anuros (Amphibia: Anura) para la aplicación de índices de integridad biótica en Villavicencio, Colombia

Estimation of an anuran conservation coefficient (Amphibia: Anura) for the application of indices of biotic integrity in Villavicencio, Colombia

Juan Manuel Acosta-Ortiz¹✉, Jesús Alejandro González-Rojas²✉ y Helena Agudelo-González³✉

¹Biólogo, Grupo de Investigación en Gestión Ambiental y de los Recursos Naturales de Colombia, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

²Biólogo, Centro de Investigación en Ciencias Básicas "Raúl Cuero Rengifo", Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio, Colombia.

³Bióloga, Grupo de investigación en Sustentabilidad Ambiental (SUSA), Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.

Recepción: 20-abril-2025 **Aceptado:** 15-junio-2025 **Publicado:** 20-julio-2025

Cómo citar: Acosta-Ortiz, J. M., González-Rojas, J. A., & Agudelo-González, H. (2025). Estimación de un coeficiente de conservación de anuros (*Amphibia: Anura*) para la aplicación de índices de integridad biótica en Villavicencio, Colombia. *Ciencia En Desarrollo*, 16(2). doi: 10.19053/uptc.01217488.v16.n2.2025.19301

Resumen

El coeficiente de conservación es un valor asignado a las especies según su sensibilidad a la perturbación, rareza y distribución, lo que permite jerarquizarlas según su importancia relativa para la conservación. En este estudio, se estimó un coeficiente de conservación para 37 especies de anuros registradas durante el trabajo de campo en 15 localidades del municipio de Villavicencio. La construcción del coeficiente combinó muestreos sistemáticos con la evaluación de 21 investigadores con experiencia en el trabajo con anuros, quienes calificaron tres atributos ecológicos clave por especie, y cuyas puntuaciones fueron ponderadas en función del grado de familiaridad que cada evaluador reportó respecto a cada una. A partir de los valores obtenidos, las especies fueron clasificadas en tres niveles de preocupación ambiental, lo que permitió identificar aquellas con mayor prioridad de conservación. El enfoque adoptado, basado en un modelo multicriterio y en la ponderación del conocimiento experto, ofreció una aproximación integral a la vulnerabilidad ecológica de las especies, con potencial de aplicación en contextos con información limitada. Aunque la metodología presenta limitaciones asociadas a la subjetividad, el sistema de ponderación contribuyó a reducir su efecto, reforzando la utilidad del coeficiente como herramienta técnica para orientar acciones de conservación.

Palabras Clave: coeficiente ecológico, diversidad de anfibios, integridad biológica.

Abstract

The conservation coefficient is a value assigned to species based on their sensitivity to disturbance, rarity, and geographic distribution, allowing them to be ranked according to their relative importance for conservation. In this study, a conservation coefficient was estimated for 37 anuran species recorded during field surveys conducted across 15 localities in the municipality of Villavicencio. The construction of the coefficient combined systematic samplings with the evaluation of 21 researchers experienced in working with anurans, who scored three key ecological attributes per species, with the scores weighted according to the level of familiarity each evaluator reported for each species. Based on the resulting values, species were classified into three levels of environmental concern, enabling the identification of those with the highest conservation priority. The adopted approach, grounded in a multicriteria framework and informed by expert knowledge weighted by familiarity, provided an integrative assessment of ecological vulnerability with strong potential for application in data-limited contexts. While the methodology entails certain subjective elements, the weighting system helped reduce their influence, reinforcing the value of the coefficient as a robust technical tool for guiding conservation efforts.

Keywords: amphibian diversity, biological integrity, ecological coefficient, environmental health.

1. Introducción

El municipio de Villavicencio se localiza en una zona de transición ecológica entre los Andes y los Llanos Orientales de Colombia, lo cual le confiere una elevada biodiversidad, caracterizada por un alto número de endemismos y la presencia de ecosistemas estratégicos, tales como bosques de galería, bosques húmedos tropicales y sabanas naturales [1, 2, 3]. Esta región presenta el mayor índice de transformación de cobertura forestal en el área, como consecuencia de múltiples presiones antrópicas asociadas al crecimiento urbano, la expansión de la agricultura intensiva y los procesos de deforestación [3]. Tales dinámicas han generado impactos negativos como fragmentación y alteración del hábitat, contaminación, atropellamientos, aumento en la caza y la introducción de especies exóticas, lo que produce una disminución de las poblaciones, y plantea la necesidad de implementar herramientas eficaces para la evaluación, el monitoreo del estado de conservación y la integridad biótica de los ecosistemas [4, 5].

La integridad biótica se define como “la capacidad de sustentar y mantener una comunidad de organismos equilibrada, integrada y adaptativa, que tenga una composición de especies, diversidad y organización funcional comparables a las del hábitat natural de la región” [6]. La evaluación de la integridad biótica de los ecosistemas puede abordarse a través de distintos métodos, entre los cuales destacan los sistemas de índices construidos a partir del muestreo de especies indicadoras, cuyo estado de salud, número o distribución reflejan las condiciones ambientales de un ecosistema específico, la presencia, desaparición o variaciones en su población pueden actuar como señales para evaluar la calidad ambiental o los cambios en el ecosistema [7]. Los índices de integridad biótica han sido utilizados para valorar la calidad ecológica, especialmente en ecosistemas acuáticos como los humedales [7, 8, 9].

Entre los organismos más empleados en la construcción de los índices de integridad biótica se encuentran los anuros, cuya sensibilidad a las perturbaciones del hábitat los convierte en indicadores particularmente eficaces para evaluar la calidad ecológica de los ecosistemas [8-11]. Su eficacia como bioindicadores se sustenta en un conjunto de atributos morfológicos, fisiológicos y comportamentales como el ciclo de vida bifásico, el reducido tamaño corporal, la piel altamente permeable, la limitada capacidad de dispersión, la susceptibilidad a patógenos y el uso diferenciado de los recursos del hábitat, que los hace especialmente vulnerables a los cambios en el entorno [12-15]. Estas particularidades, sumadas a su facilidad de observación en campo, posiciona a los anuros como componentes estratégicos para monitorear con precisión los efectos de las perturbaciones antrópicas sobre la integridad biótica de los ecosistemas [8, 12, 15, 16].

La evaluación de la integridad biótica mediante índices requiere de la inclusión de coeficientes de conservación o coeficientes ecológicos como parte de su estructura metodológica [8, 10]. Estos coeficientes se definen como valores asignados a las especies con base en su sensibilidad a la perturbación, rareza o distribución geográfica, con el fin de jerarquizarlas según su importancia relativa para los objeti-

vos de conservación [8, 9, 10]. La utilización de estos valores fortalece la capacidad del índice para detectar variaciones en la calidad del hábitat, ya que permiten representar con mayor exactitud la presencia de especies sensibles, poco comunes o de distribución restringida [8, 10]. Así, se optimiza la identificación de especies indicadoras y se incrementa la precisión del índice en escenarios de transformación ecológica, proporcionando criterios técnicos más sólidos para orientar la toma de decisiones en conservación [8].

El presente estudio tiene como objetivo la formulación de un coeficiente de conservación para las especies de anuros registradas en el municipio de Villavicencio, con el fin de robustecer las capacidades locales en materia de evaluación y monitoreo ecológico. La aplicación de este coeficiente permitirá estimar la integridad biótica de los ecosistemas locales, facilitando la identificación de zonas prioritarias para la restauración y orientando la implementación de estrategias de conservación más eficaces, basadas en criterios científicos y datos cuantitativos. Asimismo, su uso sistemático facilitará el seguimiento continuo del estado ecológico del territorio y la adopción de medidas de manejo adaptativas frente a dinámicas de transformación ambiental. De este modo, este estudio busca no solo aportar una herramienta técnica, sino también incidir en la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad ecológica del municipio.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

El municipio de Villavicencio está situado en el piedemonte de la Cordillera Oriental de los Andes, al norte del departamento del Meta (Figura 1). Villavicencio registra una temperatura promedio de 25,5 °C y un régimen de lluvias monomodal, que comienza en abril y se extiende hasta noviembre, con una precipitación anual promedio de 4.383 mm [17]. El territorio de Villavicencio se compone de dos grandes regiones con características de relieve diferenciadas. La primera, ubicada al occidente y noroccidente, corresponde a una zona montañosa que forma parte del costado oriental de la Cordillera Oriental [18]. Esta región, de relieve accidentado y con presencia de abanicos fluviotorrenciales, ocupa aproximadamente el 25 % del territorio [18]. La segunda región se extiende hacia el oriente y nororiente, conformando una planicie con una leve inclinación que representa el 75 % del área total [18].

Los muestreos fueron realizados en 15 localidades del municipio: 1) Vereda La Cuncia (4.0474, -73.7406; 509 m.s.n.m), 2) Finca Coburgos (4.0642, -73.7380; 606 m.s.n.m), 3) La Nohora (4.0812, -73.6926; 501 m.s.n.m), 4) Vereda El Carmen (4.1272, -73.6751; 874 m.s.n.m), 5) Jardín Botánico de Villavicencio (4.1524, -73.6562; 651 m.s.n.m), 6) Finca La Arabia (4.1710, -73.6650; 908 m.s.n.m), 7) Vereda Pipiral (4.1961, -73.7201; 824 m.s.n.m), 8) Vereda Quebrada Honda (4.2660, -63.6680; 1380 m.s.n.m), 9) Vereda Puente Abadía (4.2401, -73.6325; 806 m.s.n.m), 10) Vereda Vanguardia (4.1806, -73.6251; 498 m.s.n.m), 11) Humedal Coroncoro (4.1471, -73.6021; 404 m.s.n.m), 12) Vereda Barcelona (4.0755, -73.5798; 387 m.s.n.m), 13) Vereda El Cairo (4.1732, -73.5449; 360 m.s.n.m), 14) Vere-

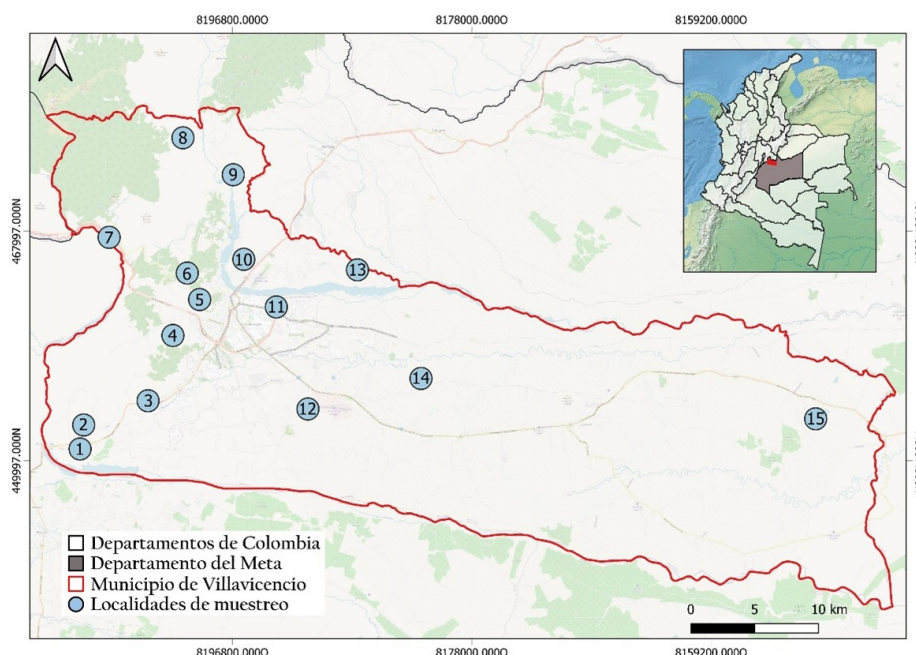


Figura 1: Ubicación geográfica del municipio de Villavicencio con la distribución de las localidades de muestreo de las especies de anuros.

da La Llanerita (4.0969, -73.5001; 339 m.s.n.m), 15) Parque Merecure (4.0685, -73.2217; 219 m.s.n.m.) (Figura 1).

2.2. Trabajo de campo

Entre 2022 y 2024, se llevaron a cabo cuatro salidas de campo en cada localidad, donde se realizaron búsquedas de anuros por observación de forma sistemática, mediante recorridos diurnos (7:00–10:00 h) y nocturnos (18:00–21:00 h). El trabajo de campo fue realizado por un equipo de tres personas, con un esfuerzo total de 72 horas de muestreo por localidad, mediante la técnica de búsqueda libre y sin restricciones, dado que este método es altamente eficiente para el registro del mayor número de especies en el menor tiempo posible [19]. La caracterización taxonómica de las especies se realizó de acuerdo a Frost [20].

2.3. Coeficiente de conservación

La estimación coeficiente de conservación para cada especie registrada, se realizó con la participación de 21 investigadores seleccionados por contar con experiencia en trabajo de campo con especies de anuros en Villavicencio [8, 10]. A cada participante, se le pidió evaluar cada especie a partir de los criterios: sensibilidad a la perturbación, rareza, distribución dentro del municipio de Villavicencio y familiaridad personal con la especie (Tabla 1) [8].

El coeficiente de conservación (CC) de cada especie se calculó según Crawford *et al.* [8] como el promedio ponderado de las puntuaciones de sensibilidad a la perturbación (s), rareza

(r) y distribución (d), otorgadas por cada persona encuestada. Estas puntuaciones fueron ponderadas por el nivel de familiaridad (f) del encuestado con la especie, lo que permitió el ajuste de la influencia de cada evaluación en función del conocimiento o experiencia del evaluador. La ecuación utilizada para este cálculo fue:

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (1)$$

donde $\bar{x}_i$ representó la media de las puntuaciones (s , r , d) asignadas por el encuestado i . De esta manera, el coeficiente de conservación reflejó la percepción colectiva sobre la importancia de una especie, considerando tanto su estado ecológico como el grado de conocimiento de los encuestados.

A partir de los valores del coeficiente de conservación, las especies fueron clasificadas mediante categorías que reflejaron su grado de preocupación ambiental. Las especies con valores entre 1.00 y 3.99 fueron consideradas de *especies de baja preocupación ambiental*, dada su baja sensibilidad a la degradación del hábitat, su escasa rareza y su amplia distribución dentro del municipio. Aquellas con valores entre 4.00 y 6.99 fueron categorizadas como *especies de moderada preocupación ambiental*, debido a que presentaron cierta sensibilidad a la degradación del hábitat, un mayor grado de rareza y una distribución más restringida. Finalmente, las especies con valores entre 7.00 y 10.00 fueron clasificadas como *especies de alta preocupación ambiental*, al incluir organismos altamente sensibles, raros o con distribuciones muy limitadas en el municipio.

Tabla 1: Criterios para la construcción del coeficiente de conservación de las especies de anuros.

Criterio	Pregunta	Categoría	Valor
Sensibilidad a la perturbación	¿Qué tan sensible es cada especie a las alteraciones o pérdida de hábitat?	La especie es generalista en el uso de hábitat y es tolerante a las perturbaciones	1
		La especie tiene cierta especificidad en el uso de hábitat y muestra una sensibilidad moderada a la perturbación, alteración o degradación del mismo	5
		La especie es especialista en el uso del hábitat y muestra sensibilidad a la perturbación, alteración o degradación del mismo.	10
Rareza	¿Qué tan rara es cada especie en Villavicencio?	La especie no es rara, en los lugares donde se encuentra tiene grandes poblaciones o agregaciones reproductoras y/o alta producción reproductiva	1
		La especie es moderadamente abundante en los lugares donde se encuentra	5
		La especie es rara, presenta abundancias muy bajas en los lugares donde se encuentra	10
Distribución en Villavicencio	¿Qué tan ampliamente distribuida está cada especie en Villavicencio?	La especie presenta amplia distribución, se puede encontrar en la mayor parte de Villavicencio	1
		La especie se puede encontrar en gran parte de Villavicencio	5
		Muy restringida, se encuentra en muy pocas localidades dentro de Villavicencio	10
Familiaridad	¿Qué tan familiarizado se siente con cada especie? Es decir, ¿cuál es su nivel de comodidad o confianza al clasificarla en términos de perturbación, rareza y distribución en Villavicencio?	No tiene experiencia con esta especie, indirectamente o de primera mano, y sabe poco o nada sobre su ecología o historia de vida	1
		Tiene cierta familiaridad con esta especie y una comprensión moderada de cómo la ecología y la historia de vida de la especie pueden afectar su sensibilidad a la perturbación, la rareza y la distribución	5
		Muy familiarizado con la ecología e historia de vida de la especie	10

3. Resultados y discusión

En el trabajo de campo se registraron un total de 37 especies de anuros, distribuidas en nueve familias y 21 géneros (Tabla 2). La familia Hylidae presentó el mayor número de especies, mientras que las familias Centrolenidae, Dendrobatidae, Microhylidae y Ranidae estuvieron representadas por una sola especie. *Rhinella marina* y *Leptodactylus colombiensis* fueron registradas en todas las localidades de muestreo, mientras que *Leptodactylus fragilis*, *Leptodactylus macrosternum* y *Pseudopaludicola boliviana* solo se encontraron en la localidad 15, Parque Merecure. A pesar de que se establecieron puntos de muestreo distribuidos hacia los extremos norte, sur, oriente y occidente, que permitieron una cobertura representativa en términos altitudinales en el municipio, los registros de estas tres últimas especies en una sola localidad podrían explicarse por el hecho de que la mayoría de los puntos de muestreo se concentraron en las regiones noroccidental y occidental. Esta distribución espacial sesgada de los muestreos pudo haber limitado la representatividad del sector oriental, donde previamente se ha reportado *Leptodactylus macrosternum* [21, 22], lo que sugiere una posible subestimación de las especies en esta área.

Los listados de anuros disponibles para el municipio de

Villavicencio reportan 35 [23] y 36 [24] especies, sin embargo, existe una falta de uniformidad en la riqueza de anuros reportada. Las especies encontradas en el presente estudio corresponden al 91.4 % de las registradas por Romero *et al.* [23] y el 94.4 % de las reportadas por Lynch [24]. De acuerdo con dichos autores [23, 24], las especies no reportadas en el presente trabajo fueron *Amazophrynella minuta*, *Boana cinerascens*, *Scinax blairi*, *Leptodactylus insularum* y *Osteocephalus buckleyi*. Sin embargo, con relación a este estudio, Romero *et al.* [23] no reporta *Hyloxalus cepedai*, *Osteocephalus carri*, *Leptodactylus mystaceus*, *Leptodactylus fragilis*, *Pristimantis frater* y *Leptodactylus macrosternum*, mientras que, Lynch [24] no incluye los registros de *Hyloxalus cepedai*, *Leptodactylus fragilis* y *Leptodactylus macrosternum*. No obstante, estas especies cuentan con registros de otros autores en diferentes localidades del municipio [21, 22, 25, 26, 27]. Los registros disponibles permiten estimar que el municipio de Villavicencio alberga al menos 42 especies de anuros, resultado de la integración de los datos obtenidos en el trabajo de campo junto con los listados previos de Lynch [23] y Romero *et al.* [24]. Adicionalmente, se han registrado dos especies de anfibios no anuros en el área: *Bolitoglossa altamazonica* y *Siphonops annulatus*, lo que indica un total de 44 especies de anfibios presentes en Villavicencio.

Tabla 2: Especies registradas en 15 localidades del municipio de Villavicencio. Localidades: 1) Vereda La Cuncia, 2) Finca Coburgos, 3) La Nohora, 4) Vereda El Carmen, 5) Jardín Botánico de Villavicencio, 6) Finca La Arabia, 7) Vereda Pipiral, 8) Vereda Quebrada Honda, 9) Vereda Puente Abadía, 10) Vereda Vanguardia, 11) Humedal Coroncoro, 12) Vereda Barcelona, 13) Vereda El Cairo, 14) Vereda La Llanerita, 15) Parque Merecure.

Familia	Género	Especie	Localidades
Aromobatidae	<i>Allobates</i>	<i>Allobates juanii</i>	3, 4, 6, 7, 9, 10
	<i>Rheobates</i>	<i>Rheobates palmatus</i>	4, 9, 10
Bufonidae	<i>Rhaebo</i>	<i>Rhaebo glaberrimus</i>	1, 6, 7, 9, 13
	<i>Rhinella</i>	<i>Rhinella beebei</i>	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 15
		<i>Rhinella margaritifera</i>	4, 9, 10
		<i>Rhinella marina</i>	Todas
Centrolenidae	<i>Rulyrana</i>	<i>Rulyrana flavopunctata</i>	4, 7, 10
Dendrobatidae	<i>Hyloxalus</i>	<i>Hyloxalus cepedai</i>	4, 9, 10
	<i>Boana</i>	<i>Boana platanera</i>	1–15 excepto 8
Hylidae		<i>Boana boans</i>	2, 4, 5, 6, 10
		<i>Boana lanciformis</i>	3, 4, 10, 11
		<i>Boana punctata</i>	1, 3, 4, 5, 13, 15
		<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	1–15 excepto 6, 8
		<i>Dendropsophus minutus</i>	1, 2, 4, 9, 10
		<i>Osteocephalus carri</i>	6, 9
		<i>Osteocephalus taurinus</i>	2, 4, 10
		<i>Pithecopus hypochondrialis</i>	1, 2, 9, 10, 12, 13, 14, 15
	<i>Pseudis</i>	<i>Pseudis paradoxa</i>	1, 15
	<i>Scinax</i>	<i>Scinax ruber</i>	1–15 excepto 6
		<i>Scinax wandae</i>	1, 2, 3
		<i>Scinax rostratus</i>	1, 2, 3, 5, 11, 12, 13, 15
	<i>Trachycephalus</i>	<i>Trachycephalus typhonius</i>	1–15 excepto 3, 8, 9
Leptodactylidae	<i>Adenomera</i>	<i>Adenomera hylaedactyla</i>	1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 14, 15
	<i>Leptodactylus</i>	<i>Leptodactylus colombiensis</i>	Todas
		<i>Leptodactylus fuscus</i>	1–15 excepto 4, 8
		<i>Leptodactylus fragilis</i>	15
		<i>Leptodactylus knudseni</i>	5, 12, 14
		<i>Leptodactylus macrosternum</i>	15
		<i>Leptodactylus mystaceus</i>	1, 10, 12, 13, 14, 15
		<i>Lithodytes lineatus</i>	1–15 excepto 7, 8, 9
	<i>Physalaemus</i>	<i>Physalaemus fischeri</i>	1, 2, 3, 10, 12, 13, 14
	<i>Pseudopaludicola</i>	<i>Pseudopaludicola boliviana</i>	15
Microhylidae	<i>Elachistocleis</i>	<i>Elachistocleis tinigua</i>	1, 2, 10, 12, 13, 15
Ranidae	<i>Lithobates</i>	<i>Lithobates palmipes</i>	10, 15
	<i>Pristimantis</i>	<i>Pristimantis frater</i>	6, 7, 8
Strabomantidae		<i>Pristimantis medemi</i>	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
		<i>Pristimantis savagei</i>	4, 6, 7, 8, 9

El coeficiente de conservación mostró una heterogeneidad marcada en los niveles de preocupación ambiental entre las especies analizadas (Tabla 3). Los valores obtenidos oscilaron entre 1.00 y 8.86, lo que facilitó la categorización de las especies en tres grupos de prioridad para la conservación (Tabla 3). Estos resultados respaldan la utilidad del coeficiente como una herramienta estratégica para orientar acciones de manejo y conservación basados en los ensamblajes de anuros y que adicionalmente puede ser usado al incorporarse en el índice propuesto por Crawford *et al.* [8] para medir la integridad biótica de los ecosistemas.

Del total de especies, 8 fueron categorizadas como especies de alta preocupación ambiental (21.6%), 15 como especies de moderada preocupación ambiental (40.5%) y 14 como especies de menor preocupación ambiental (37.9%) (Tabla 3). *Hyloxalus cepedai* y *Rulyrana flavopunctata* presentaron las mayores puntuaciones, mientras que *Rhinella marina* y *Leptodactylus fuscus* tuvieron las más bajas. La distribución de las especies en las tres categorías indicó que, aunque una proporción importante del total de las especies de anuros

mostró menor sensibilidad a ambientes perturbados, altas abundancias y amplias distribuciones, también existe un conjunto relevante de especies con requerimientos ecológicos estrictos.

El contraste entre especies de baja, moderada y alta preocupación ambiental plantea un desafío significativo para la gestión y conservación de la biodiversidad. Las especies de baja preocupación ambiental, debido a su baja sensibilidad a la alteración del hábitat, su escasa rareza y su amplia distribución, no deben ser excluidas de los esfuerzos de conservación, ya que su presencia y estado de salud continúan reflejando la integridad del ecosistema. Por otro lado, las especies de moderada preocupación ambiental, que presentan una mayor sensibilidad a la degradación del hábitat y una distribución más restringida, requieren de una atención más específica, dado que sus poblaciones pueden verse afectadas por las presiones ambientales en aumento. Además, las especies de alta preocupación ambiental, por su alta sensibilidad a las perturbaciones y sus estrictos requerimientos ecológicos, requieren atención prioritaria para mitigar el riesgo de disminución de

sus poblaciones locales. Por lo tanto, para desarrollar estrategias de conservación efectivas, es imprescindible priorizar a las especies más sensibles, no solo con base en su abundancia, distribución o rareza, sino también en su capacidad para afrontar las presiones ambientales derivadas de los cambios en sus hábitats.

Tabla 3: Coeficientes de conservación obtenidos para 37 especies de anuros en el municipio de Villavicencio.

Especie	Coeficiente de conservación
Especies de alta preocupación ambiental	
<i>Hyloxalus cepedai</i>	8.86
<i>Rhodyrana flavopunctata</i>	8.72
<i>Pristimantis frater</i>	7.72
<i>Osteocephalus carri</i>	7.53
<i>Rheobates palmatus</i>	7.48
<i>Pristimantis savagei</i>	7.15
<i>Allobates juanii</i>	7.13
<i>Rhaebo glaberrimus</i>	7.09
Especies de moderada preocupación ambiental	
<i>Pseudis paradoxa</i>	6.58
<i>Lithobates palmipes</i>	6.50
<i>Leptodactylus fragilis</i>	6.50
<i>Leptodactylus knudseni</i>	6.31
<i>Osteocephalus taurinus</i>	5.89
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	5.36
<i>Rhinella margaritifera</i>	5.34
<i>Boana boans</i>	5.26
<i>Boana lanciformis</i>	5.23
<i>Leptodactylus mystaceus</i>	5.20
<i>Boana punctata</i>	5.17
<i>Pseudopaludicola boliviana</i>	5.03
<i>Elachistocleis tinigua</i>	4.42
<i>Pristimantis medemi</i>	4.30
<i>Pithecopus hypochondrialis</i>	4.03
Especies de menor preocupación ambiental	
<i>Scinax wandae</i>	3.75
<i>Dendropsophus minutus</i>	3.68
<i>Scinax rostratus</i>	3.59
<i>Trachycephalus typhonius</i>	3.54
<i>Lithodytes lineatus</i>	3.44
<i>Adenomera hylaedactyla</i>	3.13
<i>Physalaemus fischeri</i>	2.37
<i>Scinax ruber</i>	2.33
<i>Leptodactylus colombiensis</i>	2.33
<i>Rhinella beebei</i>	1.97
<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	1.68
<i>Boana platanera</i>	1.24
<i>Leptodactylus fuscus</i>	1.17
<i>Rhinella marina</i>	1.00

El enfoque adoptado para la estimación del coeficiente de conservación presenta ventajas metodológicas que respaldan su utilidad en la priorización de especies dentro de procesos de evaluación rápida de la integridad biótica [8]. Su desarrollo se sustenta en un enfoque multicriterio, que integra dimensiones ecológicas fundamentales como lo son la sensibilidad a la perturbación antrópica, la rareza y la amplitud de distribución geográfica [8, 10]. Esta integración permite una mayor aproximación al conocimiento de la vulnerabilidad ecológica, evitando la simplificación derivada del uso de indicadores unidimensionales y favoreciendo una caracterización más robusta del riesgo ecológico de cada especie. Además, su flexibilidad metodológica permite su implementación en una amplia variedad de contextos eco-

lógicos, y resulta especialmente valioso en situaciones con datos limitados.

A pesar de las ventajas que ofrece, el coeficiente de conservación presenta algunas limitaciones inherentes a su metodología. La dependencia del conocimiento experto introduce un sesgo subjetivo, ya que las puntuaciones asignadas pueden variar dependiendo de la familiaridad y experiencia del evaluador con las especies. Esta variabilidad puede generar discrepancias en los resultados, especialmente para especies poco conocidas o con distribuciones restringidas. Sin embargo, la incorporación del conocimiento experto como fuente primaria de información es una estrategia pertinente, dado que en muchos casos existe una limitada disponibilidad de datos ecológicos publicados sobre las especies, especialmente en contextos locales como el de Villavicencio [8, 10]. Para mitigar este sesgo, se implementa un mecanismo de ponderación de las valoraciones basado en el nivel de familiaridad declarado por los evaluadores. Este enfoque permite ajustar la influencia de cada juicio, incrementando la robustez del índice al minimizar la influencia de evaluaciones con menor sustento empírico. Así, este proceso contribuye a una mayor fiabilidad del coeficiente, al tiempo que reconoce la experticia regional acumulada sobre las especies evaluadas y sus contextos ecológicos particulares.

La formulación del coeficiente de conservación para las especies de anuros en el municipio de Villavicencio constituye una contribución metodológica de relevancia para los procesos de monitoreo ecológico en contextos de transformación acelerada del paisaje. La aplicación de un modelo multicriterio, basado en la ponderación de variables como sensibilidad a la perturbación, rareza y distribución local, permitió jerarquizar las especies en función de su valor para la conservación, incorporando el grado de familiaridad del evaluador como mecanismo de ajuste del sesgo experto. Los resultados obtenidos evidencian una notable heterogeneidad en la vulnerabilidad ecológica de las especies analizadas, lo que resalta la necesidad de diseñar estrategias diferenciadas de manejo y conservación. No obstante, el estudio identifica oportunidades de mejora asociadas a la distribución espacial del esfuerzo de muestreo, particularmente en sectores subrepresentados del territorio, como la región oriental del municipio. En consecuencia, se recomienda ampliar el esfuerzo de muestreo, implementar monitoreos continuos con series temporales y validar el coeficiente mediante métricas independientes de perturbación ambiental. Adicionalmente, se propone la incorporación del coeficiente en esquemas de gestión y planificación ambiental, así como su extrapolación a otras unidades territoriales mediante ajustes metodológicos, lo que consolidaría su aplicación como insumo técnico para la toma de decisiones en conservación, restauración y gestión de la biodiversidad.

Agradecimientos

Agradecemos a Andrés Acosta Galvis, Cesar Barrio Amorós, Andrés Aponte Gutiérrez, Jorge Astwood Romero, Felipe Parra Torres, Leonardo Niño Cárdenas, Álvaro Velásquez Suárez, Jhon Amaya Burgos, Sebastián Bobadilla Molina, Andrés Sierra Rueda, Harold Céspedes Ruiz, Alejandro Ál-

varez Ruiz, Yulisa Pérez Plata, Lizeth Vargas Pulido, Heydee Villanueva Romero, Diana Lozano Naranjo, Erika Peralta Santana y Erwin Navarro Gómez por su contribución a la construcción del coeficiente de conservación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Todos los autores participaron en todas las fases de desarrollo del presente estudio.

Referencias

- [1] F. Sánchez. "Murciélagos de Villavicencio (Meta, Colombia): evaluación preliminar de su diversidad trófica y servicios ecosistémicos", *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, vol. 21, no 1, pp. 96-111, 2017. <https://doi.org/10.17151/bccm.2017.21.1.8>
- [2] J. Cruz, G. S. Castro Arguello, y M. L. Ortiz Moreno. "Flora vascular y vivienda de interés social en Villavicencio: Conflictos con la conservación de la biodiversidad", *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 11, no 1, pp. 65-76, 2019. <https://doi.org/10.22490/21456453.2718>
- [3] M. L. Ortiz-Moreno, N. Rojas, L. Aguilar, L. E. Lopes, P. A. Ferreira, X. Carretero-Pinzón, y J. S. R. Pires. "Presence of an endangered endemic primate in an ever-changing landscape in the eastern plains of Colombia", *Acta Biológica Colombiana*, vol. 27, no 2, pp. 269-281, 2022. DOI: 10.15446/abc.v27n2.91023
- [4] E. Ntom Udemba, N. U. Khan, y S. A. Raza Shah. "Demographic change effect on ecological footprint: A tripartite study of urbanization, aging population, and environmental mitigation technology", *Journal of Cleaner Production*, vol. 437, pp. 1-18, 2024. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.140406
- [5] H. Zhu, Y. Z. Zhang, Y. C. Peng, B. C. Shi, T. Liu, H. B. Dong, Y. Wang, Y. C. Ren, y Y. L. Xi. "Assessing the ecological health of the Qingyi River Basin using multi-community indices of biotic integrity", *Ecological Indicators*, vol. 156, pp. 1-10, 2023. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.111160
- [6] J.R. Karr, y D.R. Dudley. "Ecological perspective on water quality goals", *Environmental Management*, vol. 5 pp. 55-68, 1981. DOI: 10.1007/BF01866609
- [7] C. Zhao, N. Shao, S. Yang, H. Ren, Y. Ge, Z. Zhang, Y. Zhao, y X. Yin. "Integrated assessment of ecosystem health using multiple indicator species". *Ecological Engineering*, vol. 30, pp. 157-168, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2019.02.016
- [8] J. A. Crawford, W. E. Peterman, A. R. Kuhns, y C. A. Phillips. "Effectiveness of rapid sampling assessments for wetland-breeding amphibians", *Ecological Indicators*, vol. 154, pp. 1-8, 2023. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110736
- [9] M. Micacchion. "Amphibian index of biotic integrity (AmphIBI) for wetlands", Ohio Environmental Protection Agency, Technical Report WET/2004-7, 2004.
- [10] T. Angarita-Sierra. "Biotic assessment index based on anuran species to evaluate the biotic integrity of the flooded savannas ecosystem from Pauto River basin (Casanare-Colombia)", *Revista Latinoamericana de Herpetología*, vol. 4, no 1, pp. 35-55, 2021. DOI: 10.22201/fc.25942158e.2021.1.152
- [11] W. Veselka, W. S. Kordek y J. T. Anderson. "Using multiple taxa and wetland classification schemes for enhanced detection of biological response signatures to human impairment", *Ecological Indicators*, vol. 133, pp. 108391, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.108391
- [12] K. D. Wells. "The ecology and behavior of amphibians", University of Chicago press: Chicago, 2007. DOI: 10.7208/chicago/9780226893334.001.0001
- [13] J. M. Acosta-Ortiz. "Evaluación preliminar de la relación entre el tamaño corporal y la amplitud de nicho de la familia Leptodactylidae (*Amphibia: anura*), en dos localidades del departamento de Casanare, Colombia", Tesis de grado, Universidad de los Llanos, 2022. <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/2975>
- [14] J. M. Acosta-Ortiz, J. S. Bobadilla-Molina, A. S. Sierra-Rueda, y A. F. Aponte-Gutiérrez. "Uso de microhábitat por cuatro especies de ranas hylidas (*Anura: Hylidae*) en la Universidad de los Llanos, Meta-Colombia". *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, vol. 36, pp. 137-147, 2024. DOI: 10.47499/revistaaccb.v1i36.315
- [15] A. D. Dixon, W. R. Cox, E. M. Everham, y D. W. Ceilley. "Anurans as biological indicators of restoration success in the greater Everglades ecosystem", *Southeastern Naturalist*, vol. 10, no 4, pp. 629-646, 2011. DOI: 10.1656/058.010.0404
- [16] S. Saber, W. Tito, y R. Said. "Amphibians as bioindicators of the health of some wetlands in Ethiopia", *The Egyptian Journal of Hospital Medicine*, vol. 66, pp. 66-73, 2017. DOI: 10.12816/0034635
- [17] Alcaldía de Villavicencio. "Plan de acción climática del municipio de Villavicencio", Villavicencio, 2024. <https://americadosul.iclei.org>
- [18] Alcaldía de Villavicencio. "Plan de desarrollo municipal de Villavicencio 2020-2023", Villavicencio, 2020. <https://repositorioocdim.esap.edu.co>
- [19] A. Angulo, J. V. Rueda-Almonacid, J. V. Rodríguez-Mahecha, y E. La Marca. "Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina", Conservación Internacional y Panamericana Formas e Impresos: Bogotá, 2006. <https://www.amphibians.org>
- [20] D. R. Frost. "Amphibian species of the world: An online reference (Version 6.2)", American Museum of Natural History, 2024. DOI: 10.5531/db.vz.0001
- [21] IAvH-Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ecopetrol S.A., Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos S.A.S., Oleoducto Bicentenario de Colombia S.A.S. "Anfibios de la Ecoreserva Apiay (Villavicencio, Meta) - Proyecto Ecoreservas", Dataset/Occurrence, 2023. DOI: 10.15472/ixgokt

- [22] iNaturalist (2025). "iNaturalist Research-grade Observations", Dataset/Occurrence, 2025. <https://www.gbif.org/occurrence/4987430152>
- [23] H. Romero, J. O. Rangel-Ch, y J. E. Carvajal-C. "Anfibios de la Orinoquia de Colombia: lista con base en los registros existentes", en Colombia diversidad biótica XIV: La región de la Orinoquia de Colombia, J. O. Rangel-Ch, Editor. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales: Bogotá, 2014, pp. 665–690.
- [24] J. D. Lynch. "The amphibian fauna in the Villavicencio region of eastern Colombia", *Caldasia*, vol. 28, no 1, pp. 135-155, 2006. <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v28n1/v28n1a14.pdf>
- [25] C. Piedrahita-Rodríguez. "Estado actual del conocimiento y análisis zoogeográfico de los anfibios de la Orinoquia Colombiana", Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2007. <https://repository.javeriana.edu.co>
- [26] C. I. Becerra-Serrano. "Ensamblaje de anuros en tres hábitats correspondientes a bosque, potrero y rural en el Parque Agroecológico Merecure, Villavicencio, Meta", Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2011. <https://repository.javeriana.edu.co>
- [27] J. A. Astwood-Romero, N. Álvarez-Perdomo, M. F. Parra-Torres, J. I. Rojas-Peña, M. T. Nieto-Vera, y M. C. Ardila-Robayo. "Contenidos estomacales de especies de anuros en reservas naturales del municipio de Villavicencio, Meta, Colombia, Caldasia", vol. 38, no 1, pp. 165-181, 2016. DOI: 10.15446/caldasia.v38n1.57836