



Biota colombiana

ISSN: 0124-5376

ISSN: 2539-200X

Instituto Alexander von Humboldt

Martínez-Medina, Daniela; Acevedo-Charry, Orlando; Medellín-Becerra, Sofía; Rodríguez-Fuentes, Juliana; López-Casas, Silvia; Muñoz-Duque, Sebastián; Rivera-Correa, Mauricio; López-Aguirre, Yelenny; Vargas-Salinas, Fernando; Laverde-R., Oscar; Rodríguez-Posada, Miguel E.
Estado, desarrollo y tendencias de los estudios en acústica de la fauna en Colombia
Biota colombiana, vol. 22, núm. 1, 2021, Enero-Junio, pp. 7-25
Instituto Alexander von Humboldt

DOI: <https://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a01>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49165761003>























- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Estado, desarrollo y tendencias de los estudios en acústica de la fauna en Colombia

Status, development and trends of studies in fauna acoustics in Colombia

Daniela Martínez-Medina  , Orlando Acevedo-Charry  , Sofía Medellín-Becerra  ,
Juliana Rodríguez-Fuentes  , Silvia López-Casas  , Sebastián Muñoz-Duque  , Mauricio
Rivera-Correa  , Yelenny López-Aguirre  , Fernando Vargas-Salinas  ,
Oscar Laverde-R.  , Miguel E. Rodríguez-Posada  

Resumen

Las señales acústicas son una de las formas de comunicación más importante en la fauna, incluso en la ubicación espacial de los individuos y sus presas. El estudio de las señales acústicas fortalece los campos de investigación en ecología, comportamiento, identificación taxonómica, uso de hábitat e incluso el efecto de las actividades humanas sobre diferentes especies animales. Además, es una herramienta para la cuantificación y monitoreo de la biodiversidad. En este trabajo presentamos un análisis de los estudios basados en bioacústica que se han desarrollado en Colombia, con el fin de establecer una línea base e identificar vacíos en el conocimiento, sus fortalezas y debilidades, para discutir los retos futuros para el desarrollo de la investigación sobre bioacústica en el país. Nuestra búsqueda de información se concentró en publicaciones de tipo científico, trabajos de grado y presentaciones en conferencias, a partir de plataformas de datos electrónicos, usando diferentes palabras claves. En total obtuvimos 321 trabajos, en los que los grupos taxonómicos más estudiados fueron las aves (36.4%) y los anfibios (35%). La mayoría de los trabajos se concentran en la región Andina (63%). La bioacústica es un campo con un creciente interés y, por ende, resulta necesario el trabajo colaborativo y multidisciplinario, la consolidación en las metodologías y el fortalecimiento y enriquecimiento de las colecciones de sonidos del país.

Palabras clave. Bioacústica. Comunicación. Ecoacústica. Sonido. Vocalización.

Abstract

Acoustic signals are one of the most important ways of communication for fauna. The study of acoustic signals constitutes a valuable tool to obtain information on ecology, behavior, taxonomic identification, and the effect of human activities in natural environments and different animal species. Furthermore, it offers the possibility of quantifying and monitoring biodiversity in different Colombian ecosystems. In this work, we present an analysis of the research on bioacoustics that have been developed in Colombia, to establish a baseline, identify gaps in knowledge, strengths, weaknesses and discuss future challenges for bioacoustics research in Colombia. We searched information on scientific publications, degree papers, and electronic database conference presentations, using different keywords. We obtained 321 results; studies using acoustic tools are much more common in birds (36.4%) and amphibians (35%) than in any other taxonomic group, and there is a bias towards studying bioacoustics in the Andean region. However, this is a field with growing interest, and, therefore, there is a need for collaborative and multidisciplinary work, a consensus on methodologies, along with the strengthening and enrichment of the country's sound collections.

Key words. Bioacoustics. Communication. Ecoacoustics. Sound. Vocalization.

Introducción

Las señales acústicas han evolucionado en diversos grupos de animales, en los que cumplen diferentes funciones, como defender el territorio, alertar sobre la presencia de depredadores, mantener la cohesión de los grupos mixtos, atraer la atención de una posible pareja, e incluso localizar a los individuos y detectar a las presas (Bradbury & Veherencamp, 2011). La bioacústica es una disciplina que estudia la emisión de sonido por parte de los organismos, su difusión a través de un medio elástico y, finalmente, su recepción y los eventuales cambios en el comportamiento del receptor, dada la información contenida. En general, las señales acústicas emitidas por animales dan información sobre su presencia en un lugar y tiempo determinado (Sousa-Lima *et al.*, 2013), lo que permite que los monitoreos acústicos puedan ser una herramienta útil para estudiar la biodiversidad en diferentes escalas y a través del tiempo (Pijanowski *et al.*, 2011; Aide *et al.*, 2013; Deichmann *et al.*, 2018).

Los monitoreos acústicos permiten responder a una gran variedad de preguntas ecológicas, ya que se puede tomar una gran cantidad de datos. Esto permite entender las respuestas de las especies ante la degradación de los hábitats, y de esta manera se pueden implementar medidas de manejo o conservación (Sethi *et al.*, 2020). Recientemente, este campo ha tenido un crecimiento constante, debido al avance en las tecnologías de grabación de audio y la capacidad de análisis de las señales acústicas. En Colombia hay un creciente interés por el uso de la acústica para responder preguntas relacionadas con la taxonomía, sistemática, ecología, evolución y conservación. No obstante, el conocimiento sobre las interacciones acústicas de las especies en los ecosistemas colombianos está en una etapa temprana de desarrollo. En este trabajo, presentamos un diagnóstico general sobre el estado de la investigación de estudios en acústica en Colombia, con el fin de analizar sus aplicaciones actuales y potenciales en el conocimiento y monitoreo de la biodiversidad.

Materiales y métodos.

Revisamos información publicada sobre estudios de bioacústica para seis grupos taxonómicos: insectos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Esta recopilación estuvo centrada en investigaciones que responden preguntas relacionadas con el estudio de acústica y publicaciones que usan herramientas acústicas para

responder preguntas ecológicas, comportamentales, evolutivas, entre otras. Para ello, realizamos una búsqueda Booleana de literatura primaria (artículos), secundaria (libros y capítulos de libros), literatura primaria en proceso de revisión, pero disponible en repositorios abiertos (Preprint) y literatura gris (trabajos de grado y conferencias) que fueran citados en Google Scholar y ResearchGate desde 1990 hasta junio del 2020. Realizamos la búsqueda usando las siguientes palabras clave para todos los grupos: “Bioacústica”, “sonido”, “Colombia” y palabras específicas para cada grupo (Tabla 1), usando la conjunción “AND”. Realizamos la búsqueda en inglés y en español, excluyendo fuentes como informes técnicos y páginas web. Para nuestro análisis, construimos matrices de frecuencia con el fin de ver la tendencia temporal, la región del país en el que se desarrolló el trabajo, el tipo de literatura y la tendencia temática para cada uno de los seis grupos mencionados. Para esto último, seleccionamos en total 12 temáticas (Tabla 1) y catalogamos cada una de las publicaciones de acuerdo a las temáticas tratadas.

Resultados

Nuestra revisión arrojó 321 publicaciones. Los grupos taxonómicos con mayor número de estudios en Colombia fueron aves (36.6%) y anfibios (35%), seguidos de mamíferos (17%), insectos (10%), reptiles (1%) y peces (0.6%). En cuanto a la tendencia temporal, antes del año 2000 las publicaciones son relativamente escasas, y a partir del año 2010 se evidencia un notable incremento en el número de publicaciones en casi todos los grupos (Figura 1). El porcentaje de literatura gris es alto en comparación con la literatura primaria en varios grupos (ej. aves, anfibios y mamíferos, Figura 2); la temática más publicada es el uso de acústica para contribuir a la descripción y delimitación de nuevas especies (Figura 2). Además, la región Andina, con el 63%, presentó un mayor número de publicaciones.

Insectos. La investigación en acústica de insectos en Colombia es muy limitada. Encontramos 31 resultados, de los cuales 28 son artículos publicados y tres son tesis universitarias (Figura 2A). De esas tesis, dos son de pregrado y una es de doctorado. De los 31 trabajos, 25 están enfocados en el orden Orthoptera, tres Diptera, uno en Homoptera y uno en el orden Coleoptera. Estas publicaciones tratan temas de descripción de caracteres acústicos y descripción de especies usando caracteres de las señales acústicas y biomecánicas (Figura 2B). La mayoría de los trabajos publicados sobre el orden

Tabla 1. Palabras clave utilizadas en la búsqueda de publicaciones sobre bioacústica, por grupo taxonómico. En la parte inferior se enumeran las temáticas encontradas.

Table 1. Keywords used in the search for publications on bioacoustics, by taxonomic group. The topics are listed below.

Grupo	Palabras Clave
Insectos	Acústica, comunicación acústica, insectos, Orthoptera, Diptera, Hemiptera, Coleoptera
Peces	Peces, peces agua dulce, peces marinos, sonidos peces, monitoreo acústico pasivo, peces soníferos
Anfibios	Acústica, vocalizaciones, cantos de anuncio, llamados de advertencia, comunicación de anuros
Reptiles	Acústica, vocalizaciones, cloqueo, sonajero, traqueteo, bramido, pujido, chirridos
Aves	Vocalizaciones, aves, acústica, cantos
Mamíferos	Acústica, vocalizaciones, mamíferos, señales acústicas, ecolocalización, Didelphimorphia, Primates, Cetácea, Carnívora, Chiroptera, Artiodactyla, Perissodactyla, Sirenia y Rodentia

Temáticas:

- 1. Descripción/delimitación:** Descripción acústica de especies o delimitación taxonómica de especies.
- 2. Paisaje sonoro:** Suma de todos los sonidos de un lugar en un momento en particular.
- 3. Trabajos de revisión:** Trabajos de revisión en bioacústica.
- 4. Inventarios:** Acústica como herramienta para inventarios de especies.
- 5. Ecología:** Estudios en ecología con uso de herramientas acústicas.
- 6. Conservación:** Estudios en conservación con uso de herramientas acústicas.
- 7. Comportamiento:** Estudios en comportamiento con descripciones acústicas o uso de herramientas acústicas.
- 8. Evolución:** Estudios evolutivos en acústica.
- 9. Divulgación:** Obras de divulgación de sonidos.
- 10. Biomecánica:** Anatomía y producción sonora.
- 11. Control plagas/vectores:** Manejo de vectores o control de plagas a través de herramientas acústicas.
- 12. Informática:** Desarrollos informáticos para bioacústica y ecoacústica.

Orthoptera tienen tasas de muestreo por encima de los 100 kHz, debido a que algunas de las familias de este orden se comunican en frecuencias ultrasónicas. Desde 2015 hasta 2020 ha aumentado el número de publicaciones en bioacústica de insectos para Colombia (Figura 1). Las temáticas de los artículos fueron, en su mayoría, biomecánica de las alas de ortópteros, ya que las especies de este grupo producen sonidos mediante estridulación. La segunda temática corresponde a descripciones de caracteres acústicos, tanto para describir una especie nueva como para el estudio de su comportamiento, estudios de ecología, biogeografía y el uso de índices de diversidad acústica (Figura 2A). La región Pacífico presentó el mayor número de trabajos, principalmente en el Parque Nacional Natural Gorgona (Cauca) y en el departamento del Valle del Cauca.

Peces. Los resultados de nuestra búsqueda arrojaron dos publicaciones. De los trabajos encontrados, el primero, corresponde a un trabajo de grado (Muñoz-Duque, 2019), en el que se caracterizan los sonidos emitidos por *Prochilodus magdalenae* en los departamentos de Antioquia, Córdoba y Santander, y *Megaleporinus muyscorum* en el departamento de Antioquia.

El segundo trabajo corresponde a un artículo publicado (Ospina-L. *et al.*, 2020), en el cual los autores revisaron y compilaron los registros acústicos de aves, anuros, mamíferos y peces disponibles para el departamento de Santander. Los registros de las dos especies de peces incluidas, corresponden a emisiones de descargas de los órganos eléctricos de peces del orden Gymnotiformes.

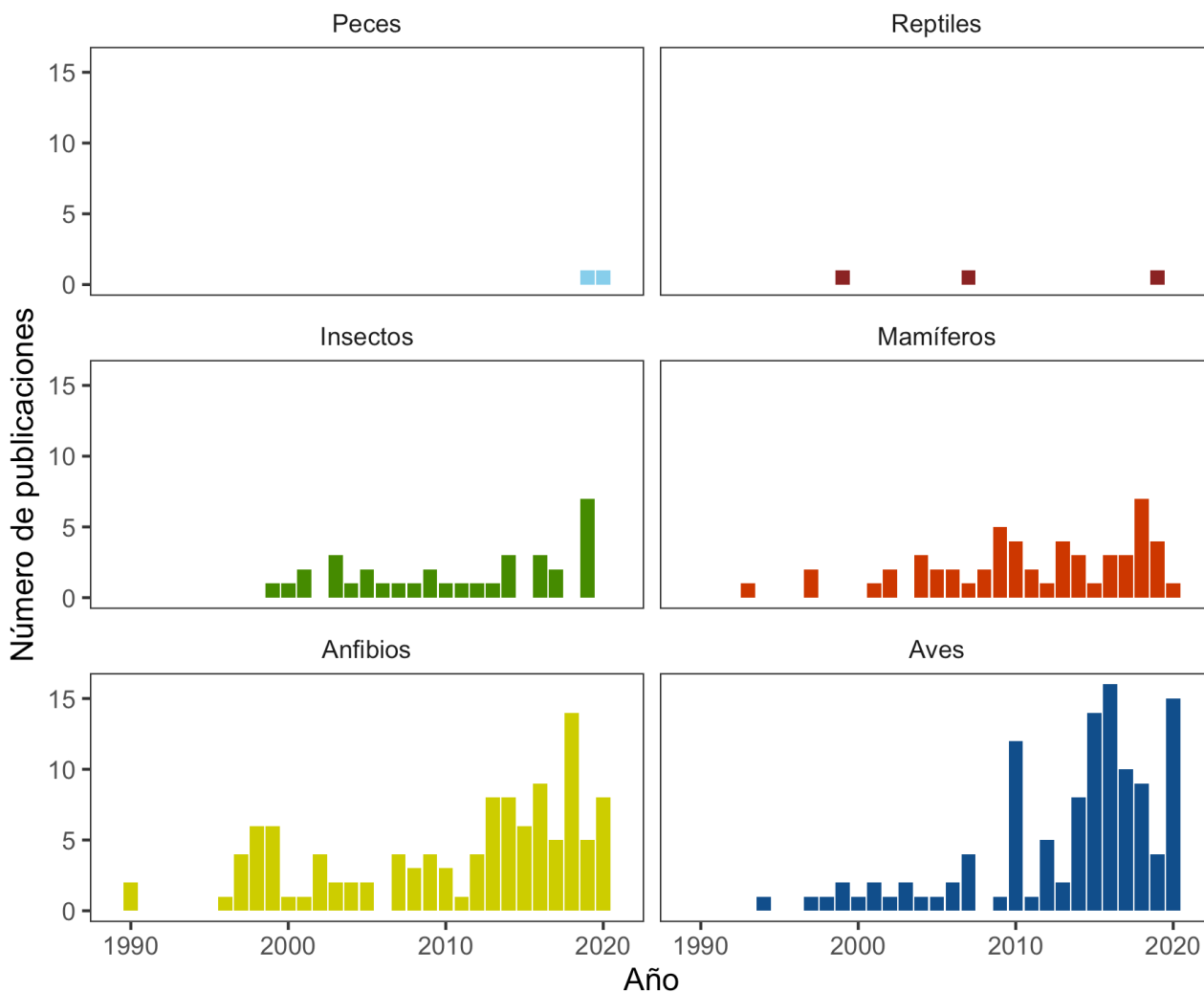


Figura 1. Número de estudios de bioacústica en Colombia, por grupo taxonómico, publicados entre 1990 y 2020.

Figure 1. Number of studies in bioacoustics in Colombia, by taxonomic group, published between 1990 and 2020.

Anfibios. A pesar del gran número de especies de anfibios anuros en Colombia, el número de publicaciones en bioacústica es comparativamente bajo, abarcando diferentes aplicaciones en sistemática, taxonomía, ecología, historia natural y monitoreo de poblaciones, entre otros temas (Rivera-Correa *et al.*, en prensa). Encontramos 72 publicaciones y 41 trabajos de grado, desde 1990 a la fecha (Figura 1), que contemplaron el análisis del canto de anuncio en 77 especies (lo que representa el 9.7% de la diversidad de anuros en el país). Estas publicaciones están concentradas en ocho de las 14 familias taxonómicas que se encuentran en Colombia: Aromobatidae, Bufonidae, Centrolenidae, Craugastoridae, Dendrobatidae,

Eleutherodactylidae, Hylidae y Leptodactylidae, y en su gran mayoría, los estudios fueron hechos en la región Andina (68%).

Reptiles. En Colombia, los estudios acerca de la producción de señales acústicas en reptiles son muy escasos. En nuestra búsqueda encontramos cuatro resultados para cinco especies, todos describiendo aspectos generales, por ejemplo, aspectos sobre ecología reproductiva que no son necesariamente estudios enfocados en la descripción del uso de señales acústicas *per se*. De estas investigaciones, dos corresponden a artículos científicos, en los que las especies de estudio fueron

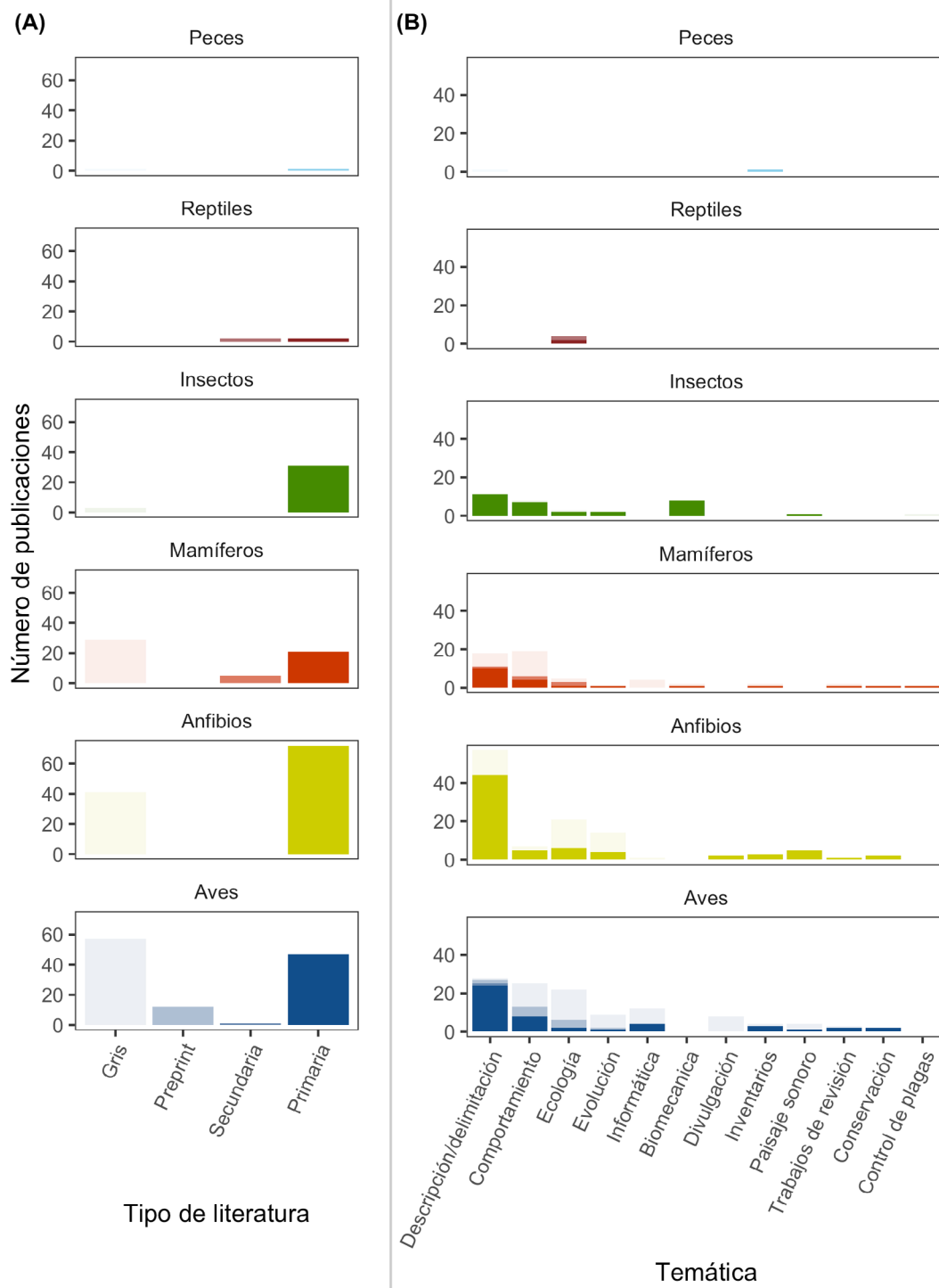


Figura 2. Número de estudios en acústica de fauna en Colombia, segregados por tipo de literatura y temáticas: A, tipo de literatura encontrada para cada grupo; B, temas abordados con mayor frecuencia en estudios acústicos en Colombia.

Figure 2. Number of studies on acoustics of Colombian fauna, arranged by type of literature and topics. A, type of studies from primary literature (articles) to gray literature (thesis); B, topics most frequently addressed in acoustic studies in Colombia.

el cocodrilo *Crocodylus intermedius* (Ardila-Robayo *et al.*, 1999) y las tortugas *Chelonoidis carbonarius* y *C. denticulatus* (Auffenberg, 1965), en las regiones de la Orinoquia, Caribe y Amazonia respectivamente. Si bien este último estudio fue publicado antes de 1990, previo al rango de tiempo en que nuestra búsqueda hizo énfasis, lo incluimos aquí por ser la única publicación que se conoce para individuos de dichas especies en Colombia. La señal acústica reportada para la tortuga *Kinosternon scorpioides* corresponde a observaciones personales hechas por M.A. Bedoya-Cañón, citada en un capítulo de libro sobre aspectos generales de anfibios y reptiles en bosque seco tropical del norte de Colombia (Vargas-Salinas *et al.*, 2019). Finalmente, Rueda-Almonacid *et al.* (2007), describen para *Mesoclemmys dahl*i aspectos generales de su historia natural, incluyendo algunas señales acústicas.

Aves. Encontramos 117 trabajos, de los cuales 49 fueron tesis universitarias, entre pregrado (21), maestría (2) o doctorado (2), y 24 de estas han sido presentadas en congresos (24). Entre 2000-2010, fueron publicadas algunas guías sonoras que abrieron el camino hacia una gran diversidad de enfoques entre 2010-2020. Esa década fue la de mayor producción académica para el grupo, incluyendo trabajos principalmente en taxonomía, usando los caracteres acústicos para la delimitación de especies (Figura 2). Otros trabajos han usado el conocimiento de las vocalizaciones de las aves como herramienta para estudiar comportamiento y ecología, o en inventarios biológicos. Recientemente, algunos trabajos han intentado entender las variaciones del canto en aves en ambientes con ruido antrópico, los parámetros que han generado la diversidad de señales acústicas durante la evolución de las aves o han buscado responder cómo las aves aportan a los paisajes sonoros colombianos. La mayoría de trabajos están concentrados en la región Andina (56%), y muy pocos trabajos en las otras regiones del país (Amazonia, 5%; Caribe, 1.7%; Orinoquia, 1.7%; Pacífico, 0.8%; Sierra Nevada de Santa Marta, 3.4%); al porcentaje restante no se le asignó región, porque no se especificaban las localidades o incluían muchas localidades.

Mamíferos. Encontramos un total de 54 publicaciones: 5 capítulos de libros, 16 artículos, 8 resúmenes de conferencias y 25 trabajos de grado entre 1993 y el 2020. El 70.4% de estas publicaciones fueron hechas en los últimos doce años (Figura 1). Encontramos trabajos sobre acústica para siete de los 14 órdenes de mamíferos que hay en Colombia, de los cuales el orden Primates tuvo el mayor número de publicaciones (22) seguido por Cetacea (14) y Chiroptera (11). Los estudios de bioacústica

en mamíferos del país cubren gran variedad de temas, con un mayor número de publicaciones que denominamos Descripción/delimitación de especies. La segunda temática más frecuente fueron los aspectos comportamentales, principalmente para el orden Primates. La mayoría de trabajos se concentraron principalmente en la región Andina (26%) seguido por trabajos realizados *ex situ* (22%).

Discusión

En general, la bioacústica en Colombia presenta un interés creciente, con un incremento en el número de contribuciones en los últimos diez años, relacionado con su potencial uso como una herramienta que permitirá cuantificar, identificar, monitorear y entender mejor dicha diversidad. La ecoacústica se ha identificado como una herramienta poderosa para estudiar los patrones de diversidad con métodos no invasivos, que además puede aplicarse para estimar el grado de intervención de un ecosistema, mediante el uso de índices de diversidad acústica (Grant, 2014; Riede, 1998; Deichmann, 2018). El incremento en los estudios puede estar relacionado con la mayor asequibilidad y avance en el desarrollo de los equipos y softwares.

Por otra parte, se hace necesario el trabajo colaborativo y multidisciplinario, independientemente de los grupos taxonómicos de interés. Esto permitirá construir un consenso en las metodologías, al mismo tiempo que se desarrollan o se prueban herramientas de procesamiento de audio de código abierto, y se llenan vacíos sobre la precisión, la transferibilidad y las limitaciones de muchos métodos analíticos (Greenhalgh *et al.*, 2020). A continuación, presentamos una discusión más detallada de los resultados para cada uno de los grupos.

Insectos. Colombia presenta una alta diversidad y endemismo de insectos, que se encuentran distribuidos tanto en ecosistemas dulceacuícolas como terrestres (Samways, 2005; Kattán *et al.*, 2004). Sin embargo, a pesar de esta diversidad, el conocimiento de la acústica de este grupo es muy limitado. De 28 órdenes de insectos (Amat-García & Fernández, 2011), al menos 10 presentan comunicación acústica (Sanborn, 2008). En Colombia sólo se ha estudiado la acústica de cuatro órdenes, aunque la mayoría de estos estudios se concentran sólo en el orden Orthoptera.

El escaso conocimiento sobre acústica de insectos que encontramos es comparable con la investigación general

sobre insectos, con un marcado vacío de información en los trópicos (Basset & Lamarre, 2019). La implementación de técnicas de bioacústica en futuros estudios puede contribuir a cerrar la brecha de conocimiento acerca de especies tropicales. Por ejemplo, el monitoreo acústico en conjunto con identificación automatizada ha sido evaluado en algunos grupos de insectos (Ganchev & Potamitis, 2007; Aide *et al.*, 2013), y parece ser una herramienta potencial para conservar e identificar los patrones de diversidad acústica en respuesta a la actividad humana (Riede, 1998; Grant, 2014). Además de su uso en conservación, también se pueden implementar futuros estudios de bioacústica para la identificación de especies crípticas (Araki *et al.*, 2009) y especies con importancia agrícola en el contexto local (Gutiérrez *et al.*, 2010), así como para ecosistemas dulceacuícolas, en los que se destacan por la producción de sonidos los coleópteros y hemípteros, pero también algunos odonatos y tricópteros (Desjonquères *et al.*, 2020).

Una aplicación de este tipo de estudios en Colombia se relaciona con las enfermedades transmitidas por vectores, uno de los problemas más importantes en salud pública (Jaimes-Dueñez *et al.*, 2017). Estudios previos han reportado que el sonido tiene un rol importante en el comportamiento de cortejo de insectos hematófagos, como los mosquitos, moscas de arena, triatominos y moscas tsetse (Li *et al.*, 2012; Vigoder *et al.*, 2013). Los caracteres de las señales acústicas son importantes en el aislamiento de especies y en el flujo genético (Araki *et al.*, 2009; de Souza *et al.*, 2004), por lo cual el estudio de los mecanismos de comunicación acústica de los insectos vectores de enfermedades en los órdenes Diptera y Hemiptera puede ser de gran utilidad para control biológico (Vigoder *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2012). Hasta el momento, en Colombia no se han realizado estudios sobre bioacústica de insectos en ecosistemas dulceacuícolas, y este tipo de investigaciones pueden ser de gran importancia para evaluar el estado de conservación de cuerpos de agua dulce (Greenhalgh *et al.*, 2020). Abordar este tipo de estudios es muy relevante, ya que los insectos aportan significativamente con sus señales al paisaje sonoro tropical (Aide *et al.*, 2017).

Peces. A escala global, se han reportado más de 700 especies de peces que producen sonidos (Kaatz & Stewart, 2012), de los cuales al menos 80 son peces de agua dulce (Greenhalgh *et al.*, 2020). Sin embargo, este número es probablemente mayor, y se estima que un tercio del total de las especies de peces (34 300 especies www.fishbase.org) tienen la capacidad de emitir algún tipo de señal acústica (Ladich & Bass, 2011).

Generalmente, los sonidos producidos por peces son específicos de cada especie y están asociados con comportamientos y contextos particulares (Amorim *et al.*, 2015), por lo que pueden usarse como una etiqueta acústica natural para detectar, localizar y monitorear la presencia de distintas especies (Luczkovich *et al.*, 2008; Širović *et al.*, 2009; Picciulin *et al.*, 2013).

En Colombia se conocen aproximadamente 4200 especies de peces, cifra cercana al 12% de la riqueza de peces mundial; alrededor de 2600 especies de la ictiofauna colombiana pueden ser consideradas marinas o, al menos, habitantes de los ecosistemas resultantes de la mezcla de las aguas dulces y saladas (Acero & Polanco, 2017). Así mismo, Colombia es uno de los países más diversos del mundo en cuanto a fauna acuática continental o dulceacuícola se refiere (Lasso *et al.*, 2017) ocupando el segundo lugar a nivel mundial, con 1572 especies, de las cuales el 25% (392) son endémicas y el 4,8% se encuentra bajo alguna categoría de amenaza (DoNascimento *et al.*, 2019). Considerando lo anterior, el potencial de estudios de ecoacústica aplicada a la fauna íctica del país es inmenso.

Desde hace años el conocimiento tradicional de los pescadores artesanales en Colombia ha reconocido la existencia de peces soníferos en las cuencas más importantes de nuestro país, tales como el Magdalena, Atrato, Sinú, Amazonia y Orinoquia (TNC, datos no publicados), e incluso existen algunas menciones en la literatura científica sobre la producción de sonidos en ejemplares macho de *Prochilodus magdalenae*, como un indicativo de la madurez gonadal y el acercamiento de la época del desove (Dahl *et al.*, 1963), y a comportamientos asociados a la reproducción de varias especies del género *Prochilodus* (Flórez, 1985). Más recientemente, se reportó la producción de sonidos (ronquidos) en *Prochilodus reticulatus* como un criterio de madurez de machos con fines de reproducción en cautiverio (Quintero-García, 2016) y a la producción de sonidos en especies marinas de la familia Sciaenidae (Tavera, 2002; Von & Grajales, 2007; de la Rosa, 2018). No obstante, sólo encontramos un trabajo sobre bioacústica en peces de Colombia (Muñoz-Duque, 2019), así como la posibilidad de usar herramientas de medición acústica para el estudio de peces de manera alternativa a través de la grabación de sus señales eléctricas (Ospina-L *et al.*, 2020).

La falta de desarrollo en este campo puede deberse al elevado costo de los hidrófonos para la toma de datos y a la falta de reconocimiento de las posibles aplicaciones de este tipo de estudios en el país. Sin embargo, el

costo de las grabadoras de sonidos e hidrófonos ha disminuido sustancialmente en años recientes y, además, la tecnología necesaria para almacenar y analizar datos acústicos está mejorando continuamente (Deichmann *et al.*, 2018). A pesar de esto, el alcance de aplicación del monitoreo acústico pasivo (MAP) sigue estando limitado por la poca disponibilidad de bibliotecas con sonidos de referencia y herramientas de procesamiento de audio (Greenhalgh *et al.*, 2020).

Se ha reconocido a nivel mundial que la hidroacústica puede ser una gran herramienta no invasiva para el monitoreo de la biodiversidad acuática, mostrando que el empleo del MAP es una técnica que puede usarse para la identificación e inventario de especies y también para la evaluación de procesos, tanto de las especies acuáticas como de los ecosistemas en que habitan (Desjournès *et al.*, 2020).

De este modo, la ecoacústica puede ser usada en ambientes marinos y continentales para diversos estudios, ecológicos, evolutivos, comportamentales y de biodiversidad, e incluso con fines de manejo de las pesquerías, algunas veces relacionados con la conservación de las especies o hábitats involucrados. Un ejemplo de esta aproximación en sistemas acuáticos continentales es el empleo de la ecoacústica para identificar y caracterizar las áreas de reproducción de peces potamódromos de la cuenca del río Magdalena, y de este modo priorizar dichos hábitats para la conservación de estas especies ante el desarrollo hidroeléctrico en la cuenca (Muñoz-Duque, 2019). La información acústica también se ha utilizado en el monitoreo de peces en grandes sistemas dulceacuícolas, como el río Amazonas (Anderson *et al.*, 2008; Borie *et al.*, 2014; Godinho *et al.*, 2017). Esta información puede ser clave para la conservación o manejo de las pesquerías de que producen sonidos, ya que puede ser posible identificar temporadas de eventos de reproducción y localizar con alta precisión áreas de desove (Rountree *et al.*, 2006; Mann *et al.*, 2008; Casaretto *et al.*, 2014), e inclusive estimar y monitorear la densidad, abundancia y biomasa de stocks de peces agregados en función a eventos de desove durante periodos con tasas estables de producción de sonidos (Gannon & Gannon, 2009; Širović *et al.*, 2009), entre otros datos de la biología reproductiva (Godinho *et al.*, 2017).

Anfibios. En la actualidad, en Colombia se conocen 850 especies de anfibios, 790 de las cuales son anuros (ranas y sapos); las 60 especies restantes pertenecen a los órdenes Caudata (salamandras) y Gymnophiona (cecilias) (<http://www.batrachia.com>). Con esta riqueza de

especies, Colombia es considerado el segundo país en el planeta con mayor biodiversidad en esta clase de vertebrados. Entre los diversos y fascinantes aspectos de la biología de los anfibios están sus sistemas de comunicación (Gerhardt & Huber, 2002; Wells, 2007; Starnberger *et al.*, 2014). Las vocalizaciones, particularmente el canto de anuncio, son el principal y más estudiado mecanismo de comunicación entre los anfibios anuros. Este tipo de canto es usualmente emitido por machos adultos, y se le ha atribuido funciones relacionadas a la atracción de hembras y demarcación de sitios de canto (Duellman & Trueb, 1994; Wells, 2007; Köhler *et al.*, 2017).

La familia Dendrobatidae es la más estudiada desde una perspectiva acústica, lo cual puede estar relacionado con que ha sido una fuente de numerosas investigaciones desde la década de 1970. En Colombia, han sido estudiadas 26 de las 94 especies (28%), principalmente con enfoque taxonómico (Twomey & Brown, 2009; Amézquita *et al.*, 2013; Márquez *et al.*, 2017; Marin *et al.*, 2018), de comportamiento social, biología evolutiva (Rojas *et al.*, 2006; Erdtmann & Amézquita, 2011; Medina *et al.*, 2013) y en ecoacústica (Vargas-Salinas & Amézquita, 2013a, b; Vargas-Salinas *et al.*, 2014). La segunda familia con un mayor análisis de las señales acústicas es la más diversa en Colombia, Craugastoridae, de la que se conocen en el país 264 especies. No obstante, sólo 18 especies (el 6.8%) han sido evaluadas acústicamente. Los estudios en Colombia que incluyen análisis de señales acústicas en especies de esta familia se han centrado en describir sus cantos de anuncio (Bernal *et al.*, 2004; Romero-García *et al.*, 2015; Ríos-Soto y Ospina-L. 2018; Duarte-Marín & Arango-Ospina, 2019) o en utilizar atributos de dichas señales como evidencia en la delimitación de nuevas especies (Ospina-Sarria *et al.*, 2015; Rivera-Correa *et al.*, 2016; Ospina-Sarria & Angarita-Sierra, 2020). El 72% de las investigaciones en señales acústicas de los anuros de Colombia se ha desarrollado en especies con distribución andina. Resultados similares fueron obtenidos por Rivera-Correa *et al.*, (en prensa), quienes asociaron este patrón con la mayor riqueza de especies en esta región geográfica y con que la mayoría de los centros de investigación y universidades que estudian la biología del comportamiento y la historia natural de los anuros en el país están establecidas en esta región. Adicionalmente, un hallazgo llamativo es que 37 de las 77 especies estudiadas acústicamente en estos últimos 30 años, se encuentran en alguna categoría de amenaza, de acuerdo con los criterios de la IUCN (2020). Esto nos revela un desafío importante a la hora de establecer estaciones de monitoreo pasivo particularmente en un grupo altamente amenazado como lo es los anfibios de Colombia.

Nuestros resultados sugieren la necesidad de unir esfuerzos que integren las señales acústicas como sistema de estudio, para incrementar el conocimiento de la diversidad de anuros y como estrategia para abordar múltiples preguntas en biología del comportamiento, bioacústica, ecoacústica y monitoreo de poblaciones.

Reptiles. Se conoce que la producción de señales acústicas en reptiles ha evolucionado en cocodrilos, tortugas, lagartos y en menor medida en serpientes (Frankenberg & Werner, 1992; Chen & Wiens, 2020). También está establecido que la mayoría de reptiles tienen cierta capacidad de percibir sonidos, pero sólo en algunos grupos se ha comprobado comunicación acústica entre conespecíficos (Dooling *et al.*, 2000; Rohdla *et al.*, 2019). En lo referente a Colombia, el segundo país del planeta con mayor diversidad de reptiles (> 600 especies; The Reptile Database, <http://www.reptile-database.org>), los estudios acerca de la producción de señales acústicas en estos vertebrados son muy escasos. La producción de señales acústicas se ha registrado por lo menos para 26 especies de reptiles presentes en Colombia; 21 de ellas son nativas y cinco son introducidas; sin embargo, estudios hechos directamente en Colombia sobre esta temática se limitan a una especie de cocodrilo (*Crocodylus intermedius*) y cuatro especies de tortugas (*Chelonoidis carbonarius*, *C. denticulatus*, *Kinosternon scorpioides*, *Mesoclemmys dahlí*).

En *Crocodylus intermedius*, se han reportado señales acústicas producidas por los neonatos antes de la eclosión de los huevos (Ardila-Robayo *et al.*, 1999). Dichas señales simulan un “pugido” con una duración de aproximadamente un segundo. En relación a las tortugas, Auffenberg (1965) reportó que machos de *Chelonoidis carbonarius* y *Chelonoidis denticulatus* producen sonidos (chirridos) cuando montan a la hembra. En *Kinosternon scorpioides*, se reportó un bramido emitido por uno de varios individuos mantenidos en cautiverio (observaciones personales por M.A. Bedoya-Cañón, citada por Vargas-Salinas *et al.*, 2019). Finalmente, se reportó que machos adultos de *Mesoclemmys dahlí* (especie endémica a Colombia), suelen restregar su cabeza contra objetos sumergidos en el agua, y de esta forma, producen ruidos que aparentemente tienen como función delimitar su territorio o atraer a las hembras durante la temporada de apareamiento (Rueda-Almonacid *et al.*, 2007).

Aún nos falta mucho por conocer en diversos aspectos relacionados al uso de señales acústicas en reptiles de Colombia. Por ejemplo, es común que haya variación geográfica intraespecífica en características

de señales de comunicación en animales (Wilczynski & Ryan, 1999; Velásquez, 2014; Morton, 2017), lo que hace importante documentar la presencia y grado de variabilidad en reptiles de Colombia, y establecer su relación con características del hábitat, interacciones bióticas y si eventualmente podría promover procesos de aislamiento reproductivo entre poblaciones. Por otro lado, individuos adultos de especies de tortugas, lagartos y serpientes tienen capacidad auditiva que les permite detectar potenciales depredadores (Dooling *et al.*, 2000; Christensen-Dalsgaard & Manley, 2005; Christensen-Dalsgaard *et al.*, 2012; Martin *et al.*, 2012; Cantwell & Forrest, 2013; Lavender *et al.*, 2014; Curlis *et al.*, 2016). Esta capacidad auditiva posiblemente esté difundida en reptiles de Colombia (ver, p. ej., *Amphisbaena alba*, Gans & Wever, 1972). Teniendo en cuenta la gran variedad de reptiles en Colombia, existe un gran potencial de investigación que permita ampliar nuestro conocimiento sobre los procesos que han promovido la evolución de señales acústicas en este grupo y su rol en interacciones ecológicas y comportamentales a nivel intra e interespecífico.

Aves. Tal vez la primera compilación que describe los sonidos de las aves de Colombia fue la guía de aves de Hilty & Brown (1986). En sus recuentos de las especies, hay descripciones onomatopéyicas muy detalladas que permitieron a muchos observadores identificar e incorporar el conocimiento de los cantos en sus observaciones. Sin embargo, en algunas publicaciones previas también habían sido descritos onomatopoyéticamente algunos sonidos (ver Olivares 1964). La grabación direccional de sonidos (Parker 1991) permitió conocer muchos aspectos desconocidos de la avifauna neotropical. Por ejemplo, el trabajo de Ted Parker III entre 1970 y 1990 fue uno de los más importantes e influyentes para muchos de los sonidistas que han captado esta otra dimensión de la biodiversidad neotropical (Robbins *et al.*, 1997), permitiendo predecir el descubrimiento de varios taxones nuevos para la ciencia a partir de las grabaciones que él compiló hace varias décadas (Schulenberg & Parker, 1997; Remsen *et al.*, 1997). Posteriormente, sonidistas colombianos fortalecieron la toma en campo de sonidos y su almacenaje organizado en repositorios, como la Colección de Sonidos Ambientales (o Banco de Sonidos Animales, en su momento). En particular, Mauricio Álvarez-Rebolledo promovió la grabación de sonidos como método complementario para inventarios de biodiversidad en Colombia, a partir de cursos en campo desarrollados en distintas regiones de Colombia. Posteriormente, se generaron piezas de audio para la divulgación de los sonidos de

las aves de los departamentos de Caldas (Álvarez-R. & Córdoba-Córdoba, 2002), Valle del Cauca (Álvarez-R. & Córdoba-Córdoba, 2002), Norte de Santander (Córdoba-Córdoba & Álvarez-R., 2003), la Sierra Nevada de Santa Marta (Strewe *et al.*, 2004), el Santuario de Fauna y Flora de Iguaque (Álvarez-R. *et al.*, 2007), y de los Andes colombianos (Álvarez-R. *et al.*, 2007). Por otro lado, unos años después, Boesman (2012) recopiló más de 5000 sonidos de 1644 especies de aves de Colombia.

La delimitación taxonómica de varios grupos de aves ha sido complementada a partir de integrar la acústica como herramienta para entender la avifauna tropical (Isler *et al.*, 1998). Este tipo de estudios siguen vigentes en la actualidad, resaltando la importancia de seguir grabando y analizando los sonidos de aves colombianas. Esto indica que aún tenemos que seguir descubriendo cómo son las señales acústicas de las aves colombianas, y cómo varían los sonidos de diferentes poblaciones (Cuervo *et al.*, 2014; Cadena *et al.*, 2015). Sin embargo, de manera simultánea, a medida que se toman sonidos en campo asociados a buena información, podríamos ver un incremento en trabajos de ecología (Negret *et al.*, 2015; Sánchez-Guzmán & Losada-Prado, 2016), comportamiento (Dorado-Correa *et al.*, 2016; Cárdenas-Posada *et al.*, 2018) y conservación (Laverde-R. & Cadena, 2014; Negret & Laverde-R., 2015). Dicha información es primordial para el desarrollo de trabajos sobre biología evolutiva (Caro *et al.*, 2013) y herramientas de informática acústica de aves colombianas (Tobón & Posada, 2015).

De los 117 trabajos encontrados, la mayoría corresponden a literatura gris en forma de tesis de pregrado (21), maestría (2) o doctorado (2), algunas compartidas en simposios dentro de congresos (24). Lo que resalta que el mayor reto es fometar la publicación de los resultados de las investigaciones

Durante las últimas décadas, se ha incrementado el interés por el conocimiento de las vocalizaciones de las aves en varios contextos. Sin embargo, cuando hablamos de bioacústica, esta disciplina incluye no sólo la señal (*i. e.*, el canto, llamado u otro tipo de sonido producido por el ave); también incluye la producción y la percepción del sonido; por ejemplo, de las más de 1900 especies registradas en el territorio nacional, no conocemos cómo escuchan, qué escuchan o cómo la audición de los depredadores pudo haber influido en la evolución de las características acústicas de sus presas. Adicionalmente, pocos trabajos han estudiado la estructura de las siringes, especialmente en los suboscines, la cual es

muy interesante, porque su canto no es aprendido. Al parecer, la estructura de su siringe es la que determina la estructura del canto (García *et al.*, 2017). Entender la relación entre siringe y canto puede ayudarnos a entender mejor cómo ha evolucionado el canto en este grupo tan diverso.

Por otro lado, es necesario estudiar los patrones de producción de canto a diferentes escalas, porque puede darnos información sobre cómo los cambios en el clima están afectando los ciclos de las poblaciones de aves. Los patrones de actividad diarios y anuales pueden ser afectados por variaciones climáticas drásticas a gran escala (Pérez-Granados *et al.*, 2019; Pérez-Granados *et al.*, 2020).

Finalmente, la socialización del conocimiento sobre acústica de aves, y otros grupos, requiere seguir fomentando la obtención de grabaciones de alta calidad que permitan extraer variables necesarias para estudios en bioacústica. Sin embargo, con el desarrollo de MAP, el desafío de almacenamiento, visualización y análisis sigue manteniéndose (Deichmann *et al.*, 2018). En este sentido, plataformas modulares (ej. Kass *et al.*, 2018) que integren repositorios de sonidos direccionales y datos provenientes de MAP, así como métodos de análisis novedosos (Ovaskainen *et al.*, 2018; LeBien *et al.*, 2020; Zhong *et al.*, 2020) serán un avance en la estructuración investigativa de la acústica de aves y otros grupos en Colombia.

Mamíferos. Los mamíferos son un grupo con una alta heterogeneidad en su anatomía, biología, ecología y comportamiento (Tirira, 2007). A pesar de esta diversidad, la producción académica sobre acústica de mamíferos en Colombia no es muy extensa y se encuentra más enfocada en unos órdenes que otros.

Para el orden Cetacea, los estudios en acústica han tomado gran relevancia a nivel global, principalmente porque existen dificultades inherentes en estudiarlos y entender los efectos de las actividades humanas sobre estos animales; la aplicación tecnológica es en una herramienta necesaria para su estudio (Gervaise *et al.*, 2007). El desarrollo de grabadoras autónomas fijas de sonido subacuático permite grabar datos acústicos del fondo del océano por meses, permitiendo realizar grabaciones en sitios donde la detección de estos animales es poco frecuente (Sousa-Lima *et al.*, 2013). El uso de MAP en mamíferos acuáticos es un método efectivo para identificar qué especies están presentes en un lugar específico (Heimlich *et al.*, 2005), rastrear individuos (Sousa-Lima & Clark, 2008) y determinar patrones

de distribución (Mellinger *et al.*, 2004), entre otros aspectos. En Colombia, se han realizado estudios que describen el repertorio vocal de especies como *Sotalia fluviatilis* y *S. guianensis* en el Golfo de Morrosquillo (Bernasconi *et al.*, 2005; Bernasconi *et al.*, 2006), de *Inia geoffrensis* y *S. fluviatilis* en los ríos Orinoco y Amazonas (Díaz-Granados & Trujillo, 2002), y de ballenas jorobadas en el golfo de Tribugá (Perazio *et al.*, 2018).

Para el orden Primates, la comunicación acústica es especialmente importante, ya que la usan frecuentemente para mediar diversas interacciones comportamentales (Barbosa *et al.*, 2018). En Colombia existen 13 géneros de primates y todos ellos emiten algún tipo de vocalización (Hernández & Zerda-Ordoñez, 2006). Dentro de los trabajos publicados en acústica de primates encontramos descripciones del repertorio acústico de varias especies, por lo general relacionadas con aspectos de comportamiento. Especies como *Saguinus leucopus*, *S. oedipus*, *Lagothrix lagothricha* y *Ateles hybridus* cuentan con descripciones de su repertorio acústico, pero, aún hay muchas especies que no cuentan con ningún tipo de aproximación acústica. Contar con descripciones básicas del repertorio acústico de las especies de primates en Colombia es relevante, y las herramientas acústicas tienen un gran potencial. Por ejemplo, las vocalizaciones de largo alcance que emiten algunas especies de primates son útiles para incrementar la detección de especies en campo, así como para obtener datos poblacionales a partir del uso de playbacks (Gestich *et al.*, 2017; Barbosa *et al.*, 2018).

El almacenamiento de grabaciones en repositorios disponibles es fundamental a la hora de impulsar la investigación acústica de mamíferos en Colombia (Lozano-Flórez *et al.*, 2021). En el caso de murciélagos, la creación de librerías que almacenen señales acústicas de ecolocalización permiten la comparación y la confirmación en la identificación de especies (Zamora *et al.*, 2020). Colombia es el segundo país con mayor diversidad de especies de murciélagos en el mundo; sin embargo, los estudios en acústica de murciélagos son limitados a seis publicaciones en revistas científicas y cinco trabajos de grado. Si bien es cierto que realizar grabaciones de referencia no es sencillo, especialmente en países megadiversos como Colombia, las aplicaciones potenciales son innumerables. A través de métodos bioacústicos es posible cuantificar y monitorear especies de murciélagos que no son fácilmente detectables a través de métodos tradicionales. Por otro lado, el uso de herramientas acústicas en estudios taxonómicos (Rodríguez & Mora, 2006), ecológicos (Rogers *et al.*, 2006) y comportamentales (Meyer *et al.*, 2004) es cada vez

más común. Además, los murciélagos son indicadores ideales para entender cambios a causa de actividades antrópicas, y por ende, los monitoreos acústicos sistemáticos pueden revelar cambios ambientales y disturbios ecológicos a largo plazo (Zamora *et al.*, 2020).

Los monitoreos acústicos tienen un gran potencial a futuro, no solo porque con los años la tecnología se ha hecho más asequible y maniobrable (los equipos cada vez son más fáciles de instalar y transportar), sino también porque muchas especies de mamíferos emiten señales sonoras continuamente y las grabaciones acústicas pueden brindar una nueva posibilidad de su estudio. Sin embargo, para esto es necesario contar con trabajos de descripciones acústicas y con grabaciones de referencia en Colombia para el desarrollo de estudios de monitoreo. Los resultados que encontramos para los órdenes Carnívora, Sirenia, Artiodactyla y Rodentia fueron muy escasos; esto evidencia un fuerte vacío en el conocimiento en órdenes con un gran potencial de trabajo (Lozano-Flórez *et al.*, 2021). El comportamiento acústico puede proporcionar señales filogenéticas (Peters & Tonking-Leyhausen, 1999; Cap *et al.*, 2008), estimar abundancias (Thompson *et al.*, 2010), apoyar herramientas de reconocimiento individual (Sousa-Lima *et al.*, 2008; Della Libera *et al.*, 2015; Carlson *et al.*, 2020), y por ende, brindar información sobre las poblaciones (Umeed *et al.*, 2018) en especies difíciles de capturar o en categoría de peligro (p. ej., manatíes) en las que las herramientas acústicas tienen una ventaja más, al ser métodos no invasivos.

Consideraciones finales.

En Colombia, al ser un país con una diversidad tan alta, el potencial de la acústica como campo de investigación es inmenso y su estudio en el país amplía las posibilidades de responder preguntas en otras áreas como la conservación, el comportamiento, la evolución y la ecología. Adicionalmente, el monitoreo acústico es una herramienta que puede ayudar a resolver respuestas ecológicas ante la degradación de los hábitats y ecosistemas naturales que cada día experimentan cambios debido al incremento acelerado de las actividades antrópicas (Llusia *et al.*, 2013).

En general, nuestros resultados muestran que los estudios en bioacústica en el país aun son muy escasos, con baja representatividad taxonómica y regional. A esto se suma una baja tasa de publicación de los trabajos desarrollados en los procesos de formación académica,

siendo de acceso limitado y con poco impacto y replicabilidad. Por lo tanto, uno de los retos principales es diseñar estrategias para incentivar la publicación de estos trabajos y la disponibilización de sus repositorios de sonidos.

Adicionalmente, es necesario fortalecer y alimentar las colecciones de sonidos del país, para aumentar la disponibilidad de grabaciones de referencia de todos los grupos taxonómicos. Esto conlleva la necesidad de generar protocolos de construcción de repositorios de referencia, de control de calidad y de su uso y análisis. Esperamos que este trabajo incentive la investigación en acústica en el país, sobre todo en aquellos grupos con vacíos de información. Creemos que la Red de Ecoacústica Colombiana juega un papel muy importante como eje para fortalecer alianzas y fomentar el trabajo multidisciplinario y colaborativo sobre esta temática en el país.

Referencias

- Acero, A. & Polanco, A. (2017). Biodiversidad íctica de los mares colombianos: riqueza amenazada. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(159), 200-212.
<http://doi.org/10.18257/raccefyn.480>
- Aide, T. M., Corrada-Bravo, C., Campos-Cerqueira, M., Milan, C., Vega, G. & Alvarez, R. (2013). Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ*, 1, e103.
<https://doi.org/10.7717/peerj.103>
- Aide, T., Hernández-Serna, A., Campos-Cerqueira, M., Acevedo-Charry, O. & Deichmann, J. (2017). Species richness (of insects) drives the use of acoustic space in the tropics. *Remote Sensing*, 9 (11), 1096.
<https://doi.org/10.3390/rs9111096>
- Álvarez-Rebolledo, M. & Córdoba-Córdoba, S. (2002). Guía sonora de las aves del Departamento de Caldas-Colombia: Cuenca de los ríos Tapias y Tareas. Villa de Leyva: Banco de Sonidos Animales-Instituto Humboldt.
- Álvarez-Rebolledo, M., Caro, V., Laverde-R., O., Cuervo, A. (2007). Guía sonora de las aves de los Andes colombianos. CDs Instituto Humboldt & The Cornell Lab of Ornithology.
- Anderson, K. A., Rountree, R. A. & Juanes, F. (2008). Soniferous fishes in the Hudson River. *Transactions of the American Fisheries Society*, 137(2), 616-626.
<https://doi.org/10.1577/T05-220.1>
- Amat-García, G. & Fernández, F. (2011). Diversity of Lower Insects (Arthropoda: Hexapoda) in Colombia: I. Entognatha to Polyneoptera. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 205-220.
- Amorim, M Clara P, Vasconcelos, R. O. & Fonseca, P. J. (2015). Sound communication in fishes. En Ladich, F.(Eds). *Sound Communication in Fishes* (Vol. 4). Springer.
- Amézquita, A., Márquez, R., Medina, R., Mejía-Vargas, D., Kahn, T.R., Suárez, G. & Mazariegos, L. (2013). A new species of Andean poison frog, *Andinobates* (Anura: Dendrobatidae), from the northwestern Andes of Colombia. *Zootaxa*, 3620, 163-178.
- Araki, A. S., Vigoder, F. M., Bauzer, L. G., Ferreira, G. E., Souza, N. A., Araújo, Hamilton, J. C., Brazil, R. P. & Peixoto, A. A. (2009). Molecular and behavioral differentiation among Brazilian populations of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae). *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 3(1), e365.
<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000365>
- Ardila-Robayo, M., Barahona-Buitrago, S., Bonilla-Centeno, O. & Cárdenas-Rojas, D. (1999). Aportes al conocimiento de la reproducción, embriología y manejo de *Crocodylus intermedius* en la Estación de Biología Tropical "Roberto Franco" de Villavicencio. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas*, 23 (suplemento especial), 417-424.
- Auffenberg, W. (1965). Sex and species discrimination in two sympatric South American tortoises. *Copeia*, 1965(3), 335-342.
- Barbosa, C., Romano, V., Ruiz-Miranda, C.R & Grassetto, T.C. (2018). Las voces de los primates neotropicales: ¿qué dicen? En Urbani, B., Kowalewski, M., Cunha, R.G.T., de la Torre, S. & Cortés-Ortiz, L. (Eds.). *La primatología en Latinoamérica 2 - A primatología en América Latina 2. Tomo I Argentina-Colombia*. Caracas: Ediciones IVIC. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).
- Basset, Y. & Lamarre, G. P. (2019). Toward a world that values insects. *Science*, 364(6447), 1230-1231.
<https://doi.org/10.1126/science.aaw7071>
- Bernal, M. H., Montealegre, D. P. & Páez, C. A. (2004). Estudio de la vocalización de trece especies de anuros del municipio de Ibagué, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 28; 385-390.
- Bradbury, J. W. & Vehrencamp, S. L. (1998). Principles of animal communication. Sinauer, Sunderland, MA.
- Bernasconi, M., Dussán-Duque, S., Di Lorio, L. & Passerini, A. (2005). Vocal behaviour of marine tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in the Gulf of Morrosquillo, Colombia (Caribbean Sea). Trabajo presentado

- en 16th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. San Diego California, USA.
- Bernasconi, M., Dussan-Duque, S., Di Lorio, L. & Passerini, A. (2006). Comportamiento vocal de *Sotalia Marina* (*Sotalia guianensis*) en el Golfo de Morrosquillo, Colombia. Abstracts Book. Workshop on Research and Conservation of the genus *Sotalia*.
- Boesman, P. (2012). Birds of Colombia MP3 - Sound Collection. BirdSounds.nl.
- Borie, A., Mok, H. K., Chao, N. L. & Fine, M. L. (2014). Spatiotemporal variability and sound characterization in Silver Croaker *Plagioscion squamosissimus* (Sciaenidae) in the Central Amazon. *PloS one*, 9(8), e99326.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099326>
- Cadena, C. D., Caro, L. M., Caycedo, P. C., Cuervo, A. M., Bowie, R. C. & Slabbekoorn, H. (2015). *Henicorhina anachoreta* (Troglodytidae), another endemic bird species for the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Ornitología Colombiana*, 15, e68-e74.
- Cantwell, L. R. & Forrest, T. G. (2013). Response of *Anolis sagrei* to acoustic calls from predatory and nonpredatory birds. *Journal of Herpetology*, 47(2); 293-298.
- Cap, H., Deleporte, P., Joachim, J. & Reby, D. (2008). Male vocal behavior and phylogeny in deer. *Cladistics*, 24(6), 917-931.
<https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2008.00223.x>
- Cárdenas-Posada, G., Cadena, C. D., Blake, J. G. & Loisel, B. A. (2018). Display behaviour, social organization and vocal repertoire of Blue-backed Manakin *Chiroxiphia pareola napensis* in northwest Amazonia. *Ibis*, 160(2), 269-282.
<https://doi.org/10.1111/ibi.12548>
- Carlson, N. V., Kelly, E. M. & Couzin, I. (2020). Individual vocal recognition across taxa: a review of the literature and a look into the future. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1802), 20190479.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0479>
- Caro, L. M., Caycedo-Rosales, P. C., Bowie, R. C. K., Slabbekoorn, H. & Cadena, C. D. (2013). Ecological speciation along an elevational gradient in a tropical passerine bird?. *Journal of Evolutionary Biology*, 26(2), 357-374.
<https://doi.org/10.1111/jeb.12055>
- Casaretto, L., Picciulin, M., Olsen, K. & Hawkins, A. D. (2014). Locating spawning haddock (*Melanogrammus aeglefinus*, Linnaeus, 1758) at sea by means of sound. *Fisheries research*, 154, 127-134.
<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.02.010>
- Chen, Z. & Wiens, J. J. (2020). The origins of acoustic communication in vertebrates. *Nature Communications*, 11(1), 1-8.
- Christensen-Dalsgaard, J. & Manley, G. A. (2005). Directionality of the lizard ear. *Journal of Experimental Biology*, 208(6), 1209-1217.
- Christensen-Dalsgaard, J., Brandt, C., Willis, K. L., Christensen, C. B., Ketten, D., Edds-Walton, P., Fay, R. R., Madsen, P. T. & Carr, C. E. (2012). Specialization for underwater hearing by the tympanic middle ear of the turtle, *Trachemys scripta elegans*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1739), 2816-2824.
- Córdoba-Córdoba, S. & Álvarez-Rebolledo, M. (2003). Guía sonora de las aves del Departamento de Norte de Santander Colombia: Cucutilla, Toledo y Parque Nacional Natural Tamá. Villa de Leyva: Banco de Sonidos Animales-Instituto Humboldt
- Cuervo, A. M., Stiles, F. G., Lentino, M., Brumfield, R. T. & Derryberry, E. P. (2014). Geographic variation and phylogenetic relationships of *Myiopagis olallai* (Aves: Passeriformes; Tyrannidae), with the description of two new taxa from the Northern Andes. *Zootaxa*, 3873(1), 1-24.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3873.1.1>
- Curlis, J. D., Macklem, D. C., Davis, R. & Cox, C. L. (2016). Sex-specific antipredator response to auditory cues in the black spiny-tailed iguana. *Journal of Zoology*, 299(1), 68-74.
- Dahl, G., Medem, F. & Henao, A. R. (1963). El "Bocachico": contribución al estudio de su biología y de su ambiente. Montería: Departamento de Pesca de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Magdalena y del Sinú-CVM.
- Della Libera, M., Passilongo, D. & Reby, D. (2015). Acoustics of male rutting roars in the endangered population of Mesola red deer *Cervus elaphus italicus*. *Mammalian Biology*, 80(5), 395-400.
<https://doi.org/10.1016/j.mambio.2015.05.001>
- Deichmann, J. L., Acevedo-Charry, O., Barclay, L., Burivalova, Z., Campos-Cerqueira, M., d'Horta, F., ... & Linke, S. (2018). It's time to listen: there is much to be learned from the sounds of tropical ecosystems. *Biotropica*, 50(5), 713-718.
<https://doi.org/10.1111/btp.12593>
- Díaz-Granados, M. C. & Trujillo, F. (2002). Vocal repertoire of the freshwater dolphins *Inia geoffrensis* and *Sotalia fluviatilis* in Colombia, South America. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 112(5), 2400-2400.
<https://doi.org/10.1121/1.4779794>

- de la Rosa V. Y. P. (2018). Ecología y biología del pez obispo *Pareques acuminatus* (Perciformes: Scianidae) en el Magdalena, Caribe Colombiano. (Trabajo de grado). Santa Marta: Universidad del Magdalena.
- de Souza N. A., Vigoder, F. M., Araki, A. S., Ward, R. D., Kyriacou, C. P., Peixoto, A. A. (2004). Analysis of the copulatory courtship songs of *Lutzomyia longipalpis* in six populations from Brazil. *Journal of Medical Entomology*, 41(5), 906-913.
<https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.5.906>
- Desjonqueres, C., Gifford, T. & Linke, S. (2020). Passive acoustic monitoring as a potential tool to survey animal and ecosystem processes in freshwater environments. *Freshwater Biology*, 65 (1), 7-19.
<https://doi.org/10.1111/fwb.13356>
- Dooling, R. J., Lohr, B. & Dent, M. L. (2000). Hearing in birds and reptiles. En Dooling, R. J. y Fay, R. R. (Eds.). *Comparative hearing: Birds and reptiles*. Pp: 308-359. New York: Springer.
- DoNascimento, C., Herrera Collazos, E. E. & Maldonado-Ocampo, J. A. (2019). Lista de especies de peces de agua dulce de Colombia / Checklist of the freshwater fishes of Colombia. v. 2.11. Asociación Colombiana de Ictiólogos. *Dataset/Checklist*.
<http://doi.org/10.15472/numrso>
- Dorado-Correa, A. M., Rodríguez-Rocha, M. & Brumm, H. (2016). Anthropogenic noise, but not artificial light levels predicts song behaviour in an equatorial bird. *Royal Society Open Science*, 3(7), 160231.
<https://doi.org/10.1098/rsos.160231>
- Duarte-Marín, S. & Arango-Ospina, S. (2019). The advertisement call of *Pristimantis erythropleura* (Boulenger, 1896) (Craugastoridae) from a population in the central Andes of Colombia. *The Herpetological Bulletin*, 148, 33-34.
- Duellman, W. E. & Trueb, L. (1994). *Biology of Amphibians*. Baltimore, London: John Hopkins University Press.
- Erdtmann, L. & Amézquita, A. (2009). Differential evolution of advertisement call traits in dart-poison frogs (Anura: Dendrobatidae). *Ethology*, 115, 801-811.
- Flórez, F. (1985). Observaciones ecológicas sobre los peces Bocachico real (*Prochilodus mariae* Eigenmann 1922) y el Bocachico cardumero (*Suprasinelepicthys laticeps* Valenciennes 1849) del sistema del río Metica y algunos datos comparativos del Bocachico (*Prochilodus reticulatus magdalenae* Steindachner 1878) del río Cauca, afluente del río Magdalena, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 1(2), 9-33.
- Frankenberg, E. & Werner, Y. L. (1992). Vocal communication in the Reptilia—facts and questions. *Acta Zoológica. Lilloana*, 41(0), 45-62.
- Ganchev, T. & Potamitis, I. (2007). Automatic acoustic identification of singing insects. *Bioacoustics*, 16(3), 281-328.
<https://doi.org/10.1080/09524622.2007.9753582>
- Gannon, D. P. & Gannon, J. G. (2010). Assessing trends in the density of Atlantic croaker (*Micropogonias undulatus*): a comparison of passive acoustic and trawl methods. *Fishery Bulletin*, 108(1), 106-116.
- Gans, C. & Wever, E. G. (1972). The ear and hearing in *Amphisbaenia* (Reptilia). *Journal of Experimental Zoology*, 179(1), 17-34.
- Gerhardt, H. C. & Huber, F. (2002). *Acoustic Communication in Insects and Anurans: Common Problems and Diverse Solutions*. Chicago: The University of Chicago Press.
- García, S. M., Kopuchian, C., Mindlin, G. B., Fuxjager, M. J., Tubaro, P. L. & Goller, F. (2017). Evolution of vocal diversity through morphological adaptation without vocal learning or complex neural control. *Current Biology*, 27(17), 2677-2683.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.07.059>
- Gervaise, C., Vallez, S., Ioana, C., Stéphan, Y. & Simard, Y. (2007). Passive acoustic tomography: new concepts and applications using marine mammals: a review. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(1), 5-10.
- Gestich, C. C., Caselli, C. B., Nagy-Reis, M. B., Setz, E. Z. & da Cunha, R. G. (2017). Estimating primate population densities: The systematic use of playbacks along transects in population surveys. *American Journal of Primatology*, 79(2), e22586.
<https://doi.org/10.1002/ajp.22586>
- Godinho, A. L., Silva, C. C. F. & Kynard, B. (2017). Spawning calls by Zulega, *Prochilodus argenteus*, a Brazilian riverine fish. *Environmental Biology of Fishes*, 100(5), 519-533.
<https://doi.org/10.1007/s10641-017-0582-5>
- Grant, P. B. C. (2014). *Acoustic Profiling of the Landscape*. (Doctoral Thesis). Department of Conservation Ecology and Entomology. University of Stellenbosch, South Africa.
- Greenhalgh, J. A., Genner, M. J., Jones, G. & Desjonquères, C. (2020). The role of freshwater bioacoustics in ecological research. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(3), e1416.
<https://doi.org/10.1002/wat2.1416>
- Gutiérrez, A., Ruiz, V., Moltó, E., Tapia, G. & del Mar Téllez, M. (2010). Development of a bioacoustic sensor for

- the early detection of Red Palm Weevil (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier). *Crop Protection*, 29(7), 671-676.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.001>
- Heimlich, S. L., Mellinger, D. K. & Nieuwkirk, S. L. (2005). Types, distribution, and seasonal occurrence of sounds attributed to Bryde's whales (*Balaenoptera edeni*) recorded in the eastern tropical Pacific, 1999-2001. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118, 1830-1837.
<http://dx.doi.org/10.1121/1.1992674>
- Hernández, Í. A. T. & Ordóñez, E. Z. (2006). Estado actual de la investigación sobre comunicación sonora de primates colombianos. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 158.
- Hilty, S. L. & Brown, W. L. (1986). *Birds of Colombia*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Isler, M. L., Isler, P. R. & Whitney, B. M. (1998). Use of vocalizations to establish species limits in antbirds (Passeriformes: Thamnophilidae). *The Auk*, 115(3), 577-590.
- Jaimes-Dueñez, J., Triana-Chávez, O. & Mejía-Jaramillo, A. M. (2017). Parasitological and molecular surveys reveal high rates of infection with vector-borne pathogens and clinical anemia signs associated with infection in cattle from two important livestock areas in Colombia. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 8(2), 290-299.
<https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.12.002>
- Kaatz, I. M. & Stewart, D. J. (2012). Bioacoustic variation of swimbladder disturbance sounds in Neotropical doradoid catfishes (Siluriformes: Doradidae, Auchenipteridae): Potential morphological correlates. *Current Zoology*, 58(1), 171-188.
<https://doi.org/10.1093/czoolo/58.1.171>
- Kass, J. M., Vilela, B., Aiello-Lammens, M. E., Muscarella, R., Merow, C. & Anderson, R. P. (2018). Wallace: A flexible platform for reproducible modeling of species niches and distributions built for community expansion. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(4), 1151-1156.
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.12945>
- Kattan, G. H., P. Franco, V. Rojas, & G. Morales (2004). Biological diversification in a complex region: a spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the Andes of Colombia. *Journal of Biogeography*, 31(11), 1829-1839.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01109.x>
- 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>
- Ladich, F. & Bass, A. H. (2011). Vocal behavior of fishes: Anatomy and physiology. En Farrell, A.P. (Eds). *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment* (Vol. 1). Elsevier.
- Lasso, C. A., Córdoba, D. & Morales-Betancourt, M. A. (Eds.). (2017). XVI. Áreas clave para la conservación de la biodiversidad dulceacuicola amenazada en Colombia: moluscos, cangrejos, peces, tortugas, crocodílidos, aves y mamíferos. Bogotá D. C.: Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Llusia, D., Márquez, R., Beltrán, J. F., Benítez, M. & do Amaral, J. P. (2013). Calling behaviour under climate change: Geographical and seasonal variation of calling temperatures in ectotherms. *Global Change Biology*, 19(9), 2655-2674.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12267>
- Lavender, A. L., Bartol, S. M. y Bartol, I. K. (2014). Ontogenetic investigation of underwater hearing capabilities in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) using a dual testing approach. *Journal of Experimental Biology*, 217(14), 2580-2589.
- Laverde-R., O. & Cadena, C. D. (2014). Taxonomy and conservation: a tale of two tinamou species groups (Tinamidae, Crypturellus). *Journal of Avian Biology*, 45(5), 484-492.
<https://doi.org/10.1111/jav.00298>
- LeBien, J., Zhong, M., Campos-Cerqueira, M., Velez, J. P., Dodhia, R., Ferres, J. L. & Aide, T. M. (2020). A pipeline for identification of bird and frog species in tropical soundscape recordings using a convolutional neural network. *Ecological Informatics*, 101113.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101113>
- Li, Y. F., Wen, S. Y. & Ritchie, M. G. (2012). Copulatory song in three species of the *Drosophila montium* subgroup extends copulation and shows unusual genetic control. *Animal Behaviour*, 83(1), 233-238.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.10.032>
- Lozano-Flórez, J., Colón-Piñero, Z. & Acevedo-Charry, O. (2021). Un llamado a 528 voces: Oportunidades de investigación con los sonidos de los mamíferos colombianos. *Caldasia*, 43(2).
- Luczkovich, J. J., Mann, D. A. & Rountree, R. A. (2008). Passive acoustics as a tool in fisheries science. *Transactions of the American Fisheries Society*, 137(2), 533-541.
<https://doi.org/10.1577/T06-258.1>
- Mann D.A., Hawkins A.D., Jech J.M. (2008) Active and passive acoustics to locate and study fish.

- En Webb J.F., Fay R.R., Popper A.N. (Eds). *Fish Bioacoustics*. Springer Handbook of Auditory Research, vol 32. New York: Springer.
- Márquez, R., Mejía-Vargas, D., Palacios-Rodríguez, P., Ramírez-Castañeda, V. & Amezcuita, A. (2017). A new species of *Andinobates* (Anura: Dendrobatidae) from the Urabá region of Colombia. *Zootaxa*, 4290, 531-546.
- Marín, C. M., Molina-Zuluaga, C., Restrepo, A., Cano, E. & Daza, J. M. (2018). A new species of *Leucostethus* (Anura: Dendrobatidae) from the eastern versant of the Central Cordillera of Colombia and the phylogenetic status of *Colostethus fraterdanieli*. *Zootaxa*, 4461(3), 359-380.
- Martin, K. J., Alessi, S. C., Gaspard, J. C., Tucker, A. D., Bauer, G. B. y Mann, D. A. (2012). Underwater hearing in the loggerhead turtle (*Caretta caretta*): a comparison of behavioral and auditory evoked potential audiograms. *Journal of Experimental Biology*, 215(17), 3001-3009.
- Medina, I., Wang, I., Salazar, C. & Amézquita, A. (2013). Hybridization promotes color polymorphism in the aposematic harlequin poison frog, *Oophaga histrionica*. *Ecology and Evolution*, 3, 4388-4400.
- Meyer, C. F., Schwarz, C. J. & Fahr, J. (2004). Activity patterns and habitat preferences of insectivorous bats in a West African forest-savanna mosaic. *Journal of Tropical Ecology*, 20(4), 397-407.
<https://doi.org/10.1017/S0266467404001373>
- Mellinger, D. K., Stafford, K. M. & Fox, C. G. (2004a). Seasonal occurrence of sperm whale (*Physeter macrocephalus*) sounds in the Gulf of Alaska, 1999-2001. *Marine Mammal Science*, 20, 48-62.
<http://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2004.tb01140.x>
- Morton, E. S. (2017). *Animal Vocal Communication: Assessment and Management Roles*. Cambridge: Cambridge University.
- Muñoz-Duque, S. E. (2019). Caracterización de la señal acústica de apareamiento en *Prochilodus magdalenae* con análisis bioacústico bajo condiciones de confinamiento. (Trabajo de grado). Medellín: Instituto de Biología, Universidad de Antioquia.
- Negret, P. J., Garzón, O., Stevenson, P. R. & Laverde-R, O. (2015). New ecological information for the Black Tinamou (*Tinamus osgoodi hershkovitzii*). *The Auk: Ornithological Advances*, 132(3), 533-539.
<https://doi.org/10.1642/AUK-14-116.1>
- Negret, P. J. & Laverde-R, O. (2015). The enigmatic Black Tinamou: Do distribution, climate, and vocalizations reveal more than one species? *The Auk*, 132(1), 132-139.
- Olivares, A. (1964). Adiciones a las aves de la Comisaría del Vaupés (Colombia), II. *Caldasia*, 9, 150-84.
- Ospina-Sarria, J. J., Angarita-Sierra, T. & Pedroza-Banda, R. (2015). A new species of *Craugastor* (Anura: Craugastoridae) from the Magdalena River Valley, Colombia, with evaluation of the characters used to identify species of the *Craugastor fitzingeri* group. *South American Journal of Herpetology*, 10, 165-177.
- Ospina-L, A. M., Borja-Acosta, K. G., Buitrago-Cardona, A., Torres, M., y Acevedo-Charry, O. (2020). Dataset on audio records of animals from the northeast Andes of Colombia II: The vertebrate sounds of Santander department. *Data in Brief*, 29, 105298.
- Ospina-Sarria, J. J. & Angarita-Sierra, T. (2020). A new species of *Pristimantis* (Anura: Strabomantidae) from the eastern slope of the Cordillera Oriental, Arauca, Colombia. *Herpetologica*, 76(1), 83-92.
- Ovaskainen, O., Moliterno de Camargo, U. & Somervuo, P. (2018). Animal Sound Identifier (ASI): software for automated identification of vocal animals. *Ecology letters*, 21(8), 1244-1254.
<https://doi.org/10.1111/ele.13092>
- Parker, T. A., Castillo, A., Gell-Mann, M. & Rocha, O. (1991). Records of new and unusual birds from northern Bolivia. *Bulletin of the British Ornithologists' Club*, 111, 120-138.
- Perazio, C. E., Zapetis, M. E., Roberson, D., Botero, N. & Kuczaj, S. (2018). Humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, song during the breeding season in the Gulf of Tribugá, Colombian Pacific. *Madagascar Conservation & Development*, 13(1), 83-90.
- Pérez-Granados, C., Bota, G., Giralt, D., Barrero, A., Gómez-Catasús, J., Bustillo-De la Rosa, D. & Traba, J. (2019). Vocal activity rate index: a useful method to infer terrestrial bird abundance with acoustic monitoring. *Ibis*, 161 (4).
<https://doi.org/901-907.10.1111/ibi.12728>
- Pérez-Granados, C. & Schuchmann, K.L. (2020). Monitoring the annual vocal activity of two enigmatic nocturnal Neotropical birds: The Common Potoo (*Nyctibius griseus*) and the Great Potoo (*Nyctibius grandis*). *Journal of Ornithology*, 1-13.
<https://doi.org/10.1007/s10336-020-01795-4>
- Peters, G. & Tonkin-Leyhausen, B. A. (1999). Evolution of acoustic communication signals of mammals: friendly close-range vocalizations in Felidae (Carnivora). *Journal of Mammalian Evolution*, 6(2), 129-159.
<https://doi.org/10.1023/A:1020620121416>

- Picciulin, M., Bolgan, M., Codarin, A., Fiorin, R., Zucchetta, M. & Malavasi, S. (2013). Passive acoustic monitoring of *Sciaena umbra* on rocky habitats in the Venetian littoral zone. *Fisheries research*, 145, 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.02.008>
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., ... & Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203-216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>
- Quintero-García, C. (2016). Caracterización reproductiva de la especie *Prochilodus reticulatus* como potencial productivo para la zona del Catatumbo-Norte de Santander. *Revista Ingenio Ufpso*, 12, 67-73. <https://doi.org/10.22463/2011642X.2125>
- Remsen, J. V. & Schulenberg, T. S. (1997). The pervasive influence of Ted Parker on Neotropical field ornithology. *Ornithological Monographs*, 7-19.
- Riede, K. (1998). Acoustic monitoring of Orthoptera and its potential for conservation. *Journal of Insect Conservation*, 2, 217-223.
- Ríos-Soto, J. A. & Ospina-L. A. M. (2018). The advertisement call of *Pristimantis boulengeri* (Lynch, 1981) from a population in the Central Andes of Colombia (Anura: Craugastoridae). *Herpetology Notes*, 11, 719-723.
- Rivera-Correa, M., Lamadrid-Feris, F. & Crawford, A. J. (2016). A new small golden frog of the genus *Pristimantis* (Anura: Craugastoridae) from an Andean cloud forest of Colombia. *Amphibia-Reptilia*, 37, 153-166.
- Rivera-Correa M., Ospina-L., A., Rojas-Montoya, M., Venegas-Valencia, K., Rueda-Solano, L. A., Gutiérrez-Cérdenas, P. D. A. & Vargas-Salinas, F. (en prensa). Cantos en ranas y sapos de Colombia: estado del conocimiento y perspectivas de investigación en ecoacústica. *Neotropical Biodiversity*.
- Robbins, M. B., Graves, G. R. & Remsen, Jr. J. V. 1997. In Memoriam: Theodore A. Parker III, 1953-1993. *Ornithological Monographs*, (48), 1-5.
- Rodríguez, A. & Mora, E. C. (2006). The echolocation repertoire of *Eptesicus fuscus* (Chiroptera: Vespertilionidae) in Cuba. *Caribbean Journal of Science*, 42(1), 121.
- Rohtla, E.A., Russell, A.P. & Bauer, A.M. (2019). Sounding Off: Relationships between call properties, body size, phylogeny, and laryngotracheal form of geckos. *Herpetologica*, 75(3), 175-197. <https://doi.org/10.1655/D-19-00021>
- Rogers, D. S., Belk, M. C., González, M. W. & Coleman, B. L. (2006). Patterns of habitat use by bats along a riparian corridor in northern Utah. *The Southwestern Naturalist*, 51(1), 52-58.
- Romero-García, J., Clavijo-Garzon, S. & Bernal, M. H. (2015). The advertisement call of three highland endemic species (Anura: Craugastoridae) from the Andean mountains of Colombia. *Zootaxa*, 4007, 298-300.
- Rojas, B., Amézquita, A. & Delgadillo, A. (2006). Matching and symmetry in the frequency recognition curve of the poison frog *Epipedobates trivittatus*. *Ethology*, 112, 564-571.
- Rountree, R. A., Gilmore, R. G., Goudey, C. A., Hawkins, A. D., Luczkovich, J. J. & Mann, D. A. (2006). Listening to fish: applications of passive acoustics to fisheries science. *Fisheries*, 31(9), 433-446. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(2006\)31\[433:LT-FJ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(2006)31[433:LT-FJ]2.0.CO;2)
- Rueda-Almonacid, J. V., Carr, J. L., Mittermeier, R. A., Rodríguez-Mahecha, J. V., Mast, R. B., Vogt, R. C., Rhodin, A. G., Ossa-Velásquez, J., Rueda, J. N. y Mittermeier, C. G. (2007). *Las tortugas y los cocodrilianos de los países andinos del trópico*. Serie de guías tropicales de campo. Bogotá D.C.: Conservación Internacional.
- Samways, M. J. (2005). *Insect Diversity Conservation*. Cambridge: Cambridge University Press. 76 pp.
- Sanborn A. (2008) Acoustic communication in insects. In: Capinera J.L. (eds) *Encyclopedia of Entomology*. Dordrecht: Springer,
- Sánchez-Guzmán, J. N. & Losada-Prado, S. (2016). Características de la avifauna en un fragmento de bosque húmedo premontano afectado por ruido vehicular. *Revista Mutis*, 6(2), 7-18.
- Schulenberg, T. S. & Parker III, T. A. (1997). A new species of tyrant-flycatcher (Tyrannidae: *Tolmomyias*) from the western Amazon basin. *Ornithological Monographs*, 722-731.
- Sethi, S. S., Ewers, R. M., Jones, N. S., Signorelli, A., Picinali, L. & Orme, C. D. L. (2020). SAFE Acoustics: an open-source, real-time eco-acoustic monitoring network in the tropical rainforests of Borneo. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.02.27.968867>
- Sousa-Lima, R. S., Paglia, A. P. & da Fonseca, G. A. (2008). Gender, age, and identity in the isolation calls of Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*). *Aquatic mammals*, 34(1), 109-122. <https://doi.org/10.1578/AM.34.1.2008.109>
- Sousa-Lima, R. S. & Clark, C. W. (2008). Modelling the effect of boat traffic on the fluctuation of humpback whale singing activity in the Abrolhos National Marine Park, Brazil. *Canadian Acoustics*, 36(1), 174-181.

- Sousa-Lima, R. S., Norris, T. F., Oswald, J. N. & Fernandes, D. P. (2013). A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals. *Aquatic Mammals*, 39(1), 23-53.
<https://doi.org/10.1109/RIOAcoustics.2013.6683984>
- Starnberger I., Preininger D. & Höld, W. (2014). From uni- to multimodality: towards an integrative view on anuran communication. *Journal of Comparative Physiology A*, 200, 777-787.
<https://doi.org/10.1007/s00359-014-0923-1>
- Strewe, R. & Navarro, C. (2004). New and noteworthy records of birds from the Sierra Nevada de Santa Marta region, north-eastern Colombia. *Bulletin of the British Ornithologists' Club*, 124 (1), 38-51.
- Širović, A., Cutter, G. R., Butler, J. L. & Demer, D. A. (2009). Rockfish sounds and their potential use for population monitoring in the Southern California Bight. *ICES Journal of Marine Science*, 66(6), 981-990.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp064>
- Tavera, J. J. (2002). Aspectos filogenéticos y biogeográficos del género *Bagre* (Ostariophysi: Siluriformes: Ariidae) basados en un análisis morfométrico. (Trabajo de grado) Bogotá D.C.: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Tirira, D. (1999). *Mamíferos del Ecuador* (Vol. 2). Quito: Museo de Zoología, Centro de Biodiversidad y Ambiente, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Tobón, L. E. & Posada, C. A. (2015). Descomposición de señales bioacústicas usando familias de polinomios ortogonales. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 27(1), 39-45.
- Thompson, M. E., Schwager, S. J., Payne, K. B. & Turkalo, A. K. (2010). Acoustic estimation of wildlife abundance: methodology for vocal mammals in forested habitats. *African Journal of Ecology*, 48(3), 654-661.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2009.01161.x>
- Twomey, E. & Brown, J. L. (2009). Another new species of *Ranitomeya* (Anura: Dendrobatidae) from Amazonian Colombia. *Zootaxa*, 2302, 48-60.
- Umeed, R., Niemeyer Attademo, F. L. & Bezerra, B. (2018). The influence of age and sex on the vocal repertoire of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) and their responses to call playback. *Marine Mammal Science*, 34(3), 577-594.
<https://doi.org/10.1111/mms.12467>
- Vargas-Salinas, F. & Amézquita, A. (2013a). Stream noise, hybridization, and uncoupled evolution of call traits in two lineages of poison frogs: *Oophaga histrionica* and *Oophaga lehmanni*. *PloS one*, 8(10).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077545>
- Vargas-Salinas, F. & Amézquita, A. (2013b). Traffic noise correlates with calling time but not spatial distribution in the threatened poison frog *Andinobates bombetes*. *Behaviour*, 150, 569-584.
<https://doi.org/10.1163/1568539X-00003068>
- Vargas-Salinas F., Dorado-Correa, A. & Amézquita, A. (2014). Microclimate and stream noise predict geographic divergence in the auditory signal of a threatened poison frog. *Biotropica*, 46, 748-755.
<https://doi.org/10.1111/btp.12169>
- Vargas-Salinas, F., Angarita-Sierra, T., Ospina-L, A. M., Rocha-Úsuga, A. A. & Rueda-Solano, L. A. (2019). Comunicación y ecología reproductiva. En Vargas-Salinas, F., Muñoz-Avila, J. A. y Morales-Puentes, M. E. (Eds.). *Biología de los Anfibios y Reptiles en el bosque seco tropical del norte de Colombia*. Pp: 264. Tunja: Editorial UPTC.
- Velásquez, N. A. (2014). Geographic variation in acoustic communication in anurans and its neuroethological implications. *Journal of Physiology-Paris*, 108(2-3), 167-173.
- Vigoder, F. M., Ritchie, M. G., Gibson, G. & Peixoto, A. A. (2013). Acoustic communication in insect disease vectors. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 108, 26-33.
<https://doi.org/10.1590/0074-0276130390>
- Von, C. M. H. & Grajales, A. (2007). Comportamiento de dos especies nativas, Dorada (*Brycon moorei*) y Bocachico (*Prochilodus reticulatus*) sembradas en condiciones artificiales de cultivo, en policultivo con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 2(2).
- Wells, K. D. (2007). *The Ecology and Behavior of Amphibians*. Chicago: University of Chicago Press.
- Wilczynski, W. & Ryan, M. J. (1999). Geographic variation in animal communication systems, In Foster S. A. y Endler, J. A. (Eds.) *Geographic Variation in Behavior*. Pp: 234-261. New York: Oxford University Press.
- Zamora-Gutiérrez, V., Ortega, J., Avila-Flores, R., Aguilar-Rodríguez, P. A., Alarcón-Montano, M., Avila-Torresagatón, L. G., ... & Chávez-Cauich, M. (2020). The Sonozotz project: Assembling an echolocation call library for bats in a megadiverse country. *Ecology and Evolution*, 1-16.
<https://doi.org/10.1002/ece3.6245>
- Zhong, M., LeBien, J., Campos-Cerqueira, M., Dodhia, R., Ferres, J. L., Velev, J. P. & Aide, T. M. (2020). Multispecies bioacoustic classification using transfer learning of deep convolutional neural networks with pseudo-labeling. *Applied Acoustics*, 166, 107375.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107375>

Daniela Martínez Medina

Fundación Reserva Natural La Palmita,
Centro de Investigación
Bogotá, Colombia
danimmo87@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9431-8399>

Orlando Acevedo-Charry

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Villa de Leyva, Colombia
oacevedo@humboldt.org.co
<https://orcid.org/0000-0003-4964-8994>

Sofía Medellín-Becerra

Universidad de los Andes
Bogotá, Colombia
sofiamedellin1904@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6768-2411>

Juliana Rodríguez-Fuentes

Universidad de los Andes
Bogotá, Colombia
j.rodriguez18@uniandes.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-9825-9912>

Silvia López-Casas

The Nature Conservancy
Bogotá, Colombia
silvilopezcasas@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0003-3329-4976>

Sebastián Muñoz-Duque

Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
sebasemd@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2593-4291>

Mauricio Rivera-Correa

Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
mauricio.rivera1@udea.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-5033-5480>

Yelenny López-Aguirre

Universidad del Quindío
Armenia, Colombia
yelennylopez19@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5326-4331>

Fernando Vargas-Salinas

Universidad del Quindío
Armenia, Colombia
fvargas@uniquindio.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-1251-647X>

Oscar Laverde-R.

Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia
laverdeo@javeriana.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-0447-4724>

Miguel E. Rodríguez-Posada

Fundación Reserva Natural La Palmita, Centro de Investigación
Bogotá, Colombia
director.cientifico@lapalmita.com.co
<https://orcid.org/0000-0001-5670-3440>

Estado, desarrollo y tendencias de los estudios en acústica de la fauna en Colombia

Citación del artículo: 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. (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>

Recibido: 9 de Julio 2020

Aceptado: 15 de noviembre 2020