

Artículo original

Patrones temporales y estructura acústica de anuros en lagunas artificiales del bosque seco tropical en el nororiente de Colombia

Temporal patterns and acoustic structure of anurans in tropical dry forest artificial ponds in northeastern Colombia

✉ **Giovanly Díaz**^{1,2,*}, ✉ **Sergio A. García-Mieles**³, ✉ **Karol J. Baez**³,
✉ **Claudia M. Quintero-Parales**³, ✉ **Darío Arrieta-García**⁴, ✉ **Aldemar A. Acevedo**^{2,5 *}

¹Maestría en Ciencias, Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia

²Colección Nacional de Anfibios, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

³Grupo de Investigación en Ecología y Biogeografía, Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia

⁴Grupo de Investigación en Biodiversidad, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia

⁵Grupo de Investigación en Morfología y Ecología Evolutiva, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia

Resumen

La vocalización es un recurso fundamental de los anuros en sus procesos de territorialidad y apareamiento que varía dentro de la especie y entre especies. Dichas señales se modulan incluso a partir de las vocalizaciones de otras especies y del microclima. En este estudio evaluamos los patrones de actividad vocal y su relación con algunas variables ambientales en tres lagunas artificiales de un fragmento de bosque seco tropical en el nororiente de Colombia. Planteamos que la actividad vocal está estructurada por factores bióticos y abióticos, e hicimos las siguientes predicciones: 1) el solapamiento temporal tiende a ser menor entre especies estrechamente relacionadas; 2) la frecuencia dominante actúa como eje complementario de partición acústica, modulando pero no determinando los patrones de solapamiento, y 3) la actividad vocal depende de umbrales mínimos de temperatura y humedad relativa, con variación de la tolerancia entre especies. Registramos la actividad durante temporadas de alta y baja precipitación mediante monitoreo acústico continuo, analizamos el solapamiento temporal y aplicamos un agrupamiento multivariado incluyendo la temperatura y la humedad. Identificamos 13 especies, de las cuales diez mostraron actividad predominantemente nocturna. En *Dendropsophus* y *Leptodactylus* el solapamiento fue bajo, variable entre especies con frecuencias similares. La actividad vocal respondió a umbrales de temperatura (>20 °C) y humedad (>75 %), con rangos microclimáticos específicos para cada especie. Los resultados evidencian la partición temporal y el papel complementario de la frecuencia dominante, lo que confirma nuestras predicciones y resalta el valor del monitoreo acústico para comprender la coexistencia y la estructuración comunitaria en ambientes artificiales del bosque seco tropical.

Palabras clave: Anfibios; Competencia; Comunicación; Llamada de anuncio; Norte de Santander.

Abstract

Vocalization is a fundamental resource for anurans in processes such as territoriality and mating, with intra- and interspecific variation. These signals are modulated by the calls of other species and by the microclimate. In this study, we evaluated vocal activity patterns and their relationship with environmental variables in three artificial ponds in a fragment of tropical dry forest in northeastern Colombia. We propose that biotic and abiotic factors structure vocal activity; we predict that: 1) temporal overlap will tend to be lower between closely related species; 2) dominant frequency will act as a complementary axis of acoustic partitioning, modulating but not determining overlap patterns, and 3) vocal activity will depend on minimum thresholds of temperature and relative

Citación: Díaz G, *et al.* Patrones temporales y estructura acústica de anuros en lagunas artificiales del bosque seco tropical en el nororiente de Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 50(195):353-365, abril-junio de 2026. doi: <https://doi.org/10.18257/racefyn.3279>

Editor: Martha Patricia Ramírez Pinilla

***Correspondencia:**

Giovanly Díaz; fgiodiaz24@gmail.com

Recibido: 21 de agosto de 2025

Aceptado: 23 de diciembre de 2025

Publicado en línea: 19 de marzo de 2026



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

humidity, with variation in tolerance among species. We recorded activity during high- and low-precipitation seasons through continuous acoustic monitoring; we analyzed temporal overlap and applied multivariate clustering with temperature and humidity. We identified 13 species, ten of which showed predominantly nocturnal activity. In *Dendropsophus* and *Leptodactylus*, overlap was low, while among species with similar frequencies, it was variable. Vocal activity responded to temperature (>20 °C) and humidity (>75%) thresholds, with specific microclimatic ranges for each species. The results show temporal partitioning and a complementary role of dominant frequency, supporting our predictions and highlighting the value of acoustic monitoring for understanding coexistence and community structure in tropical dry forest artificial environments.

Keywords: Advertisement call; Amphibians; Communication; Competition; Norte de Santander.

Introducción

La comunicación acústica es un componente esencial en la biología de numerosos organismos, pues facilita la interacción intra e interespecífica (Browning *et al.*, 2017). A través de las señales sonoras, los individuos pueden atraer parejas, advertir sobre depredadores, defender territorios, mantener la cohesión grupal e, incluso, detectar presas (Bradbury & Veherencamp, 2011). Este tipo de interacción se encuentra ampliamente en la naturaleza y es empleado desde insectos y peces hasta grandes mamíferos marinos como las ballenas (Angulo *et al.*, 2006).

Los anuros destacan por la diversidad y complejidad de sus vocalizaciones (Gerhardt & Huber, 2002). La mayoría de las especies emite sus vocalizaciones principalmente en horario nocturno y pueden incluir notas repetidas, cantos tonales y pulsados o combinaciones más complejas (Bernal *et al.*, 2004; Wells, 2007). Además de la variación interespecífica, una misma especie puede producir diferentes tipos de vocalizaciones según su función: liberación, defensa o apareamiento (Wells, 2007). La vocalización más común es el llamado de anuncio (*advertisement call*), mediante el cual los machos atraen a las hembras y establecen jerarquías territoriales (Köhler *et al.*, 2017). Este tipo de comunicación, impulsado por la competencia reproductiva, está fuertemente influido por la selección sexual, que favorece determinadas características acústicas y, en consecuencia, moldea la evolución de los cantos (Ryan & Rand, 2003; Köhler *et al.*, 2017).

En los anuros, esta variación no es aleatoria; responde a principios biomecánicos y ecológicos que limitan las características del canto y favorecen configuraciones acústicas que reduzcan interferencias, optimicen la transmisión de señales y faciliten el reconocimiento entre especies (Köhler *et al.*, 2017). Factores como el tamaño corporal, la cercanía filogenética y la similitud en la frecuencia dominante determinan el grado esperado de solapamiento acústico (Gingras *et al.*, 2013; Köhler *et al.*, 2017). En ambientes donde coexisten especies con rasgos similares, la competencia acústica suele promover la divergencia temporal o espectral para asegurar la eficacia de la comunicación (Chhaya *et al.*, 2021).

Los factores ambientales, en especial la temperatura y la humedad relativa, inciden directamente en la actividad vocal de los anuros (Sugai *et al.*, 2021). En general, las condiciones cálidas y húmedas favorecen la vocalización, aunque cada especie presenta tolerancias específicas que determinan el incremento o disminución de la actividad (Sánchez, 1999; Narins *et al.*, 2006; Sugai *et al.*, 2021). Variables microclimáticas adicionales como la presión atmosférica, la nubosidad o el viento también pueden modificar la intensidad y frecuencia de los coros (Oseen & Wassersug, 2002).

El análisis de vocalizaciones no solo revela aspectos ecológicos clave, sino que, además, facilita la identificación taxonómica y la delimitación de especies, particularmente en las especies crípticas (Bernal *et al.*, 2004; Angulo *et al.*, 2006; Köhler *et al.*, 2017). En Colombia, la bioacústica de anuros se ha consolidado como una herramienta valiosa para la taxonomía, la sistemática, la ecología y la conservación (Martínez-Medina *et al.*, 2021), pero aún son escasos los estudios que abordan explícitamente las interacciones acústicas inter e intraespecíficas, especialmente en hábitats transformados o artificiales, donde la estructura de los coros puede diferir de la observada en ambientes naturales (Duarte *et al.*, 2019).

Asimismo, se ha evidenciado que las fluctuaciones microclimáticas influyen en la partición temporal y espectral del espacio acústico, reduciendo la interferencia entre especies simpátricas y promoviendo la coexistencia (Chhaya *et al.*, 2021). En ese contexto, en el presente estudio evaluamos los patrones de actividad vocal desde una perspectiva ecológica, comparando el uso temporal del espacio acústico entre especies filogenéticamente cercanas y con frecuencias dominantes similares, e incorporando variables climáticas en poblaciones que habitan lagunas artificiales dentro de fragmentos de bosque seco tropical en el nororiente colombiano.

En este sentido, planteamos que la actividad vocal de los anuros en lagunas artificiales del bosque seco tropical está estructurada tanto por factores bióticos como abióticos, y a partir de ese supuesto hicimos las siguientes predicciones: 1) el solapamiento temporal tiende a ser significativamente menor entre congéneres que entre pares de especies de géneros diferentes; 2) la frecuencia dominante actúa como un eje complementario en la partición acústica, modulando los patrones de solapamiento entre especies que se encuentran en un espectro con o sin diferencias significativas, y 3) la actividad vocal está condicionada por umbrales mínimos de temperatura y humedad relativa, con diferencias en la amplitud de la tolerancia entre especies.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en tres lagunas artificiales (**Figura 1S**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3279/5309>), ubicadas en un fragmento de bosque seco tropical (BST) secundario, de aproximadamente 2,2 km², en la localidad de California, municipio de Los Patios, Norte de Santander, nororiente de Colombia (7°41'39,06" N; 72°34'10,56" W; 900 m s. n. m.). Estos cuerpos de agua están inmersos en un paisaje caracterizado por una matriz fuertemente transformada, donde el BST ha sufrido procesos intensos de fragmentación debido a actividades agropecuarias y urbanas. En el área metropolitana de Cúcuta los remanentes de BST presentan una gran fragmentación, baja conectividad ecológica y fuerte presión antrópica asociada con la expansión urbana y agropecuaria (Suárez *et al.*, 2004).

El fragmento donde se ubican las lagunas corresponde a un estado de sucesión secundaria, pero mantiene una vegetación ribereña densa que provee microhábitats relevantes para la fauna local. Entre las especies vegetales representativas se encuentran *Eugenia* sp., *Croton* sp., *Guazuma* sp. y *Cupania* sp., típicas de ambientes con marcada estacionalidad (Carrillo-Fajardo *et al.*, 2007). Estas características permiten que el fragmento funcione como un refugio ecológico en un paisaje altamente transformado.

Las lagunas tienen diferentes tamaños: la laguna 1 tiene un área de 2.510 m², la laguna 2 es la mayor, con 3.400 m², y la laguna 3, la más pequeña, tiene 1.500 m². Aunque se encuentran en el mismo parche de vegetación, están separadas por distancias mínimas de aproximadamente 300 m que se consideran suficientes para garantizar independencia en las emisiones vocales (Márquez *et al.*, 2014). Las lagunas reciben recarga hídrica regular desde la quebrada La Honda, a 2,5 km de distancia, mediante el desvío del agua a través de un acueducto no oficial, según información de la comunidad local.

Muestreo

Las grabaciones se realizaron de forma pasiva en periodos de 24 horas entre el 5 y el 11 de noviembre de 2023 (época de baja precipitación) y entre el 28 de marzo y el 2 de abril de 2024 (época de alta precipitación); se obtuvieron archivos de 24 horas por cada día de muestreo. Las vocalizaciones se registraron con una grabadora SONY PX370 y un micrófono BOYA BY-M1 configurado en modo omnidireccional y fijados en un trípode. El formato de grabación fue .WAV, con resolución de 24 bits y frecuencia de muestreo de 48 kHz (Köhler *et al.*, 2017). El equipo se ubicó en la orilla poco profunda de las lagunas, con el micrófono orientado hacia el centro y a una distancia mínima de un metro (1 m) de los posibles puntos de vocalización. Además, en el borde de cada laguna se instaló un

registrador de datos (*datalogger*) Elitech GSP-6 que registró la temperatura ambiente (Ta) y la humedad relativa (HR) cada cinco minutos durante el muestreo. Estas grabaciones de audio se encuentran depositadas en la Colección de Anfibios del Instituto de Ciencias Naturales en la Universidad Nacional de Colombia con los códigos ICN-ANF 62340-62346 y están por ser incluidas en el repositorio de la Colección de Sonidos Fonoteca Zoológica, Fonozoo.

Tratamiento de las grabaciones

Cada grabación de 24 horas se procesó en Audacity v3.6.4, dividiéndola en cuatro secciones de seis horas para facilitar el manejo de los archivos (Cañas *et al.*, 2023). El ruido del viento y la lluvia se redujo con el programa de edición OcenAudio v3.13.5, aplicando filtros sin afectar la integridad de los espectros de las vocalizaciones (OcenAudio Team, 2025). Los fragmentos se analizaron en Raven Pro 1.6 (Bioacoustic Research Program, 2008), identificando especies a partir de la comparación con espectrogramas reportados por Arrieta-García *et al.* (2025) y con la base de datos de los autores (<https://anfibiacallsns.web.app/>). La identificación fue corroborada en consenso por el equipo, aunque el registro final lo hizo un solo investigador para reducir sesgos. La matriz se construyó a partir del número de registros, considerando como registro la hora de actividad (en formato de 24:00 horas) o vocalización de un espécimen por unidad de canto en intervalos de cinco minutos, la cual se enlazó progresivamente con los registros de las tres secciones consecuentes hasta completar el barrido de las 24 horas; este proceso se hizo con cada una de las grabaciones de 24 horas tomadas en las fechas de muestreo.

Análisis

La distribución de los datos derivados de las grabaciones (número de vocalizaciones o actividad vocal) se determinó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($n = 3791$; $p = 0,042$; $D = 0,03$), lo que permitió confirmar las distribuciones no normales (Tapia & Cevallos, 2021). Además, se comparó el número de registros vocales por unidad de 24 horas para determinar si su implementación posterior en los análisis se hizo en conjunto o por separado (épocas y lagunas), lo que quedó respaldado por el hecho de que las lagunas artificiales comparten el mismo fragmento de bosque, características similares de vegetación y especies de anuros y un suministro constante de agua. Para ello, se evaluó la independencia de la actividad vocal entre épocas (sequía *Vs.* lluvia: $X^2 = 1,4$; $gl = 1$; $p = 0,237$) y entre lagunas (1, 2 y 3: $X^2 = 4,24$; $gl = 2$; $p = 0,12$) mediante la prueba de Kruskal-Wallis (McGill *et al.*, 1978; Seefeld & Linder, 2007). Al no hallarse diferencias significativas, los datos se integraron en un solo conjunto representativo del fragmento de bosque seco.

Los patrones de actividad se estimaron a partir de 3.791 registros (laguna 1 = 1.260, laguna 2 = 1.234, laguna 3 = 1.297), considerando únicamente especies con más de 20 registros (Agostinelli & Lund, 2017). Los análisis se realizaron con R versión 4.4.1 (R Core Team, 2024) usando el paquete “Circular” y ajustándolo a un periodo de 24 horas. Se calculó la dispersión de los datos de actividad (Rho) en que los valores cercanos a 1 indican alta concentración horaria y sugieren, por ende, cierta preferencia horaria; por el contrario, los valores cercanos a 0 sugieren una menor concentración y baja preferencia horaria (Agostinelli & Lund, 2017). Además, se estimaron los periodos de mayor actividad (PMaA) y los de menor actividad (PMeA) como parte de la descripción de los patrones de actividad, los cuales correspondieron a los cuartiles máximos de tiempo, en que se agruparon los registros vocales, y a los mínimos, en que se agruparon las especies en el momento de vocalizar (Agostinelli & Lund, 2017).

Los patrones de actividad se compararon según dos escenarios: 1) especies del mismo género en contraste con especies de géneros diferentes (Köhler *et al.*, 2017), y 2) especies con frecuencias dominantes similares en contraste con especies de frecuencias dominantes diferenciadas ($p > 0,05$ y $p \leq 0,05$, respectivamente), lo que se estimó a partir de la prueba de Kruskal-Wallis (Seefeld & Linder, 2007). La frecuencia dominante de cada especie se

calculó en Raven Pro 1.6 y se graficó en RStudio mediante el paquete *seewave* (Charif *et al.*, 2010; **Bioacoustic Research Program**, 2025). Los espectrogramas se generaron en Raven Pro 1.6 (Cornell Lab of Ornithology) con una FFT de 900 puntos, ventana de Hann, solapamiento de 30 %, rango de 0–10 kHz, resolución temporal de 18 seg y resolución espectral de 44 Hz; las frecuencias dominantes (Fdom) se midieron con cursor de banda y verificación visual (**Bioacoustic Research Program**, 2025). Para estimar el solapamiento temporal se utilizó el paquete *Overlap*, con el que se obtuvo el coeficiente delta (Δ), en el que los valores cercanos a 0 indican una baja coincidencia y los cercanos a 1, una alta coincidencia (Ridout & Linkie, 2009). Una vez estimado el Δ , a estos valores se les aplicó una prueba de Kruskal-Wallis (Seefeld & Linder, 2007) para establecer las diferencias significativas en el solapamiento temporal de las especies siguiendo los dos escenarios ya mencionados. Dada la baja representatividad de las especies congéneres en comparación con las no congéneres, y con la intención de mantener las comparaciones equitativas, se seleccionaron tres especies siguiendo los criterios de mayor tamaño de la muestra, mayor y menor diferencia en la frecuencia, y alta preferencia horaria, las cuales se consideraron representativas del comportamiento vocal en congéneres.

Por último, en la relación entre actividad vocal y microclima (Ta y HR), los valores se extrajeron manualmente de la zona horaria (intervalo de 5 minutos) en que se registró la especie en el momento de vocalizar. Esta relación, asociada a la actividad propia de cada especie, se exploró bajo un enfoque descriptivo mediante gráficos de dispersión agrupados a través de dos variables utilizando el paquete *ggplot2* (Wickham, 2011) e identificando los rangos de temperatura y humedad más asociados a la actividad de las especies (Santana, 1991).

Resultados

En las lagunas artificiales de bosque seco muestreadas se registraron 13 especies de anuros pertenecientes a nueve familias y cinco géneros (**Tabla 1S**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3279/5308>). El patrón de actividad pudo estimarse para diez de ellas, ya que *Lithodytes lineatus*, *Lithobates palmipes* y *Rhinella margaritifera* presentaron menos de 20 registros de vocalización.

La mayoría de las especies eran nocturnas, con actividad desde el crepúsculo (18:00 h) hasta el amanecer (06:00 h). La preferencia horaria fue marcada en varias especies ($\text{Rho} \geq 0,7$; **Tabla 1S**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3279/5308>), destacándose *Dendropsophus minutus* (pico 19:56 h; $\text{Rho} = 0,93$) y *R. horribilis* (pico 21:44 h; $\text{Rho} = 0,91$). En contraste, especies como *Boana platanera*, *Engystomops pustulosus* y *Leptodactylus colombiensis* se mantuvieron activas de forma casi continua durante toda la noche (**Figura 1a**).

Las comparaciones de frecuencia dominante revelaron dos escenarios: (i) de similitud acústica, sin diferencias estadísticas entre especies como *B. platanera* y *E. pustulosus* ($p = 0,71$) o *R. horribilis* y *Scinax rostratus* ($p = 0,88$), y (ii) diferenciación marcada, como en *D. minutus* frente a *R. horribilis* ($p = 0,041$) y *S. rostratus* frente a *Pristimantis taeniatus* ($p = 0,047$) (**Figura 1b**; **2Sa**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3279/5309>).

Los análisis de sobreposición temporal bajo el primer criterio (congéneres en contraste con especies de géneros diferentes) evidenciaron diferencias significativas ($\chi^2 = 3,85$; $gl = 1$; $p = 0,049$) y la tendencia a evitar la vocalización al mismo tiempo entre las especies de un mismo género, con algunos más marcados que otros (**Figura 2Sb**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3279/5309>). Esto se ve respaldado en el comportamiento de *Dendropsophus* y *Leptodactylus* por la baja superposición ($\Delta \approx 45$ %), lo que indica que sus especies evitan competir y vocalizan en horarios distintos, con la excepción de *Rhinella*, que presentó una superposición alta ($\Delta = 77$ %), lo que sugiere que sus especies comparten ventanas de actividad similares (**Figuras 2Sa–c**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3279/5309>). En concordancia, se observó el comportamiento de especies de géneros

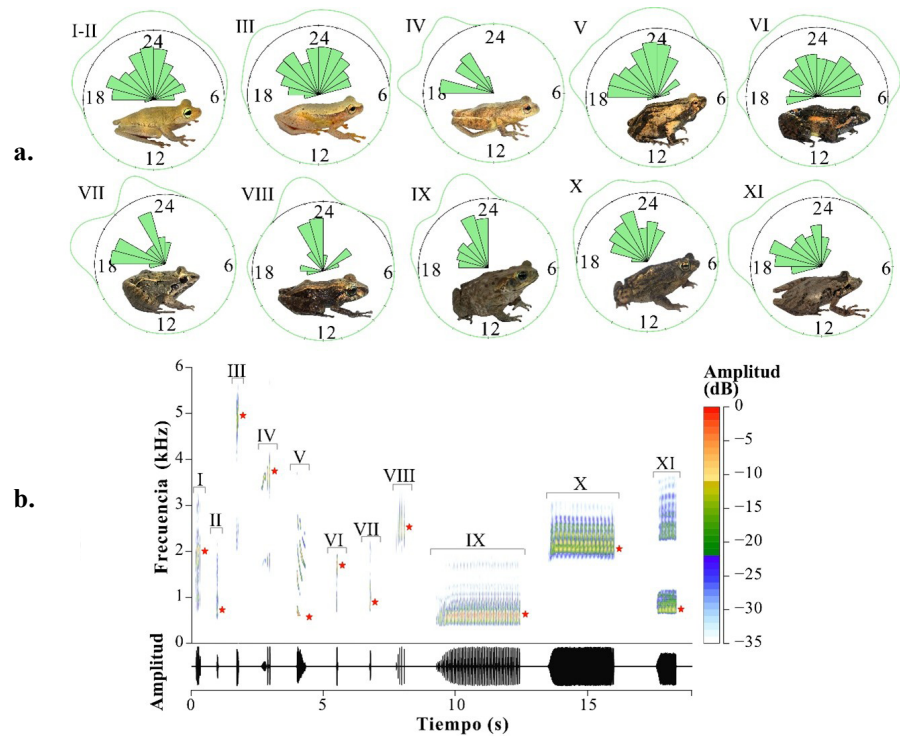


Figura 1. Especies de anuros registradas en lagunas artificiales de un fragmento de bosque seco en el departamento de Norte de Santander. **(a)** Patrones de actividad circular; el tamaño de las barras y el grosor de la onda verde indican la intensidad de la actividad. **(b)** Espectrograma de las vocalizaciones de anuncio; la estrella roja indica la frecuencia dominante para cada especie. I-II) *Boana platanera*, III) *Dendropsophus microcephalus*, IV) *Dendropsophus minutus*, V) *Engystomops pustulosus*, VI) *Leptodactylus colombiensis*, VII) *Leptodactylus poecilochilus*, VIII) *Pristimantis taeniatus*, IX) *Rhinella horribilis*, X) *Rhinella humboldti*, XI) *Scinax rostratus*. Los espectrogramas se generaron en Raven Pro 1.6 (Cornell Lab of Ornithology) con FFT = 900 puntos, ventana Hann, superposición 30%, rango 0–10 kHz, resolución temporal 18 seg y resolución espectral 44 Hz; las frecuencias dominantes (Fdom) se midieron con cursor de banda y verificación visual.

diferentes como *B. platanera*–*E. pustulosus*, *R. horribilis*–*S. rostratus* y *P. taeniatus*–*R. humboldti*, que presentaron una superposición entre alta y media, respectivamente ($\Delta = 89\%$, 74% , 59%) (**Figura 2d-f**).

Los análisis de superposición temporal bajo el segundo criterio (especies con frecuencias dominantes similares en contraste con especies con frecuencias dominantes diferentes) evidenciaron diferencias significativas ($\chi^2 = 5,31$, $gl = 1$, $p = 0,021$) y mostraron que la coexistencia entre especies responde fuertemente a la segregación temporal potencialmente influenciada por la frecuencia dominante (**Figura 2Sc**, <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3279/5309>). Este resultado se vio respaldado por la observación de interacciones casi excluyentes (*D. minutus*–*P. taeniatus*; $\Delta = 32\%$) en especies con frecuencias dominantes similares y una segregación temporal amplia (*D. minutus*–*R. horribilis*; $\Delta = 59\%$; **Figuras 2d–i**) y, en un par de escenarios específicos, el caso de deltas altos en especies similares, manteniéndose la tendencia general (*B. platanera*–*E. pustulosus*, 89%). Estos patrones mostraron que tanto la segregación temporal como la separación espectral contribuyen, en distintos grados y en escenarios generales, a facilitar la coexistencia local.

Por último, la actividad se vio modulada por condiciones microambientales. Aunque todas las especies requirieron umbrales mínimos de temperatura ($>20\text{ }^\circ\text{C}$) y humedad ($>75\%$), se detectaron dos estrategias: i) la de las especies generalistas, activas en amplios rangos de condiciones (ej. *D. microcephalus* y *E. pustulosus*), y (ii) la de las especies

especialistas, restringidas a intervalos estrechos (ej. *B. platanera*, *L. colombiensis*, *P. taeniatus*) (Figura 3). Esta diferenciación sugiere que el microclima de las lagunas actúa como un filtro importante, sumado probablemente a otros factores no evaluados en este estudio que participan en la estructuración de las comunidades acústicas.

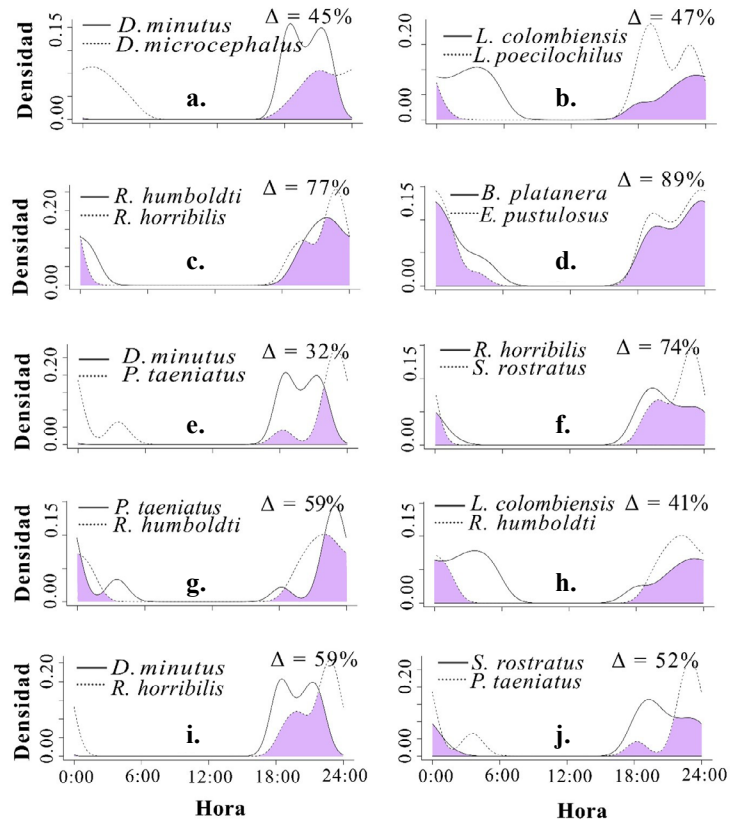


Figura 2. Solapamiento de actividad vocal de especies de anfibios asociados a lagunas artificiales de bosque seco en el nororiente de Colombia. Las gráficas aquí presentadas corresponden a las relaciones con mayor coeficiente de solapamiento entre especies. Comparación por congéneres (a - c); comparación de especies de diferentes géneros (d - j); comparación por similitud en la frecuencia dominante (d - h); comparación por diferencia en la frecuencia dominante (i - j)

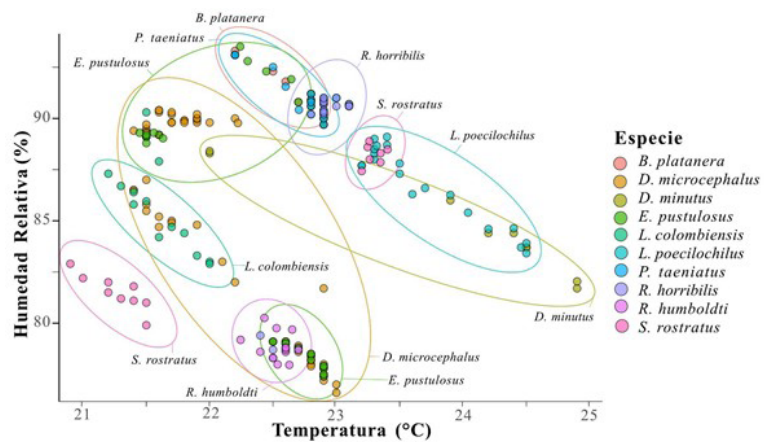


Figura 3. Gráfico descriptivo de dispersión y agrupación entre la temperatura ambiente y la humedad relativa en los periodos de mayor actividad vocal de las especies

Discusión

Este estudio constituye una evaluación formal de los patrones de actividad vocal de anuros asociados a lagunas artificiales en Colombia y aborda aspectos ecológicos claves como la preferencia horaria y el solapamiento temporal entre especies filogenéticamente cercanas y con frecuencias dominantes variables, así como posibles asociaciones con factores climáticos como la temperatura y la humedad ambiental (Martínez-Medina *et al.*, 2021; Rivera-Correa *et al.*, 2021).

Los patrones de actividad confirmaron hábitos predominantemente nocturnos (Figura 1a), lo que concuerda con lo reportado para la mayoría de anuros tropicales (Wells, 2007). Esta preferencia nocturna se interpreta como una estrategia adaptativa que reduce la desecación y favorece la reproducción, al coincidir con condiciones de mayor humedad relativa (Wells, 2007). Además, la concentración horaria de especies como *D. minutus* y *R. horribilis* coincide con lo descrito previamente para especies con ventanas temporales estrechas de vocalización reproductiva, pues así se minimiza la interferencia acústica y se maximiza la eficiencia energética (Turriago *et al.*, 2023; Bovolon & Toledo, 2024; Arrieta-García *et al.*, 2025). En contraste, las especies con actividad extendida, como *B. platanera* y *E. pustulosus*, reflejan mayor plasticidad ecoacústica, probablemente relacionada con su capacidad para aprovechar distintos nichos temporales y microclimáticos. Esta flexibilidad podría otorgar ventajas frente a especies de actividad más restringida, como *L. poecilochilus* o *D. minutus*, que estarían limitadas por factores fisiológicos o ecológicos (Straughan *et al.*, 1976; Ryan, 1993; Wells, 2007; Sierra-Ramírez *et al.*, 2022; Arrieta-García *et al.*, 2025).

En cuanto al solapamiento temporal, los resultados apoyan parcialmente la predicción de que especies estrechamente relacionadas (del mismo género) mostrarían baja coincidencia horaria. Lo anterior se evidenció en las especies de los géneros *Dendropsophus* (*D. minutus*–*D. microcephalus*), *Leptodactylus* (*L. colombiensis*–*L. poecilochilus*) y *Rhinella* (*R. horribilis*–*R. humboldti* como excepción), cuyos bajos valores de Δ sugieren una partición temporal del espacio acústico que reduce la competencia durante la vocalización, favorece el aislamiento reproductivo y respalda la Hipótesis de Nicho Acústico (HNA) (Krause, 1993; Vasconcelos & Rossa-Feres, 2008; de Lira *et al.*, 2020). Además, la segregación horaria evidenciada en especies de géneros distintos como *Dendropsophus*, *Pristimantis* y *Scinax* respondería a la búsqueda de la reducción de la competencia, la adaptación acústica y el favorecimiento de la coexistencia (Villanueva-Rivera *et al.*, 2014; Goutte *et al.*, 2018; Braga *et al.*, 2023). Sin embargo, el alto solapamiento registrado en *Rhinella*, como una excepción clara, evidencia que algunos grupos pueden tolerar mayor coincidencia temporal, posiblemente porque se segregan en otros ejes como la frecuencia, el ritmo, el microhábitat de vocalización, las características fenotípicas, el enmascaramiento y la inercia filogenética acumulada propia de los linajes (Revell *et al.*, 2008; Yasumiba *et al.*, 2015).

El análisis por frecuencias dominantes sugiere que este rasgo actúa como un eje complementario en la partición acústica, tal como predijimos. El bajo solapamiento entre *D. minutus* y *P. taeniatus* respalda la Hipótesis de Nicho Acústico (HNA), al mostrar cómo la segregación temporal compensa la similitud espectral (Boquimpani-Freitas *et al.*, 2007). Por su parte, los solapamientos intermedios, como los de *L. colombiensis* y *R. humboldti*, reflejan una coexistencia mediada por diferencias en ritmo o estructura espectral (Yasumiba *et al.*, 2015; Braga *et al.*, 2023). Los valores significativamente diferentes de Δ en pares como *D. minutus*–*R. horribilis* o *S. rostratus*–*P. taeniatus*, con diferencias espectrales marcadas, plantean la presencia de factores adicionales como el microhábitat, la competencia, las características acústicas fenotípicas del ensamblaje que, junto a la frecuencia dominante, condicionan su solapamiento (Carvajal-Castro & Vargas-Salinas, 2016).

En cuanto a las variables climáticas, todas las especies presentaron actividad asociada a umbrales mínimos de $T_a > 20$ °C y $HR > 75$ %, lo que confirma la tercera predicción planteada. No obstante, se observaron dos estrategias contrastantes: especies de rango

amplio (ej. *D. microcephalus*, *E. pustulosus*), tolerantes a condiciones variables, y especies especialistas (ej. *B. platanera*, *R. humboldti*), restringidas a intervalos estrechos de temperatura y humedad (Navas, 1996; Oseen & Wassersug, 2002; Oyamaguchi *et al.*, 2018; Hoffmann *et al.*, 2021). Estas diferencias reflejan la existencia de filtros ambientales que influyen en la estructura de las comunidades acústicas.

En estudios en los que se monitorea la actividad de forma pasiva, es posible que queden incluidos coros audibles de especies de cuerpos de agua cercanos y una posible conectividad espacial (Sugai *et al.*, 2021). Sin embargo, más allá de las dinámicas interespecíficas, los resultados resaltan la importancia de las lagunas artificiales como refugios dentro de un paisaje altamente transformado del BST. Estos cuerpos de agua sostienen comunidades diversas en un contexto de fragmentación marcada y, por lo tanto, tienen un valor potencial para la conservación de la biodiversidad local. Al comparar este con estudios recientes en otros paisajes de Colombia, como el de Mejía-Cepeda (2024) en el Cauca, se podría concluir que, aun en matrices transformadas, los sistemas acuáticos secundarios pueden mantener patrones de actividad y coexistencia comparables a los registrados en ambientes más conservados.

Nuestro estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse. El muestreo abarcó dos temporadas, lo cual restringe la evaluación de la variación interanual. Además, las grabaciones se realizaron en un único punto por laguna, lo que podría subestimar la heterogeneidad espacial en la actividad vocal. No obstante, los resultados aportan evidencia sólida de que la estructuración acústica en ambientes artificiales responde a un balance entre mecanismos de segregación temporal, separación espectral y tolerancia microclimática, en concordancia con la Hipótesis de Nicho Acústico (HNA).

Conclusiones

Las especies que ocupan lagunas artificiales en fragmentos de bosque seco tropical presentan actividad vocal predominantemente nocturna. En dichas lagunas coexisten especies que exhiben patrones de actividad amplios y restringidos. La evidencia sugiere que en el ensamblaje de especies evaluado en el presente estudio se presenta una partición temporal del espacio acústico, donde el solapamiento es menor entre especies del mismo género y mayor en especies de géneros diferentes, lo que puede facilitar la coexistencia. También, la frecuencia dominante constituye un eje importante en la estructuración de la vocalización; sin embargo, aunque mostró una asociación importante con la estructura acústica, su efecto sobre la temporalidad de la actividad vocal no fue uniforme entre los pares de especies evaluados. No obstante, se reconoce que en ensamblajes ecológicamente complejos, aunque la partición temporal y espacial compense la similitud espectral en algunos escenarios, existen otros mecanismos no medidos en este estudio que seguramente median para la coexistencia de estas especies. Por otra parte, las variables climáticas, especialmente la temperatura y la humedad relativa, influyen significativamente en la actividad de varias especies, con excepción de aquellas que presentan mayor flexibilidad temporal.

Este estudio constituye el primer esfuerzo sistemático en Colombia de caracterización de la actividad vocal de anuros en ambientes artificiales del bosque seco tropical y aporta evidencia de que los patrones de actividad no solo reflejan estrategias de coexistencia, sino que, además, representan un insumo valioso para el diseño de programas de monitoreo acústico en ecosistemas fragmentados.

Perspectivas de investigación

Nuestro estudio plantea nuevas preguntas sobre la ecología acústica de anuros en sistemas artificiales. En futuros trabajos deberían compararse temporadas secas y lluviosas para evaluar la variación en la actividad vocal y el solapamiento temporal. Además, es indispensable considerar el planteamiento de hipótesis alternativas asociadas al microhábitat, la altura de percha, el patrón de modulación AM/FM, la altura de emisión, el nivel de presión sonora (SPL) calibrado y la medición de características fenotípicas que también interfieren en la acústica de las especies.

El establecimiento de monitoreos acústicos a largo plazo resultará esencial para detectar efectos del cambio climático y de la fragmentación del bosque seco tropical. También será necesario explorar con más detalle los mecanismos que permiten la coexistencia a través de estudios de microhábitat, plasticidad vocal y comportamiento reproductivo. Por último, las investigaciones comparativas en diferentes gradientes y niveles de perturbación podrán generar lineamientos aplicados para la conservación y restauración de lagunas artificiales como hábitats clave.

Información suplementaria

Ver la tabla suplementaria en: <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3279/5308> y las figuras suplementarias en: <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/3279/5309>

Agradecimientos

Agradecemos sinceramente el generoso apoyo de Conservation Leadership Programme en la financiación del Proyecto ID: 02823122. También agradecemos al programa de becas IDEAWILD, que proporcionó valiosos equipos de apoyo para la ejecución de esta investigación (Project ID: DIAZCOLO0324-00), y al proyecto Hermes 65050 de la Universidad Nacional de Colombia. Esta investigación no hubiese sido posible sin el valioso apoyo de la comunidad de la vereda California del municipio de Los Patios y de la Parcela Agropecuaria La Colina, quienes nos abrieron las puertas de sus hogares y nos dedicaron tiempo en sus días laboriosos.

Contribución de los autores

Todos los autores participaron en el planteamiento del objetivo del estudio. La recolección de datos estuvo a cargo de GD, DAG y AAA. GD, SGM, KJB y CQP hicieron la curaduría de los datos y los análisis formales. La selección metodológica, la escritura del primer borrador y la versión final del manuscrito fueron responsabilidad de GD y AAA. AAA se encargó de la supervisión, la adquisición de financiación y de los equipos usados en esta investigación.

Disponibilidad de los datos

La matriz de datos general con la cual se realizaron todos los análisis se encuentra disponible como material suplementario (en Excel). Las grabaciones se encuentran depositadas en la Colección de Anfibios del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, bajo los códigos ICN-ANF 62340- 62346.

Conflicto de intereses

Los autores no declaran ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Agostinelli, C. & Lund, C. (2017). R package circular: Circular Statistics. Department of Environmental Sciences, Informatics and Statistics, Foscari University. <https://cran.r-project.org/web/packages/circular/circular.pdf>
- Alonso, R., Rodríguez-Gómez, A., Estrada, A. R. (2001). Patrones de actividad acústica y trófica de machos cantores de *Eleutherodactylus eileenae* (Anura: Leptodactylidae). *Revista española de herpetología*, 15, 45-52. <https://herpetologica.es/revista-espanola-de-herpetologia-15-2001/>
- Angulo, A., Rueda-Almonacid, J. V., Rodríguez-Mahecha, J. V., La Marca, E. (Eds.). (2006). *Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina*. Conservación Internacional.
- Arrieta-García, D., Díaz, G., Ortiz, L. J., Acevedo, A. A. (2025). Acoustic ecology of anuran communities across Andean biomes: unveiling the soundscape of Northeastern Colombia. *Bioacoustics*, 34, 66-87. <https://doi.org/10.1080/09524622.2025.2461527>
- Bioacoustic Research Program. (2025). Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.6). Computer software, The Cornell Lab of Ornithology. <http://www.birds.cornell.edu/raven>

- Boquimpani-Freitas, L., Marra, R. V., Van Sluys, M., Rocha, C. F. D.** (2007). Temporal niche of acoustic activity in anurans: interspecific and seasonal variation in a neotropical assemblage from south-eastern Brazil. *Amphibia-Reptilia*, 28(2), 269-276. <https://doi.org/10.1163/156853807780202422>
- Bovolon, J. P. & Toledo, L. F.** (2024). *Dendropsophus minutus* repertoire complexity and its relationship with environmental traits. *Bioacoustics*, 33(4), 295-310. <https://doi.org/10.1080/09524622.2024.2350718>
- Braga, H. S., Vieira, M. V., Silva, T. A., Protázio, A. S., Protazio, A. S.** (2023). Acoustic partitioning explains the coexistence between two *Physalaemus* species (Anura, Leptodactylidae) in the Atlantic Forest in Eastern Bahia State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 95(1), e20211348. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320211348>
- Cañas, J. S., Toro-Gómez, M. P., Sugai, L. S. M., Benítez-Restrepo, H. D., Rudas, J., Posso-Bautista, B., Toledo, L. F., Dena, S., Domingos, A. H. R., de Souza, F. L., Neckel-Oliveira, S., da Rosa, A., Carvalho-Rocha, V., Bernardy, J. V., Sugai, J. L. M. M., dos Santos, C. E., Bastos, R. P., Llusia, D., Ulloa, J. S.** (2023). A dataset for benchmarking neotropical anuran calls identification in passive acoustic monitoring. *Scientific Data*, 10(1), 771. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02666-2>
- Carrillo-Fajardo, M., Rivera-Díaz, O., Sánchez-Montaña, R.** (2007). Caracterización florística y estructural del bosque seco tropical del Cerro Tasajero, San José de Cúcuta (Norte de Santander), Colombia. *Actualidades biológicas*, 29, 55-73. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329348>
- Carvajal-Castro, J. D. & Vargas-Salinas, F.** (2016). Stream noise, habitat filtering, and the phenotypic and phylogenetic structure of Neotropical anuran assemblages. *Evolutionary Ecology*, 30(3), 451-469. <https://doi.org/10.1007/s10682-016-9817-8>
- Charif, R. A., Waack, A. M., Strickman, L. M.** (2010). Raven Pro 1.4 User's Manual. Cornell Lab of Ornithology. <http://www.birds.cornell.edu/raven>
- Chhaya, V., Lahiri, S., Jagan, M. A., Mohan, R., Pathaw, N. A., Krishnan, A.** (2021). Community bioacoustics: Studying acoustic community structure for ecological and conservation insights. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 706445. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.706445>
- de Lira, A. B., Alquezar, R. D., Giozza, A. P., dos Santos Campos, E. R., Cardoso, A. G. T., Brandão, R. A.** (2020). Acoustic space partition by four Hylidae in an open habitat in Central Brazil. *Heringeriana*, 14(2), 65-80. <https://doi.org/10.17648/heringeriana.v14i2.917916>
- Duarte, M. H., Caliari, E. P., Viana, Y. P., Nascimento, L. B.** (2019). A natural orchestra: How are anuran choruses formed in artificial ponds in southeast Brazil? *Amphibia-Reptilia*, 40(3), 373-382. <https://doi.org/10.1163/15685381-20191146>
- Gerhardt, H. C. & Huber, F.** (2002). *Acoustic communication in insects and anurans: Common problems and diverse solutions*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3032.2002.00308.x>
- Gingras, B., Böckle, M., Herbst, C. T., Fitch, W. T.** (2013). Call acoustics reflect body size across four clades of anurans. *Journal of Zoology*, 289(2), 143-150.
- Goutte, S., Dubois, A., Howard, S. D., Márquez R., Rowley, J. J. L., Dehling, J. M., Grandcolas, P., Xiong, R. C., Legendre, F.** (2018). How the environment shapes animal signals: A test of the acoustic adaptation hypothesis in frogs. *Journal of Evolutionary Biology*, 31, 148-158. <https://doi.org/10.1111/jeb.13210>
- Hernández-Hernández, J. C., Chávez, C., List, R.** (2018). Diversidad y patrones de actividad de mamíferos medianos y grandes en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 634-646. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33395>
- Hoffmann, E. P., Cavanaugh, K. L., Mitchell, N. J.** (2021). Low desiccation and thermal tolerance constrains a terrestrial amphibian to a rare and disappearing microclimate niche. *Conservation Physiology*, 9(1), coab027. <https://doi.org/10.1093/conphys/coab027>
- Köhler, J., Jansen, M., Rodríguez, A., Kok, P. J. R., Toledo, L. F., Emmrich, M., Glaw, F., Haddad, C. F. B., Rödel, M. O., Vences, M.** (2017). The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa*, 4251(1), 1-124. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4251.1.1>
- Krause, B. L.** (1993). The niche hypothesis: A virtual symphony of animal sounds, the origins of musical expression and the health of habitats. *Soundscape Newsl*, 6, 6-10.
- Márquez, R., Llusia, D., Beltrán, J. F.** (2014). Aplicación de la bioacústica al seguimiento de anfibios. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española*, 25(4), 52-58. <http://hdl.handle.net/10261/132973>

- Martínez-Medina, D., Acevedo-Charry, O., Medellín-Becerra, S., Rodríguez-Fuentes, J., López-Casas, S., Muñoz-Duque, S., Rivera-Correa, M., López-Aguirre, Y., Vargas-Salinas, F., Laverde-R., O., Rodríguez-Posada, M. E.** (2021). Estado, desarrollo y tendencias de los estudios en acústica de la fauna en Colombia. *Biota colombiana*, 22(1), 7-25. <https://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a01>
- McGill, R., Tukey, J. W., Larsen, W. A.** (1978). Variations of box plots. *The American statistician*, 32, 12–16. <https://doi.org/10.2307/2683468>
- Mejía-Cepeda, N., Murillo-García, Ó., Bolívar-García, W.** (2024). Acústica de un ensamblaje de anuros del valle geográfico del río Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 72(1). <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v72i1.55782>
- Narins, P. M., Feng, A. S., Fay, R. R., Popper, A. N.** (Eds.). (2006). *Hearing and sound communication in amphibians*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-47796-1>
- Navas, C. A.** (1996). Implications of microhabitat selection and patterns of activity on the thermal ecology of high elevation neotropical anurans. *Oecologia*, 108, 617-626. <https://doi.org/10.1007/BF00329034>
- OcenAudio Team.** (2025). Ocenaudio – easy, fast and powerful audio editor. Ocen Framework. <https://www.ocenaudio.com/whatis>
- Oseen, K. L. & Wassersug, R. J.** (2002). Environmental factors influencing calling in sympatric anurans. *Oecologia*, 133, 616-625. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1067-5>
- Oyamaguchi, H. M., Vo, P., Grewal, K., Do, R., Erwin, E., Jeong, N., Tse, K., Chen, C., Miyake, C., Lin, A., Gridi-Papp, M.** (2018). Thermal sensitivity of a Neotropical amphibian (*Engystomops pustulosus*) and its vulnerability to climate change. *Biotropica*, 50(2), 326-337. <https://doi.org/10.1111/btp.12519>
- Revell, L. J., Harmon, L. J., Collar, D. C.** (2008). Phylogenetic signal, evolutionary process, and rate. *Systematic biology*, 57(4), 591-601. <https://doi.org/10.1080/10635150802302427>
- Ridout, M. S. & Linkie, M.** (2009). Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 14, 322-337. <https://doi.org/10.1198/jabes.2009.08038>
- Rivera-Correa, M., Ospina-L, A. M., Rojas-Montoya, M., Venegas-Valencia, K., Rueda-Solano, L. A., Gutiérrez-Cárdenas, P. D. A., Vargas-Salinas, F.** (2021). Cantos de las ranas y los sapos de Colombia: estado actual del conocimiento y perspectivas de investigación en ecoacústica. *Neotropical biodiversity*, 7(1), 350-363. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1957651>
- Rojas-Morales, J. A., La Marca, E., Ramírez-Chaves, H. E.** (2021). Advertisement call of a population of the nurse frog *Leucostethus fraterdanieli* (Anura: Dendrobatidae), with notes on its natural history. *Biota colombiana*, 22(1), 122-132. <http://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a08>
- RStudio Team.** (2024). RStudio: Integrated Development Environment for R (Versión 2024.09.0). Posit PBC. <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>
- Ryan, M. J.** (1983). Sexual selection and communication in a Neotropical frog, *Physalaemus pustulosus*. *Evolution*, 37(2), 261-272. <https://doi.org/10.2307/2408335>
- Ryan, M. J. & Rand, A. S.** (2003). Sexual selection in female perceptual space: How female túngara frogs perceive and respond to complex mating calls. *Evolution*, 57(11), 2608–2618. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2003.tb01504.x>
- Saldaña, I., Cadavid, A., Gómez, D.** (2019). Abundancia relativa y patrones de actividad de *Didelphis marsupialis* en un área periurbana de Medellín, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 24(3), 7366-7371. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1352>
- Sánchez-Porras, R., Brenes-Cambronero, L., Chavarría-Esquivel, K., Mejías-Vásquez, Y.** (2021). Abundancia relativa, diversidad y patrones de actividad de mamíferos terrestres medianos y grandes, sendero Pájaro Sombrilla, Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, Alajuela, Costa Rica. *Pensamiento Actual*, 21(36). <https://doi.org/10.15517/pa.v21i36.47014>
- Santana, O. F.** (1991). El análisis de cluster: aplicación, interpretación y validación. *Papers: revista de sociología*, 37, 65-76. <https://doi.org/10.5565/rev/papers/v37n0.1596>
- Seefeld, K. & Linder, E.** (2007). *Statistics using R with biological examples*. Durham: University of New Hampshire.
- Sierra-Ramírez, N. & Péfaur, J.** (2022). Uso del Hábitat y Estructura Estacional de una Comunidad de Anuros de los Andes Venezolanos. *Acta Biologica Venezuelica*, 42(2), 131-148.

- Straughan, I. R. & Heyer, W. R.** (1976). A functional analysis of the mating calls of the Neotropical frog genera of the *Leptodactylus complex* (Amphibia, Leptodactylidae). *Papéis Avulsos de Zoologia*, 29(23) 221–245. <http://hdl.handle.net/10088/4580>
- Suárez, F., Bonilla, S., Martínez, E., Galindo-T, R., Sánchez, L. R.** (2004). Aporte al manejo de los bosques secos del área metropolitana de Cúcuta. Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (Corponor). Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, San José de Cúcuta, Colombia. https://corponor.gov.co/areasnaturalesestrategicas/descargas/bst_Aporte_al_Manejo_de_los_Bosques_Secos_del_AM_Cucuta_2004.pdf
- Sugai, L. S., Silva, T. S., Llusia, D., Siqueira, T.** (2021). Drivers of assemblage-wide calling activity in tropical anurans and the role of temporal resolution. *Journal of Animal Ecology*, 90(3), 673-684. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13399>
- Tapia, C. E. F. & Cevallos, K. L. F.** (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. *Societas*, 23(2), 83-106. <https://www.revistas.up.ac.pa/index.php/societas/article/view/2302>
- Turriago, J. L., Tejado, M., Hoyos, J. M., Camacho, A., Bernal, M. H.** (2023). The time course of acclimation of critical thermal maxima is modulated by the magnitude of temperature change and thermal daily fluctuations. *Journal of Thermal Biology*, 114, 103545. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103545>
- Valetti, J. A., Salas, N. E., Martino, A. L.** (2013). Bioacoustic of the advertisement call of *Ceratophrys cranwelli* (Anura: Ceratophryidae). *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 273-280. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442013000100022&script=sci_abstract
- Vasconcelos, T. da S., Rossa-Feres, D. de C.** (2008). Habitat heterogeneity and use of physical and acoustic space in anuran communities in Southeastern Brazil. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, 7(2), 127-142. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v7i2p127-142>
- Villanueva-Rivera, L. J.** (2014). *Eleutherodactylus* frogs show frequency but no temporal partitioning: implications for the acoustic niche hypothesis. *PeerJ*, 2, e496. <https://doi.org/10.7717/peerj.496>
- Wells, K.** (2007). *The Ecology and Behavior of Amphibians*. Chicago: University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/9780226893334>
- Wickham, H.** (2011). ggplot2. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, 3(2), 180-85.
- Yasumiba, K., Alford, R. A., Schwarzkopf, L.** (2015). Why do male and female cane toads, *Rhinella marina*, respond differently to advertisement calls? *Animal Behaviour*, 109, 141-147. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2015.08.015>