











La voz de nuestras aves: contribuciones de la bioacústica a la ornitología colombiana

The voice of our birds: contributions of bioacoustics to Colombian ornithology

Ronald A. Fernández-Gómez , William Ku-Peralta , Daniela Botero-Restrepo , Nelsy Niño Rodríguez , Oscar Laverde-R , Hoover E. Pantoja-Sánchez , Gustavo A. Bravo , Mauricio Álvarez-Rebolledo⁵, Oscar H. Marín-Gómez , Fernanda G. Duque ^{7,8} & Natalia Ocampo-Peñuela ⁹

¹Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México

²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR), Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México

³Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia

⁴Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia

⁵Independiente. Bogotá, Colombia

⁶Colección de Ornitología, Programa de Biología, Universidad del Quindío. Armenia, Colombia

⁷Biology Department. Hofstra University. Hempstead, NY, Estados Unidos

⁸Cold Spring Harbor Laboratory. Cold Spring Harbor, NY, Estados Unidos

⁹Environmental Studies Department, University of California, Santa Cruz. Santa Cruz, CA, Estados Unidos

* ✉ ronfernandezg@gmail.com

DOI:10.59517/oc.e555

Recibido

13 de octubre de 2022

Aceptado

16 de febrero de 2023

Publicado

26 de junio de 2023

ISSN 1794-0915

Citación

FERNÁNDEZ-GÓMEZ, R.A., W. KU-PERALTA, D. BOTERO-RESTREPO, N. NIÑO-RODRÍGUEZ, O. LAVERDE-R, H.E. PANTOJA-SÁNCHEZ, M. ÁLVAREZ-REBOLLEDO, O.H. MARÍN-GÓMEZ, F.G. DUQUE & N. OCAMPO-PEÑUELA. 2023. La voz de nuestras aves: contribuciones de la bioacústica a la ornitología colombiana. *Ornitología Colombiana* 23:3-30 <https://doi.org/10.59517/oc.e555>

Resumen

La bioacústica, o el estudio de los sonidos que producen los animales, es una herramienta que ha sido ampliamente usada en el estudio de las aves, con un incremento en el número de estudios que la aplican en las últimas décadas por su carácter poco invasivo y de relativo bajo costo. Aquí presentamos una revisión sistemática de las investigaciones sobre bioacústica aplicada a la ornitología colombiana en los últimos 22 años, identificando las principales temáticas que se abordan (e.g., taxonomía, inventarios y monitoreos, comportamiento, ecología), y exploramos la historia y el desarrollo de esta herramienta, y su impacto en la ornitología colombiana. Enfatizamos sobre la importancia del estudio evolutivo de la comunicación en aves y su papel en la delimitación e identificación de especies, las técnicas de monitoreo acústico, la ecología del paisaje y urbanización, y esclarecemos algunos aspectos neurobiológicos y de aprendizaje de las vocalizaciones. También destacamos el valor de las colecciones biológicas en el desarrollo de la bioacústica regional y abordamos la problemática de las limitaciones y los sesgos en la investigación científica que han subestimado la importancia de comportamientos poco estudiados como el canto de las hembras. Identificamos que los principales aportes de las investigaciones se centran en las descripciones acústicas y la sistemática. Además, detectamos un incremento en el número de publicaciones en torno a la ecología y el monitoreo acústico. Notamos que la mayoría de los estudios se han realizado sobre aves paseriformes oscines. El reservorio acústico de las aves del país representa más de 1,500 especies y está resguardado en la colección nacional de sonidos y en repositorios públicos. Finalmente, presentamos algunas reflexiones sobre el futuro y la aplicabilidad de esta herramienta en el país para incentivar el fortalecimiento de la bioacústica en el estudio de las aves colombianas y destacamos los enfoques de prioridad para su estudio.

Palabras clave: biodiversidad, comunicación acústica, colecciones biológicas, taxonomía

Abstract

Bioacoustics is a tool that has been widely used in the study of birds and increasingly so in recent decades due to its less invasive and relatively low cost. In this article, we present a review of bioacoustics research applied to Colombian ornithology in the last 22 years, and identified the main topics addressed in the literature (e.g., taxonomy, biological surveys, and monitoring, behavior, ecology), and explored the history and development of this tool and its role in Colombian ornithology. We emphasize the evolutionary relevance of communication in birds and its role in species delimitation and identification, acoustic monitoring techniques, landscape ecology, and urbanization and clarify some neurobiological and learning aspects of vocalizations. We also highlight the value of biological collections in the development of regional bioacoustics and address the problem of limitations and biases in scientific research that have overlooked the importance of understudied behaviors, such as female songs. We identified that the main contributions of the field consist of providing acoustic descriptions and systematic applications. We also detected an increase in ecology and acoustic monitoring publications, although most studies have been conducted on



oscine passerine birds. The acoustic repertoire of the country represents more than 1,500 species and is preserved in the national sound collection and public repositories. Finally, we reflect on the future and applicability of this tool in Colombia to strengthen the field of bioacoustics in the study of Colombian birds and highlight the priorities of research.

Key words: acoustic communication, biological collections, biodiversity, taxonomy

Introducción

Los animales emiten y perciben señales vibratorias y/o acústicas para obtener información de su ambiente, detectar la presencia de otros organismos, o comunicarse entre conespecíficos y heteroespecíficos (Bradbury & Vehrencamp 2011). Esta característica permite, a través del estudio de los sonidos, entender aspectos de la biología y el comportamiento de los organismos, y facilita el monitoreo de la diversidad biológica en distintos tipos de paisajes (*e.g.*, naturales y/o transformados Morales-Rozo *et al.* 2021). En este sentido, el estudio del comportamiento animal ha dado lugar al uso de técnicas y herramientas metodológicas novedosas para el entendimiento de los sistemas de comunicación (Penar *et al.* 2020). Lo anterior ha dado como resultado que la bioacústica sea considerada una disciplina multidisciplinaria, adquiriendo gran importancia en las últimas décadas. La bioacústica se favoreció con el desarrollo de instrumentos de grabación de sonidos, el análisis espectral y la visualización de señales durante la primera mitad del siglo XX (Baptista & Gaunt 1994). A partir de entonces, los avances tecnológicos y la disminución en los precios de los dispositivos para realizar grabaciones, así como el incremento en la variedad de programas computacionales para el análisis de los datos generados, la han llevado a hacer aportes importantes en el estudio de la comunicación animal a nivel mundial (Penar *et al.* 2020).

Buena parte de las investigaciones de bioacústica se han centrado en el estudio de las vocalizaciones en aves dadas sus melodiosas vocalizaciones y la complejidad vocal en varios de sus grupos (Kroodsma 1982, Slabbekoorn & Smith 2002). Debido a esta complejidad, históricamente se han clasificado las vocalizaciones de las aves en 'cantos' y 'llamados'; clasificación que se basa en aspectos de complejidad pero también de funcionalidad (Catchpole & Slater 2008). Además, considerando la alta riqueza en ornitofauna en Colombia (1966 especies, Echeverry-Galvis *et al.* 2022), la exploración e interés en este

campo en el país ha sido cada vez mayor. Por ejemplo, hace 20 años se lanzaba el primer número de la revista Ornitología Colombiana (en adelante OC) con un artículo que describía una nueva especie para la ciencia: el cucarachero de Munchique (*Henicorhina negreti*). En este estudio, Salaman y colaboradores (2003) utilizaron las características vocales para soportar las diferencias entre esta nueva especie con respecto a otras como el cucarachero pechigrís (*H. leucophrys*). Éste fue un valioso aporte para la diversidad del país, la cual incrementó debido a los nuevos descubrimientos en años siguientes. Indudablemente, la bioacústica ha estado inmersa desde los orígenes de OC aportando con estudios de delimitación de especies, quizás uno de los enfoques más ampliamente usados de la bioacústica dentro de los estudios ornitológicos en general. Sin embargo, y para nuestra suerte, hoy en día el panorama es mucho más amplio, con nuevos enfoques y redes de trabajo que usan la bioacústica como una de sus principales herramientas (*e.g.*, preservación de especímenes acústicos, fenología y evolución del canto, mecanismos neuronales, cognición, y lucha contra el sesgo de género en la investigación científica). Por ello, en esta revisión recopilamos algunos de los enfoques y aportes de la bioacústica al desarrollo de la ornitología colombiana y del Neotrópico, con la finalidad de entender el estado del arte de esta disciplina en la región. Además, extendemos una invitación a nuestros lectores a que "escuchen el llamado" para unirse al grupo de ornitólogos bioacústicos y realicen sus aportes desde este campo a la ornitología del país.

Materiales y métodos

Para entender el estado del arte de la bioacústica ornitológica en Colombia, realizamos una revisión sistemática de la literatura sobre estudios realizados con aves. La literatura analizada proviene de diversas fuentes que se categorizaron como primarias (*e.g.*, trabajos publicados) y secundarias e información gris (*e.g.*, tesis, presentaciones en congresos). Aunque

realizamos comentarios sobre los trabajos en el Neotrópico, nos enfocamos en trabajos realizados en el territorio colombiano. Parte de la literatura analizada se obtuvo de búsquedas con operadores booleanos (*i.e.*, 'OR' y 'AND') en consultas realizadas con motores de búsqueda y servicios en línea de información científica como Web of Science (WOS; [https://www.webofscience.com]), la base de datos de Scopus [https://www.scopus.com] y Google Scholar [https://scholar.google.com]. Usamos diferentes palabras clave como términos de búsqueda en idioma español (*i.e.*, 'canto', 'llamada', 'vocalización', 'vocal', 'aves', 'Colombia') e inglés (*i.e.*, 'song', 'call', 'vocalization', 'vocal', 'bird', 'Colombia'). Enfocamos nuestra consulta en trabajos realizados en territorio colombiano considerando los aportes en los últimos 22 años (2000-2022). De forma complementaria, realizamos un análisis de los trabajos publicados en la revista OC como el principal foro científico de discusión ornitológica del país donde consideramos como información primaria los artículos y las notas breves; mientras que los trabajos tipo comentarios, resúmenes de tesis y números de suplemento con resúmenes de congreso, se analizaron como información gris o secundaria. Nuestra búsqueda complementa la información proporcionada en una revisión previa sobre estudios en acústica de la fauna en Colombia (Martínez-Medina *et al.* 2021), con base en la cual realizamos ajustes a los temas de estudio. En total definimos cinco grandes temas y 21 subtemas, cada trabajo se enmarca en una o varias de estas definiciones (Tabla 1).

Para identificar el aporte de las colecciones acústica, recabamos datos sobre las grabaciones depositadas en bibliotecas y librerías de sonidos (consulta: 04 de agosto de 2022) como Xeno-Canto [https://xeno-canto.org/], la Macaulay Library del Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell [https://www.macaulaylibrary.org/] y la Colección de Sonidos Ambientales "Mauricio Álvarez Rebolledo" del Instituto Humboldt de Colombia [http://colecciones.humboldt.org.co/sonidos].

Complementariamente, para entender la contribución de los investigadores colombianos y extranjeros al desarrollo de la bioacústica en la ornitología

colombiana, recabamos información mediante un formulario en línea que estuvo disponible desde el 19 de mayo hasta el 19 de agosto. Aunque no se logró una alta participación (17 nacionales), no deja de ser un ejercicio interesante que debe ser fomentado a futuro para tener un diagnóstico acertado. Identificamos el interés por abordar nuevas aproximaciones temáticas en el estudio de los sonidos (*e.g.*, paisajes sonoros; efectos antropogénicos; complejidad vocal; estudios conductuales, entre otros), por lo que esperamos que estas temáticas se vean plasmadas en futuros productos de investigación y divulgación.

1. Estado del arte

1.1 Un sobrevuelo histórico.- La bioacústica es un campo fértil para la investigación científica ornitológica y ha contribuido con el entendimiento de varios temas ecológicos y evolutivos en el campo de la comunicación animal (Bradbury & Vehrencamp 2011, Penar *et al.* 2020). Dentro de los temas que los ornitólogos han abordado utilizando la bioacústica como herramienta se encuentra la variación de las propiedades de los cantos a través del tiempo y el espacio. Por ejemplo, en algunas especies de aves, las diferentes secciones del canto se mantienen constantes a través de los años (*e.g.*, el gorrión sabanero, *Passerculus sandwichensis*; Williams *et al.* 2013), mientras que en otras especies algunas variables como la duración de los intervalos del trino y las frecuencias mínimas de los mismos se modifican con el paso del tiempo (*e.g.*, el copetón, *Zonotrichia capensis*; Kopuchian *et al.* 2004). Además, se ha documentado que los cantos pueden evolucionar y variar a través de la geografía a diferentes escalas (Podos & Warren 2007). Por ejemplo, un estudio en el cucarachero común (*Troglodytes aedon*) basado en un muestreo amplio de cantos a lo largo de las Américas mostró que la mayoría de las subespecies examinadas varían en las propiedades acústicas de sus cantos, en algunos casos con diferencias similares o mayores a las existentes en especies separadas (Sosa-López & Mennill 2014). Por otra parte, un estudio cuantitativo y cualitativo del repertorio del pinzón picofino (*Arremon assimilis*) en los bosques altoandinos de Colombia identificó la presencia de distintos tipos de cantos y

Tabla 1. Temas y subtemas en los que se enmarcan los trabajos revisados sobre bioacústica.

Tema	Subtema	Descripción
Taxonomía	Nuevo taxón	Descripción de nuevos taxones (especies y subespecies)
	Delimitación de grupos	Clarificación taxonómica entre grupos y distribuciones
	Variación geográfica	Vocalizaciones diferenciadas entre grupos y taxones
	Descripción acústica	Detalles sobre propiedades acústicas espectro-temporales
Inventarios y Monitoreos	Confirmación de presencia	Confirmación de especies o grupos en localidades
	Inventarios	Levantamiento de línea base de especies mediante acústica
	Colecciones	Almacenamiento de especímenes acústicos o su uso en análisis
	Informática	Desarrollos informáticos para bioacústica y ecoacústica
	Monitoreo y grabadores autónomos	Monitoreo de paisajes sonoros y uso de sensores autónomos
Comportamiento	Conducta	Contexto conductual asociado a descripciones acústicas
	Fenología del canto	Patrones temporales de las vocalizaciones
	Playback	Desarrollo de experimentos de respuesta a vocalizaciones
	Duetos	Comportamiento de vocalización de parejas
	Repertorio	Descripción detallada de variantes vocales
	Vocalización en hembras	Referencia o estudios a comportamiento vocal en hembras
Divulgación	Divulgación	Insumos a partir de sonidos para divulgación científica
Ecología y Fisiología	Urbanización	Efectos de transformación del paisaje y la urbanización
	Ruido	Efectos del ruido en la comunicación vocal
	Hábitat y adaptación acústica	Efectos de la estructura del hábitat e hipótesis de adaptación acústica
	Biomecánica y morfología	Anatomía y morfología involucrada en la producción sonora
	Desempeño y fisiología	Capacidades fisiológicas asociadas a la producción sonora

que la similitud acústica entre individuos y estructuras compartidas disminuyen a medida que se incrementan las distancias entre vecinos evidenciando una variación microgeográfica en sus vocalizaciones (Rodríguez-Fuentes *et al.* 2022).

Como resultado de las observaciones de los diferentes patrones de variación de las vocalizaciones, los ornitólogos se han preguntado cuál es el origen de dichas diferencias, y una de las explicaciones que se han postulado para dar respuesta a esta pregunta ha sido la del aprendizaje vocal (Jarvis 2019). El tema del aprendizaje de los cantos ha fascinado a los ornitólogos desde hace décadas y quizá, uno de los primeros ejemplos en la literatura fue el descrito por Barrington, quien en 1773 estableció la existencia del aprendizaje del canto gracias a una serie de observaciones que realizó sobre los cantos del jilguero europeo (*Carduelis carduelis*; Catchpole & Slater 2008). Esto ha promovido el desarrollo de estudios en laboratorio para entender diferentes aspectos del aprendizaje de las vocalizaciones, desde de quién aprenden las aves hasta cuáles son las etapas en las que el canto es aprendido por algunas especies (Jarvis

2019). Sin duda alguna, el tema de la variación espacio-temporal de las propiedades de los cantos entre poblaciones —y entre especies— y el origen de dicha variación, seguirá siendo de gran interés para los ornitólogos y biólogos evolutivos, pues su estudio contribuye con el entendimiento de procesos que subyacen a la diversidad vocal y mediante los cuales surgen nuevas especies a través de la formación de barreras pre-reproductivas asociadas a las vocalizaciones (Podos & Warren 2007).

Otro de los tópicos que ha sido ampliamente explorado por los ornitólogos utilizando la bioacústica como herramienta, es el de la transmisión de las señales acústicas a través del hábitat. En 1975, Morton postuló la Hipótesis de la Adaptación Acústica (HAA) la cual sugiere que las propiedades espectro-temporales de los cantos están adaptadas para transmitirse de manera más eficiente en los hábitats en los que han evolucionado. Desde la postulación de la HAA hasta la fecha, muchos investigadores se han enfocado en entender cómo el hábitat moldea las propiedades de las vocalizaciones (Boncoraglio & Saino 2007, Barker 2008), empleando diferentes

aproximaciones como las comparaciones de la estructura de los cantos entre hábitats y taxones (Ey & Fisher 2009, Mikula *et al.* 2021), así como las que evalúan la transmisión del sonido a través de distintos tipos de hábitats (Hardt & Benedict 2021). Aunque ambos métodos han sido bastante útiles para entender cómo las presiones ecológicas moldean la estructura de fenotipos como el canto, los resultados de los estudios comparativos han sido menos consistentes (Boncoraglio & Saino 2007, Mikula *et al.* 2021) que aquellos obtenidos mediante los experimentos de transmisión de sonido (Graham *et al.* 2017). No obstante, evaluar la contribución de los factores selectivos y no selectivos en la evolución de los caracteres comportamentales como el canto, es crucial para desenmarañar la contribución de factores como el hábitat en el origen de la diversidad vocal en aves.

La bioacústica también ha jugado un papel relevante en la sistemática en aves. Algunos autores han sugerido métodos para la definición, medición y la aplicación de caracteres vocales para evaluar límites entre especies (ver Isler *et al.* 1998). Además, en la literatura existe un gran número de ejemplos en los que se han utilizado las diferencias en los caracteres comportamentales como el canto, junto con los análisis genéticos y morfológicos para definir límites entre complejos de especies de aves neotropicales (*e.g.*, complejo *Arremon*, Cadena & Cuervo 2010; *Campylopterus curvipennis*, González & Ornelas 2014; *Catharus frantzii*, Ortiz-Ramírez *et al.* 2016). Asimismo, utilizando el análisis de los caracteres espectro-temporales de las vocalizaciones y estudios comparativos, se han realizado inferencias acerca de las trayectorias evolutivas de los cantos de ciertos grupos de aves (*e.g.*, Icteridae, Price 2009). Sin duda alguna, el estudio de las vocalizaciones de las aves y su uso como herramientas taxonómicas es crucial para realizar inferencias no sólo sobre la evolución y el origen de la diversidad vocal sino también sobre los procesos históricos que han dado origen a la diversidad de aves que habitan nuestro planeta.

Complementariamente, la descripción del comportamiento vocal en aves también es un tema interesante y que recientemente ha visto un auge en

el estudio ornitológico alrededor del mundo. La descripción del comportamiento vocal en aves involucra básicamente la cuantificación de la diversidad de las vocalizaciones y sus propiedades acústicas y temporales, teniendo en cuenta que las vocalizaciones de las aves se encuentran entre las más complejas y diversas del reino animal (Catchpole & Slater 2008). Por ejemplo, algunas especies vocalizan con “variedad eventual” (*Troglodytes bruneicollis*; Sosa-López & Mennill 2014b) —es decir, repiten un mismo tipo de canto varias veces antes de cambiar a otro—, mientras que otras producen cantos con una “variedad inmediata” —cada canto es un canto tipo diferente (*Sicalis flaveola pelzelni*; Benítez Saldívar & Massoni 2018). Además, los patrones de actividad vocal pueden diferir entre especies, por ejemplo, mientras el tinamú ondulado (*Crypturellus undulatus*) es vocalmente más activo en el día; algunas aves como los bienparados (*e.g.*, *Nyctibius griseus* y *N. grandis*) prefieren vocalizar más por las noches o madrugadas (Pérez-Granados & Schuchmann 2020). Otros escenarios nos acercan al entendimiento de conductas complejas de cooperación donde ambos sexos participan e interactúan para consolidar repertorios en duetos cumpliendo funciones en la defensa de territorios, recursos y pareja (Sandoval *et al.* 2018). Ciertamente, la bioacústica nos permitirá seguir entendiendo los patrones de actividad vocal en aves, lo que a su vez nos proporcionará información necesaria para realizar estudios comparativos entre poblaciones y especies y que finalmente nos permitirá tener un mejor panorama sobre los orígenes de la diversidad vocal.

1.2 El sonar regional.- Para muchos ornitólogos de la región neotropical y de Colombia, uno de los primeros acercamientos técnicos hacia los sonidos de las aves fue por las descripciones textuales onomatopéyicas que se encontraban en obras de base como la Guía de las Aves de Colombia (Hilty & Brown 1986). Asimismo, Fjeldså & Krabbe (1990) ampliaron detalladamente estas descripciones, presentando incluso algunas representaciones gráficas para muchas especies en la guía de Aves de los Altos Andes y que ayudaron significativamente a la identificación de especies. Sin embargo, es evidente la necesidad de una experiencia sensorial cuando

hablamos de bioacústica, por lo que la aparición de productos de divulgación como las guías sonoras en formatos de disco compacto representaron insumos valiosos en el ejercicio de la identificación y la puesta a prueba de hipótesis sobre variación acústica entre poblaciones. Estas guías fueron la compilación de las primeras evidencias sonoras de muchas especies y tenemos ejemplos de trabajos que se realizaron en los Andes y la Amazonía del Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil. También se tienen guías regionales de cantos, así como una serie de guías sonoras que lanzó el entonces Banco de Sonidos Animales del Instituto Humboldt, donde se compilaba sonidos de las aves de los Andes. Para el caso de Colombia mucho de este material publicado y almacenado en colecciones surgió de diversas actividades de colecta sonora en campo y desarrollo de cursos de bioacústica que ayudaron a formar a muchos de los bioacústicos ornitólogos del país.

En el escenario colombiano, nuestra búsqueda bibliográfica arrojó un total de 167 estudios entre literatura primaria, secundaria y gris que realizan aportaciones a la ornitología colombiana en el campo de la bioacústica (Anexo 1). Encontramos que el tópico 'taxonomía' ha sido el de mayor relevancia en cuanto al uso de la acústica, representando el 97.60% de los trabajos producidos (167), seguido por 'inventarios y monitoreos' en un 50.30% (84 trabajos), 'ecología y fisiología' en un 47.9% (80 trabajos), 'comportamiento' en un 43.71 (73 trabajos) y 'divulgación' en un 5.39% (9 trabajos) (Fig. 1C). Si bien no se ha mantenido un patrón de crecimiento lineal en el comportamiento de trabajos que se elaboraron en este campo, en parte por una baja producción que se identifica entre los años 2011 a 2013, si existen algunas tendencias donde se destacan dos momentos de crecimiento entre mediados de la primera década y después del 2014. Podemos identificar buenos aportes como literatura secundaria en el 2010, 2016 y 2020 por la publicación de libros de resúmenes de trabajos que se presentaron en foros académicos como el Congreso Colombiano de Zoología y el Congreso Colombiano de Ornitología (Fig. 1A). Indudablemente estos escenarios representan espacios para el fomento e incremento de aportes en este campo de estudio y son el primer vistazo público de avances hasta su posterior transformación como productos científicos o

literatura primaria.

Por otra parte, a nivel taxonómico los grupos más representativos en el uso de la bioacústica en los trabajos colombianos han recaído sobre las aves passeriformes oscines incluyendo familias como Passerellidae, y Troglodytidae, con algunos representantes de passeriformes suboscines como Thamnophilidae, Tyrannidae, Rhinocryptidae o Grallaridae (Fig. 1B). Recientemente han empezado a surgir trabajos que exploran comparativas entre estos dos grupos con un especial interés en la evolución de sus vocalizaciones en contextos de aprendizaje y efectos del hábitat (*e.g.*, Camargo-Martínez *et al.* 2016, Lopera & Rivera-Gutiérrez 2016, Martínez *et al.* 2016). La mayoría de las investigaciones han sido realizadas con especies de tapaculos, gorriones, cucaracheros y tororois de los géneros *Scytalopus*, *Zonotrichia*, *Arremon*, *Henicorhina*, *Grallaria*; y en gran medida con enfoques a la resolución de problemas taxonómicos o delimitación de grupos. Por ejemplo, varios trabajos se han apoyado de los análisis acústicos de las vocalizaciones para poder discriminar entre grupos crípticos, como las especies andinas del género *Scytalopus* ayudando a la identificación de nuevas especies para la ciencia y la delimitación de grupos (*e.g.*, Stiles *et al.* 2017, Krabbe *et al.* 2020).

Particularmente, en nuestra revisión de los 20 números publicados de OC entre 2003 y 2021, encontramos que 39 (20%) de 194 investigaciones publicadas en la revista entre artículos y notas breves abordan aspectos de bioacústica, los cuales están distribuidos entre los diferentes números, estando ausente esta temática en cuatro de sus números: 7 (2008), 12 (2012), 18 (2020) y 20 (2021). A lo largo de la historia de la revista no se logra identificar una tendencia hacia un crecimiento o disminución de trabajos publicados en bioacústica; lo cual, puede estar relacionado con el total de las publicaciones en cada número con un promedio estimado de un trabajo publicado en cada categoría por número y un total de 20 artículos y 19 notas breves (Fig. 2).

2. Sonares que describen y delimitan su evolución

2.1 Cántame y te diré quién eres.- El uso de los sonidos como una herramienta de apoyo en la

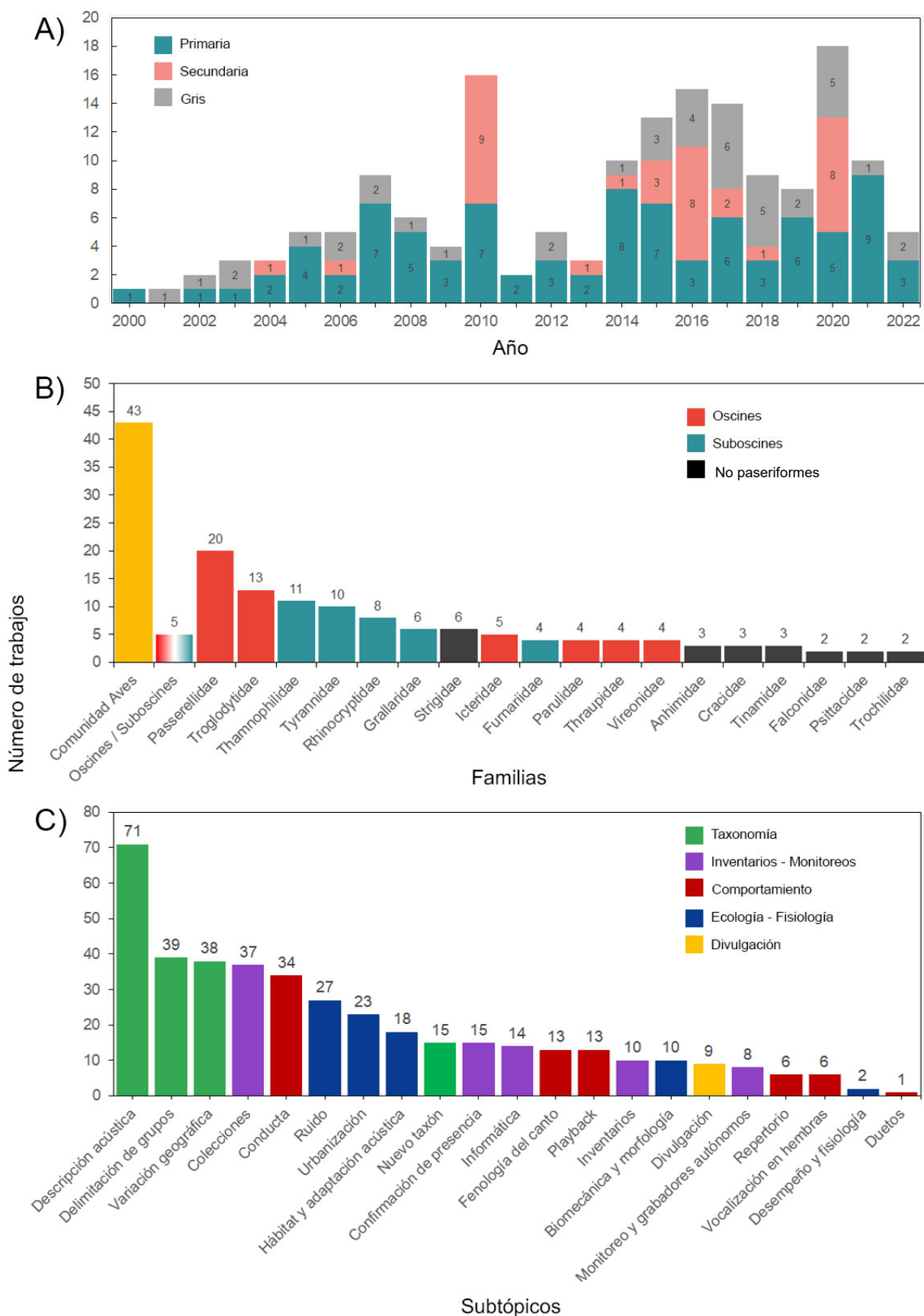


Figura 1. (A) Número de trabajos por año en tres tipos de literatura (primaria, secundaria y gris) sobre bioacústica para la ornitología colombiana (B) Familias de aves más representadas en trabajos sobre bioacústica en Colombia (C) Temas y subtemas que abordan los trabajos realizados en bioacústica en Colombia.

identificación ha sido ampliamente utilizado en la ornitología. Las vocalizaciones representan un carácter diagnóstico que facilita la discriminación de entidades taxonómicas (Catchpole & Slater 2008, Tobias *et al.* 2010). Esto ha sido de gran utilidad en la confirmación y registro de especies que dados sus comportamientos y requerimientos de hábitat son de difícil observación. Aquí los inventarios que hacen uso de la acústica llegan a tener resultados más efectivos en cuanto a rapidez y cantidad de registros en comparación a métodos tradicionales como uso de redes u observaciones, incluso el uso de técnicas de reproducción de vocalizaciones o 'playback' que son de utilidad para poder confirmar la presencia de una especie, ya que muchas especies en un contexto de territorialidad responden agresivamente a cantos que simulan intrusos en su territorio y exhiben conductas que facilitan su observación (Haselmayer & Quinn 2000).

2.2 Promotores de cambio en tiempos de 'memes'. -

Tanto a nivel global como regional los estudios de bioacústica han estado enfocados hacia la resolución de problemas taxonómicos ya que las vocalizaciones pueden ser usadas en diversos análisis comparativos entre y dentro de grupos. Por otro lado, este carácter está relacionado directamente con el comportamiento y cumple un papel determinante en las habilidades de discriminación entre individuos, llegando a dar lugar a procesos de aislamiento reproductivo. Por ello, es fundamental que los organismos se puedan "entender" mediante las vocalizaciones para sobrevivir, defender sus territorios o aparearse (Bradbury & Vehrencamp 2011). Es por tanto que la divergencia de las vocalizaciones se ha consolidado como uno de los elementos que promueven el aislamiento reproductivo que puede dar origen a procesos de especiación (Wilkins *et al.* 2013).

Las siguientes preguntas giran en torno a por qué se modifican las vocalizaciones, y la respuesta puede ser amplia y compleja ya que no podemos atribuir un único factor como modulador de esos cambios, en este contexto podemos incluir factores selectivos o aleatorios (Wilkins *et al.* 2013). Por ejemplo, a nivel ecológico las vocalizaciones pueden estar influenciadas por interacciones inter-específicas, como

la ecolocación en un escenario de coevolución entre predador y presa (*e.g.*, en murciélagos y polillas, Jacobs & Bastian 2016). Sin embargo, podemos encontrar el caso de caracteres adicionales involucrados (*e.g.*, 'rasgos mágicos', Servedio *et al.* 2011) cuya variación potencialmente modifica la estructura de las vocalizaciones y afecta los sistemas de reconocimiento de pareja, promoviendo mecanismos de divergencia. Entre los ejemplos más clásicos se encuentra el de los pinzones de Darwin en donde las diferencias en el tamaño del pico afectan la tasa de producción de elementos dentro de las vocalizaciones y cuyas diferencias probablemente surgieron debido a la selección natural actuando sobre los picos (Podos *et al.* 2013).

La situación se vuelve más interesante y compleja cuando involucramos la habilidad de aprendizaje vocal que tienen algunos grupos. Bajo esa habilidad las posibilidades de diversificación y su tasa de cambio en el tiempo incrementan exponencialmente ya que podemos incluir la capacidad de compartir información entre individuos sin depender de una herencia genética. Estos paquetes de información que se transmite culturalmente se conocen como 'memes', término acuñado por Dawkins (1976) en contraposición a los 'genes' como unidades de herencia genética y así mismo están sometidos a procesos de mutación y evolución cultural (Lynch 1996). Precisamente esa versatilidad para la transformación de la información y su rápida difusión entre individuos es la que la relaciona con lo que en nuestros días conocemos en las redes informáticas de nuestra sociedad.

Para Colombia, la aplicación de la bioacústica bajo un contexto filogenético han tenido relevancia en la clarificación taxonómica y entendimiento de su real diversidad avifaunística, tal ha sido en el caso para algunas especies oscines (*e.g.*, Passerellidae: *Arremon torquatus*, Cadena & Cuervo 2010; Troglodytidae: *Thryophilus sernai*, Lara *et al.* 2012) y suboscines (*e.g.*, Thamnophilidae: *Myrmeciza laemosticta*, Chaves *et al.* 2010; Grallaridae: *Grallaria rufula*, Isler *et al.* 2020; Rhinocryptidae: *Scytalopus perijanus*, Avendaño *et al.* 2015; *S. alvarezlopezi*, Stiles *et al.* 2017). Por otro lado, si bien podemos encontrar evidencia de cambios en

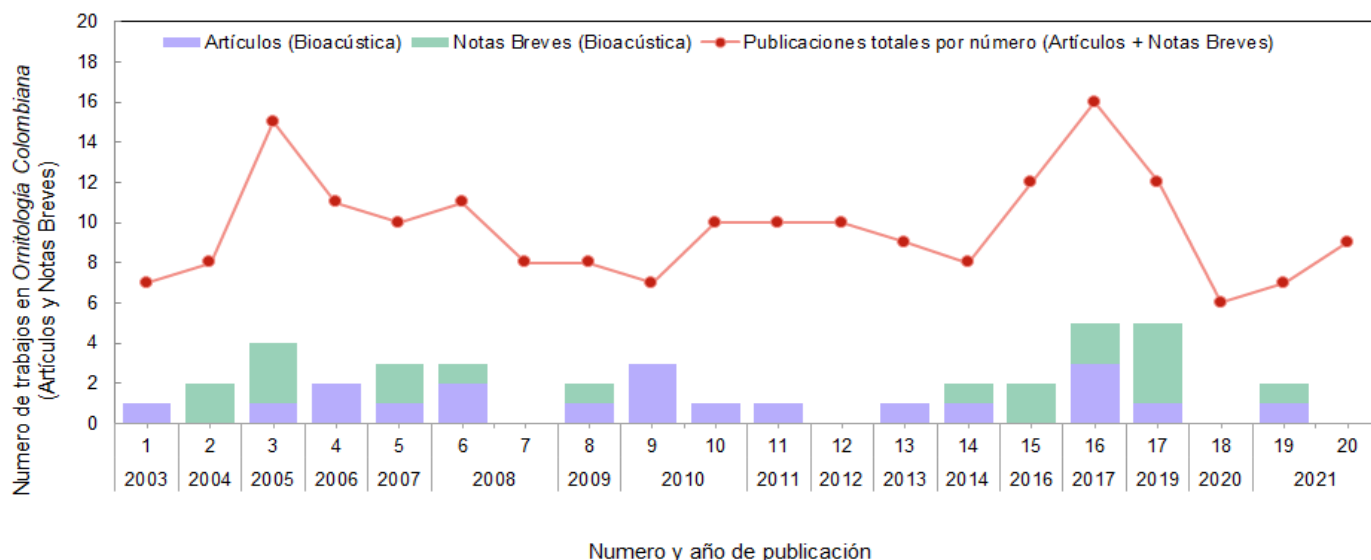


Figura 2. Número de publicaciones (categorías: artículos y notas breves) publicadas en Ornitología Colombiana entre 2003 y 2021 que abordan temáticas de bioacústica (barras). Se indica en comparativa el total de trabajos en ambas categorías por cada número publicado (línea roja).

los parámetros acústicos entre poblaciones geográficas, hace falta indagar lo que representa esa variación para la biología de la especie, por lo que es aquí donde resalta la importancia de estudios de comportamiento en donde se evalúe la respuesta conductual ante la estimulación acústica de estas variantes vocales mediante experimentos de 'playback', los cuales permiten entender las habilidades de reconocimiento de conespecíficos y discriminación de heterospecíficos (e.g., *Henicorhina anachoreta* y *H. leucophrys bangsi*, Burbidge et al. 2015) y el papel de la selección sexual en la divergencia fenotípica y diferenciación de poblaciones (e.g., *Arremon assimilis* y *A. basilicus*, Avendaño & Cadena 2021).

3. Aves y paisajes: monitoreando sus sonidos

3.1 Una nueva dimensión, la 'Ecoacústica'.- Recientemente, y fruto de una innovación en las técnicas de captura de sonido se creó una disciplina nueva llamada 'ecoacústica' (Sueur & Farina 2015) o 'ecología del paisaje sonoro' (Pijanowski et al. 2011). Este enfoque estudia el sonido como un todo, el sonido como producto de la interacción —en tiempo y espacio— de todas las especies de animales que decidieron apostarle al sonido como medio de comunicación (la biofonía). Como parte importante de

los paisajes sonoros también se consideran los sonidos generados por la tierra (la geofonía) y los sonidos generados por el hombre (la antropofonía). Cada región suena diferente, y este sonido cambia en el tiempo y en el espacio, por ejemplo, un bosque seco del alto Magdalena suena diferente a un bosque amazónico; una sabana del oriente colombiano suena diferente a una sabana en el centro de Brasil; una ciudad, diferente a un pueblo. En ambientes con visibilidad limitada, estas señales acústicas han sido claves para identificar la presencia y abundancia de algunos organismos y con el desarrollo de sensores acústicos pasivos, que permiten muestrear el ambiente sonoro de manera costo-eficiente, el monitoreo acústico ha tomado gran relevancia en estudios de ecología (Pijanowski et al. 2011, Sueur & Farina 2015, Morales-Rozo et al. 2021). Su carácter no-invasivo y facilidad para registrar la actividad de múltiples taxones, hacen que esta herramienta sea clave para la conservación, brindando información valiosa para la toma de decisiones basada en datos. Entender cómo varían algunos parámetros asociados al sonido, en el tiempo y el espacio, puede ayudarnos a generar estrategias de monitoreo del actual cambio que sufre nuestro planeta.

3.2 Fenología vocal.- El estudio de los cantos de las aves inicialmente se enfocó en variables relacionadas

con la estructura temporal y espectral de las vocalizaciones, la sintaxis, los repertorios, los dialectos y en el efecto del hábitat en su estructura. Sin embargo, pocos trabajos han estudiado aspectos relacionados con la producción de vocalizaciones a escalas temporales amplias (*i.e.*, anuales y supra-anuales) y su relación con los ciclos climáticos (*e.g.*, *Habia fuscicauda*, Chiver *et al.* 2015). Cuándo y cuánto cantan las aves en el trópico son preguntas que para la gran mayoría de especies aún no hay respuesta, y que pueden ser tópicos interesantes para explorar los ciclos de producción de cantos y su relación con la estacionalidad climática en sistemas poco conocidos como los trópicos (Stutchbury & Morton 2001). En las regiones templadas las estaciones son fuertes, marcadas y determinan parte del ciclo anual de las aves que se reproducen en latitudes altas. En las regiones tropicales la estacionalidad no es tan marcada creando condiciones diferentes y dando la posibilidad de emitir cantos con estrategias estacionales y no-estacionales (Stutchbury & Morton 2001, Chiver *et al.* 2015).

Dentro de las especies de aves tropicales hay especies que cantan estacionalmente: algunas especies de tinamúes y guacharacas (Baldo & Mennill 2011, Negret *et al.* 2015, Pérez-Granados & Schuchmann 2021a, Pérez-Granados & Schuchmann 2021b), bienparados (Pérez-Granados & Schuchmann 2020), mirlas (Stutchbury 1998), algunas tángaras (Chiver *et al.* 2015) y semilleros de bosque (O. Laverde-R, datos sin publicar) sólo cantan en ciertas épocas del año, especialmente durante la época seca, justo antes de iniciar la época reproductiva. Otras especies más territoriales como hormigueros (Wikelski *et al.* 2000) y cucaracheros (Topp & Mennill 2008) cantan durante todo el año indicando que tienen cierta estacionalidad en la actividad vocal, también relacionada con cambios en la precipitación y la duración del día. Con base en estas observaciones se podrían definir dos tipos de estrategias de actividad vocal anual: especies estacionales y especies no estacionales.

La palabra fenología se deriva de la palabra griega *phainesthai*, cuyo significado es aparecer, y generalmente se refiere al estudio de los fenómenos de crecimiento y a los procesos de desarrollo de las

plantas. Históricamente esta palabra se ha asociado con la producción de flores y frutos, pese a esto, también se puede usar el término para definir el estudio de los patrones temporales de emisión de los tipos de vocalizaciones producidos por las aves: algo que podríamos llamar la fenología del canto de las aves, un nuevo enfoque que se derivó a partir del desarrollo de los métodos pasivos de monitoreo acústico (Buxton *et al.* 2016).

4. El canto de las hembras

4.1 Voces silenciadas.- Durante mucho tiempo se pensó que el canto de las aves era exclusivo de los machos (Langmore 1998), respaldando la premisa propuesta por Darwin en el siglo XVII en donde se sugiere que el papel principal de las hembras es escuchar para seleccionar al macho más melodioso o conspicuo. Esta presión de selección junto con la competencia entre machos, ha dado como resultado cantos y repertorios masculinos más complejos y diversos (Price 2015). Esta idea fue promovida por el marcado sesgo masculino de la era victoriana en la que Darwin propuso la teoría de la selección sexual, subestimando el rol de las hembras en otros contextos sociales como la atracción de pareja (Rosenthal & Ryan 2022). Por otro lado, investigaciones recientes han mostrado que el canto de las hembras es muy extendido en la filogenia de las aves y que puede ser funcional y estructuralmente igual al canto de los machos, y probablemente existió en el antepasado de los pájaros canores (Odom *et al.* 2014).

Es evidente que, en el desarrollo de los estudios del comportamiento vocal de las aves, los enfoques pueden verse afectados por los perfiles e intereses de las personas que realizan la investigación. Haines y colaboradores (2020) se preguntaron si las publicaciones relacionadas con el canto en las hembras eran escritas en mayor proporción por mujeres. Para tal fin, identificaron todos los artículos comprendidos entre los años 1997 y 2016 que incluyeran en el título o en el resumen las palabras clave 'female song' y 'bird song'. En ambos casos, establecieron el género del autor de manera binaria y la posición de autoría (principal, media y última). Encontraron que el 56% del total de autores para el

primer término de búsqueda eran mujeres, de las cuales la mayoría fueron autoras principales o estaban en posiciones intermedias (68 y 58%, respectivamente). Por el contrario, del total de autores para el segundo término de búsqueda, el 40% eran mujeres, ocupando el 47 y 42% de las posiciones principales e intermedias, respectivamente. Adicionalmente, en esta fuente se destaca que el porcentaje de mujeres autoras de artículos de cantos en hembras ha aumentado del 29% durante 1977 a 1996 al 68% desde 1997 a 2016 (Haines *et al.* 2020). Esto es especialmente valioso porque demuestra lo fundamental que es la heterogeneidad, tanto en términos de investigadores de diferentes géneros como de sus trayectorias, a la hora de discutir y debatir tópicos de la ciencia poco reconocidos, conduciendo a nuevas perspectivas vinculadas con la ecología, la biología del comportamiento, la neuroetología, entre otros (Haines *et al.* 2020).

Por otro lado, la mayoría de las investigaciones sobre el canto de las aves se han realizado en zonas templadas del norte (Illes & Yunes-Jiménez 2009, Hahn *et al.* 2013, Sierro *et al.* 2021), en donde se supone que los machos tienen cantos más complejos o cantan con más frecuencia que las hembras (Rose *et al.* 2018). Aunque existe un sesgo geográfico relacionado con la posición de los países del norte global en las zonas templadas del planeta y, una mayor cantidad de recursos destinados a las investigaciones científicas (Martin *et al.* 2012, Soares *et al.* 2022), los resultados de esas regiones pueden informar tendencias globales. En estos escenarios se ha planteado la hipótesis de que los cantos complejos en altas latitudes (norte global) se producen porque hay una mayor presión de selección sexual en los machos —de especies principalmente migratorias—, quienes deben establecer territorios rápidamente y atraer a una pareja durante una corta temporada de reproducción (Slater & Mann 2004).

Una diferencia fundamental entre el Neotrópico y las zonas templadas del norte es la duración del día y con ella la fluctuación de la temperatura y la disponibilidad de alimentos (Slater & Mann 2004). De modo que las especies tropicales, por lo general, pueden tener varios períodos reproductivos en el año y con ello,

estilos de vida más sedentarios, patrones que parecen seleccionar la monogamia y la similitud de roles sexuales (Slater & Mann 2004, Price 2009, Odom *et al.* 2015). Esto último ha sido consecuente con resultados de investigaciones en donde la similitud de roles se relaciona con la semejanza en la estructura del canto de ambos sexos (Odom *et al.* 2021). En especies como las aves tropicales que presentan territorialidad durante todo el año, los cantos en hembras son mucho más comunes que en regiones templadas (Slater & Mann 2004, Odom & Benedict 2018). En efecto, considerando la mayor biodiversidad en el trópico, el canto de las hembras puede ser la regla y no la excepción entre las aves canoras (Price 2015). Aunque hay poca información sobre el canto de las hembras en zonas tropicales, recientes esfuerzos han empezado a documentar la importancia de este fenómeno.

4.2 Escuchándolas en Colombia.- Concretamente, en el Neotrópico el conocimiento sobre la prevalencia del canto en las hembras está pobremente documentado, a pesar de que se conoce que las hembras no sólo producen cantos facultativos, sino que también pueden realizar exhibiciones acústicas junto con los machos para formar duetos vocales (Logue & Gammon 2004, Hall 2009, Templeton *et al.* 2013, Odom *et al.* 2017, Hathcock & Benedict 2018). En la zona tropical, el canto de las hembras se ha descrito como menos complejo o frecuente que el de los machos (*e.g.*, *Hypocnemis peruviana* e *H. subflava*; Tobias *et al.* 2011; *Hirundo rustica erythrogaster*, Wilkins *et al.* 2020), pero se destacan algunas investigaciones en especies tropicales en donde se describe que las hembras, i) cantan con más frecuencia que los machos, pero sus parámetros acústicos se superponen entre los sexos (*e.g.*, *Icterus pustulatus*; Price *et al.* 2008); ii) tienen repertorios vocales tan diversos y cantan tanto como los machos (*e.g.*, *Icterus icterus*; Odom *et al.* 2016; *Icterus portoricensis*; Campbell *et al.* 2016) o; iii) presentan tasas de canto más elevadas y cantos más complejos o repertorios más diversos que sus congéneres masculinos (*e.g.*, *Nesotriccus ridgwayi*; Kroodsma *et al.* 1987; *Peucaea r. ruficauda*; Illes 2015; *Myiarchus tuberculifer*; Seeholzer & Gamarra 2020). Particularmente, en aquellas especies en donde

machos y hembras lucen plumajes casi iguales, se ha llegado a asumir que todos los cantos son producidos por los machos, limitando el análisis de los patrones evolutivos en la variación vocal de las aves (Price *et al.* 2008, Price 2015, Derryberry *et al.* 2018). Tal vez, el hecho de ser especies monomórficas ha generado dificultades y falta de precisión a la hora de documentar el rol de la hembra en la producción de señales acústicas.

En Colombia, se destacan algunas investigaciones que han descrito brevemente las vocalizaciones en hembras. En un estudio sobre la descripción de la anidación, el comportamiento de forrajeo y las vocalizaciones del carpintero gris (*Picumnus granadensis*, Sedano *et al.* 2008), se hace una corta mención sobre las vocalizaciones en hembras durante el cuidado parental, un espectrograma, una nota sobre el trino de una hembra y un análisis estadístico con el que se infiere que la vocalización es sencilla y no hace parte de un repertorio como tal de esta especie. Fierro-Calderón (2010), por su parte, realizó un estudio sobre la historia natural del coclí (*Theristicus caudatus*), describiendo su comportamiento vocal y resaltando la existencia de diferencias en las vocalizaciones de ambos sexos a nivel de frecuencia. Asimismo, Chaparro-Herrera & Lopera-Salazar (2019), reportan conductas de llamadas de contacto entre parejas durante la anidación de gorrión-montés paisa (*Atlapetes blancae*). De un compilado de 43 trabajos sobre bioacústica entre artículos, notas breves y resúmenes de tesis publicados en la revista OC, solamente estos tres trabajos (7%) hicieron algún tipo de referencia al comportamiento vocal en hembras. A este listado de trabajos en Colombia, se suman dos artículos publicados en otras revistas en los cuales se emplean análisis de variación morfológica, conducta vocal y genética para la determinación de nuevas especies: Cuervo y colaboradores (2005), describen un único canto en hembras del tapaculo de Stiles (*Scytalopus stilesi*) realizado a dúo, el cual difiere de todos los demás taxones de *Scytalopus* conocidos. Finalmente, en una nueva especie descrita como cucarachero paisa (*Thryophilus sernaï*), Lara y colaboradores (2012) especifican la estructura en términos temporales, espectrales y estructurales, distinguiendo algunas

diferencias entre los sexos. Aunque estos trabajos se refieren a vocalizaciones más que a un canto *sensu stricto*, son por el momento los únicos estudios en la ornitología colombiana que hacen referencia a aspectos vocales de las hembras.

5. Urbanización y bioacústica

5.1 Retos de la comunicación acústica en áreas urbanas.-

La modificación de los hábitats es una de las principales consecuencias del proceso de urbanización. Como resultado las áreas urbanas imponen condiciones novedosas a los organismos. Algunas especies tienden a desaparecer de las zonas urbanas debido a la pérdida de hábitat, ya que no pueden usar los recursos disponibles en estos ambientes, o simplemente evitan riesgos adicionales impuestos por la urbanización (Fischer *et al.* 2015). En contraste, las especies que presentan alta plasticidad fenotípica –usualmente aquellas generalistas o sinantrópicas–, pueden adaptarse a estas condiciones por medio de innovaciones conductuales, lo que les facilita explotar diferentes tipos de recursos (Luniak 2004).

Las aves son uno de los grupos de organismos más comunes y conspicuos que habitan en las áreas urbanas, razón por la cual hay un conocimiento extensivo sobre sus patrones de respuesta a la urbanización (Marzluff *et al.* 2001, Chace & Walsh 2006, Evans *et al.* 2009). Los ecólogos urbanos han estado interesados en estudiar los factores que afectan la comunicación de las aves en los sistemas urbanos (Patricelli & Blickley 2006). Las aves muestran una alta plasticidad fenotípica en sus señales acústicas en respuesta a las presiones asociadas con la urbanización, dentro de las que se destacan los altos niveles de ruido antropogénico y la luz artificial nocturna (*e.g.*, Slabbekoorn 2013, Gil & Brumm 2014, Da Silva *et al.* 2015, Hopkins *et al.* 2018), factores que pueden afectar directamente la habilidad de las aves para sobrevivir y reproducirse (Halfwerk *et al.* 2011).

La comunicación acústica es un reto en las ciudades debido al ruido (Slabbekoorn 2013), el cual es considerado como uno de los factores que reduce la calidad del hábitat (Francis *et al.* 2009) y la adecuación

de los individuos (Halfwerk *et al.* 2011). El ruido se caracteriza por presentar bajas frecuencias espectrales de alta amplitud y un amplio ancho de banda (Arroyo-Solís *et al.* 2013, Slabbekoorn 2013), que se sobreponen y enmascaran las señales acústicas de las aves, afectando la comunicación en los contextos de territorialidad y reproducción (Francis *et al.* 2009, Halfwerk *et al.* 2011); aunque en algunos casos se ha registrado una reducción de la tasa de depredación como consecuencia del incremento de la amplitud del ruido (Francis *et al.* 2009). El ruido también puede conducir a la homogeneización de la avifauna (Slabbekoorn 2013). Por ejemplo, en parques urbanos de España y Portugal las aves raras estuvieron asociadas a perfiles menos ruidosos, mientras que las comunes a sitios más ruidosos (Patón *et al.* 2012). Las especies de aves en ambientes urbanos tienden a presentar diferentes rangos de tolerancia al ruido, plasticidad fenotípica que les permite —en particular a las especies colonizadoras— adaptarse a estos ambientes (Slabbekoorn 2013). En general, las aves responden ante condiciones de ruido incrementando la frecuencia o amplitud de la señal, lo que asegura que el mensaje se transmita a mayor distancia, aunque esta respuesta no ocurre para todas las especies. Sin embargo, vocalizar a altas frecuencias puede prevenir el enmascaramiento con el ruido, pero este cambio no garantiza un mayor éxito reproductivo debido a que las señales de baja frecuencia son más importantes durante la reproducción, pero se degradan en condiciones de ruido urbano (Halfwerk *et al.* 2011, Slabbekoorn 2013).

Las especies de aves urbanas de Norte América, Europa y Australia tienden a presentar una mayor frecuencia mínima del canto que sus congéneres no urbanos (Hu & Cardoso 2009), por lo que se ha considerado que dicha respuesta es una consecuencia de vivir en áreas urbanas (Moiron *et al.* 2015). Estudios experimentales a nivel de especie han demostrado que los individuos pueden cambiar las características de su canto a corto plazo (Ríos-Chelén *et al.* 2013). Además, las aves también pueden modificar cuándo y por cuánto tiempo deben cantar para incrementar la efectividad de transmisión de su mensaje (Gil & Brumm 2014). Por ejemplo, las aves pueden iniciar sus rutinas de canto más temprano en sitios expuestos a altos

niveles de ruido y/o contaminación lumínica (Fuller *et al.* 2007, Gil *et al.* 2015, Da Silva *et al.* 2015, Hopkins *et al.* 2018).

En el caso de los coros de aves, el ruido y la luz artificial en áreas urbanas interfieren en la sincronización del inicio de los coros del amanecer (Arroyo-Solís *et al.* 2013, Marín-Gómez & MacGregor-Fors 2021), o conduce a que las aves adelanten sus cantos en los coros del amanecer (Gil *et al.* 2015) o que prolonguen los coros del atardecer (Da Silva *et al.* 2015). Por otra parte, las variaciones en el fotoperiodo son un factor clave importante para varias especies de aves, lo que hace que la luz artificial se convierta en una trampa ecológica potencial (Spoelstra & Visser 2014). Uno de los efectos de la contaminación lumínica es la actividad nocturna (*i.e.*, forrajeo, canto) de las aves que habitan en áreas iluminadas (Fuller *et al.* 2007, Spoelstra & Visser 2014).

Las áreas urbanas proveen un escenario interesante para explorar cómo la variación de los rasgos de los organismos puede conllevar a plasticidad fenotípica y generar cambios adaptativos ante presiones urbanas como el ruido antropogénico, la contaminación química y lumínica (Thompson *et al.* 2018). Bajo este contexto, el estudio del comportamiento de las aves en las ciudades tropicales puede incrementar nuestro conocimiento sobre sus respuestas a la urbanización (Gil & Brumm 2014). No obstante, esta área de conocimiento apenas está siendo explorada en Latinoamérica (Marín-Gómez & MacGregor-Fors 2021), en particular en Colombia.

5.2 ¿Qué se ha estudiado en Colombia?.-

Encontramos 17 documentos que han documentado el impacto de la urbanización en la comunicación acústica de las aves, cuyo inicio es relativamente reciente (12 años). La mayoría de los estudios provienen de memorias en eventos científicos y tesis de pregrado (65%), mientras que sólo el 35% han sido publicados en revistas de circulación nacional e internacional. Todos los estudios se han concentrado en la región Andina, particularmente en Bogotá, Ibagué y Armenia. Los enfoques de investigación que han seguido estos estudios han sido correlativos y comparativos, con sólo un estudio experimental.

Además, predominan los estudios enfocados en el impacto del ruido antropogénico en los rasgos espectrales y temporales de las señales acústicas, mientras que tres estudios han abordado la interacción entre el ruido y la luz artificial nocturna con el inicio de la actividad vocal (Dorado-Correa *et al.* 2016, Sánchez-González *et al.* 2021, Marín-Gómez 2022). Sólo un estudio ha evaluado experimentalmente el efecto de la urbanización en la transmisión de las señales acústicas (Martínez-Benavides 2022). En cuanto a los contrastes entre las condiciones de urbanización, la mayor parte de los estudios se han enfocado en comparaciones entre sitios urbanizados (principalmente categorizados utilizando los niveles de ruido como descriptor del nivel de urbanización) y sitios poco urbanizados o rurales. Los estudios que han analizado el impacto del ruido antropogénico han sugerido variaciones en el número de vocalizaciones y su duración en ambientes con mayores niveles de ruido (Márquez-Camargo & Rico-Sandoval 2010, Ramírez-Hernández 2010, Pacheco-Vargas & Losada-Prado 2015). En otros casos los contrastes entre ambientes silenciosos y ruidosos parecen no indicar diferencias en la estructura del canto de los copetones (Botero-Restrepo 2016, Suarez-Romero 2021). En cuanto a cambios espectrales, hay una tendencia a aumentar la frecuencia mínima del canto hacia frecuencias más altas en zonas urbanas respecto a las suburbanas como en *Pitangus sulphuratus* (Mendoza & Arce-Plata 2012), *Hylophilus flavipes* (Pacheco-Vargas & Losada-Prado 2015) y *Pheugopedius fasciatoventris* (Váqui-ro-García & Losada-Prado 2020).

Con respecto al inicio de la actividad vocal, se ha documentado que los suboscines tienden a disminuir su actividad vocal en ambientes urbanos, a excepción de aquellas tolerantes a la urbanización (*Pitangus sulphuratus*) que usan redundancia en la señal para que esta pueda ser escuchada en ambientes con mucho ruido. En contraste, los oscines no se ven afectados por contaminación acústica (Martínez *et al.* 2016, Molina-Martínez & Marulanda-Bejarano 2016). Por otra parte, los coros del amanecer en las aves que habitan en sitios con altos niveles de ruido tienden a iniciar más temprano que sus congéneres en áreas rurales (Dorado-Correa *et al.* 2016, Reyes 2019,

Sánchez-González *et al.* 2021, Marín-Gómez 2022); Aunque, aún no es clara la relación entre el adelanto del coro del amanecer y las variables de la urbanización asociadas con dicho cambio. Algunos estudios sugieren el efecto del ruido como un factor que desencadena inicios de actividad vocal más temprano (Dorado-Correa *et al.* 2016), otros sugieren que la luz artificial también puede influir en esta modificación (Marín-Gómez 2022), mientras que otros evidencian ningún efecto ni del ruido ni la luz artificial en las rutinas de canto (Sánchez-González *et al.* 2021). Por lo que otros factores asociados con la urbanización como el incremento de la temperatura ambiente, o factores sociales pueden estar impulsando inicios más tempranos en el coro del amanecer; así como también se ha documentado efectos en la transmisión de las señales acústicas como en la degradación del trino en *Z. capensis* con respecto al incremento del nivel de ruido (Martínez-Benavides 2022).

En cuanto a las especies estudiadas, sólo un trabajo estuvo enfocado a nivel de comunidad (Sánchez-Guzmán & Losada-Prado 2016) y es evidente que las especies modelo de estudio han sido aquellas con alto grado de tolerancia a la urbanización cómo lo son el copetón común (*Zonotrichia capensis*), el canario común (*Sicalis flaveola*), el petirrojo (*Pyrocephalus rubinus*) y el bichofué (*Pitangus sulphuratus*) (Fig. 3).

6. Capturando sonidos

6.1 Un acervo sonoro.- Los repositorios de sonidos alrededor del mundo se encargan de garantizar que el legado acústico de la biodiversidad perdure en el tiempo. Por ejemplo, Xeno-Canto (en adelante XC) y Macaulay Library (en adelante ML), preservan millones de grabaciones de una gran diversidad de especies de aves a escala global. Para Colombia, a la fecha se pueden encontrar cerca de 32,269 registros de 1,519 especies en XC y 47,092 registros de 1,505 especies en ML. Las especies representativas en estos repositorios, con más de 300 grabaciones, son: *Steatornis caripensis* (743), *Henicorhina leucophrys* (660), *Troglodytes aedon* (425) y *Grallaria ruficapilla* (318). Geográficamente, todos los departamentos y el distrito capital están cubiertos, siendo: Antioquia



Figura 3. Nube de palabras basado en los títulos de los estudios relacionados con la comunicación de las aves en ambientes urbanos de Colombia.

(5,679), Caquetá (4,176), Cundinamarca (3,729), Caldas (3,190) y Boyacá (3,190) los mayormente representados y que cuentan con más de 3 mil grabaciones. Arauca, por el contrario, es el departamento de menor representatividad, con tan solo 83 grabaciones.

El ejercicio de recolección de sonidos de aves ha avanzado vertiginosamente en Colombia gracias a la labor de ornitólogos y sonidistas, que desde la década de los 90's lograron conformar la Colección de Sonidos Ambientales de Colombia (en adelante CSA) y la cual perdura hasta la fecha. De las grabaciones que se encuentran de ML y XC, una gran cantidad han sido depositadas desde la CSA, en el marco de acuerdos de cooperación. De los 47,092 registros de ML, por ejemplo, 21,134 pertenecen originalmente a la CSA. Una comparación de la cobertura geográfica, taxonómica y temporal de los registros; revela que existen diferencias en la información recolectada por usuarios de ML y el personal de la CSA (Fig. 4, Anexo 2).

Mientras que repositorios como ML se nutren a partir de la contribución de turistas y ciudadanos que viven

cerca de grandes centros urbanos, las grabaciones de la CSA se obtienen mayormente a partir de expediciones biológicas. Este hecho explicaría que las regiones con mayor densidad de grabaciones en ML se encuentren cerca a ciudades principales como Bogotá, Medellín, Barranquilla o Cartagena. En contraposición, la mayor densidad de grabaciones de la CSA se encuentra en el Parque Nacional Serranía de Chiribiquete, situado en el departamento del Amazonas (Fig. 4A). De igual manera se explicarían las diferencias en la temporalidad de los registros de los últimos seis años. En ML se observan a lo largo del año dos temporadas de mayor actividad correspondientes a fechas cercanas a mayo y a finales de año temporadas en las que se realizan eventos como el Global Big Day o los Censos Navideños de Aves y que facilitan que los observadores de aves mediante aplicaciones como eBird puedan cargar sus registros y se almacenen en la ML (Fig. 4B). La temporalidad de las grabaciones de la CSA, por su parte, está asociada a la ejecución de proyectos específicos y por tanto no existe un patrón claro.

6.2 Colección de Sonidos Ambientales – Mauricio Álvarez Rebolledo.-

No cabe duda de que uno de los principales impulsores del registro acústico de aves es Mauricio Álvarez Rebolledo, quien fundó la colección que ahora lleva su nombre “Colección de Sonidos Ambientales – Mauricio Álvarez Rebolledo”. La historia de esta colección inicia a principios de los años 90, cuando el Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables y Ambiente (INDERENA) desaparece, y sus colecciones biológicas se trasladan al Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt. Este instituto se creó en 1993 como uno de los actores del Sistema Nacional Ambiental (SINA) encargados de estudiar la biodiversidad colombiana. En su interior, el Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental (GEMA) fue pionero al implementar la grabación de sonidos como parte de sus metodologías. Esta iniciativa fue liderada por Mauricio quien grababa aves desde 1992, motivado por su encuentro con Martin Kelsey en un viaje a Leticia (Amazonas). Mauricio reconocía claramente la importancia y el potencial de las grabaciones de sonidos animales como especímenes biológicos que preservan dimensiones importantes del fenotipo comportamental y que se convierten en

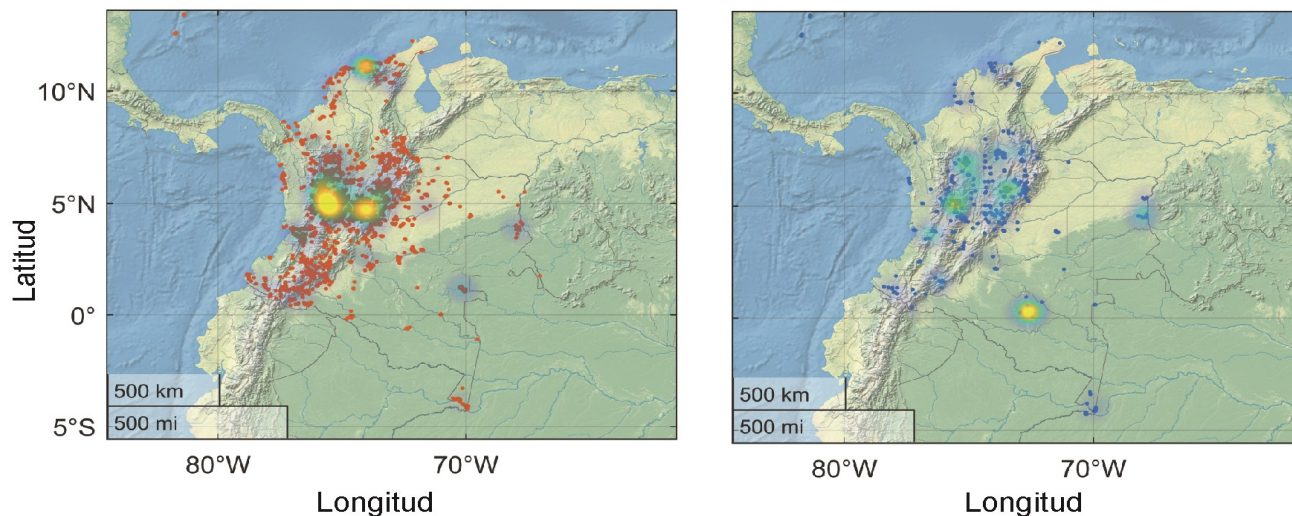
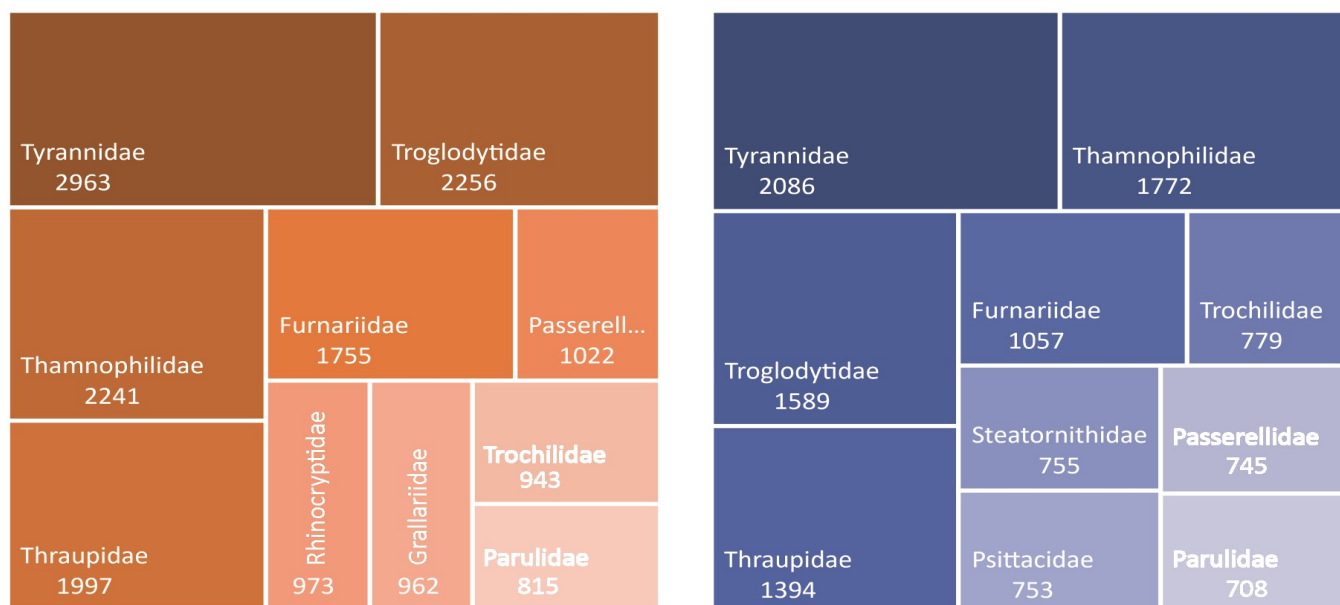
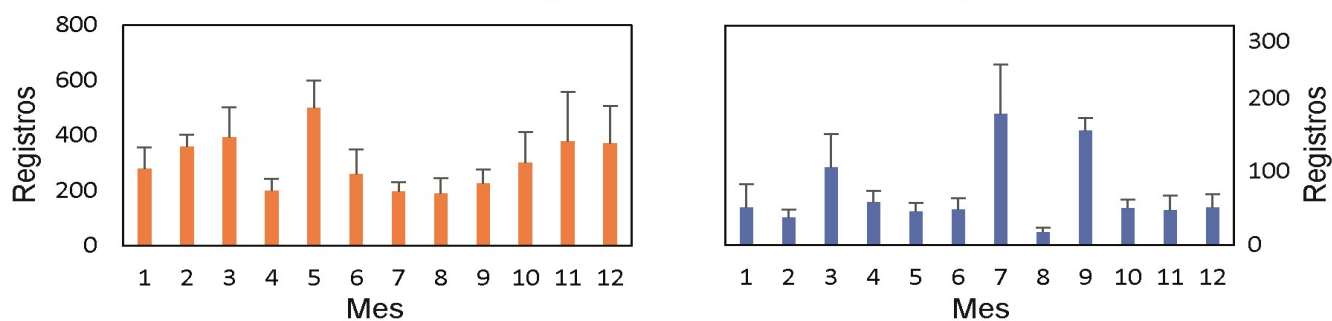
Macaulay Library excluyendo la CSA**Colección de Sonidos Ambientales****A) Cobertura geográfica****B) Diez familias mayormente representadas****C) Número de registros mensuales entre 2017 y 2022**

Figura 4. Comparativa de especímenes acústicos de aves colombianas almacenados en Macaulay Library del laboratorio de Ornitología de Cornell (color naranja) y la Colección de Sonidos Ambientales (color azul) **(A)** Distribución geográfica de los registros acústicos en Colombia, se muestra en color amarillo las zonas con mayor densidad de registros **(B)** Proporción de familias representativas en las colecciones de sonidos **(C)** Número de registros acústicos mensuales entre los años 2017 y 2022.

recursos fundamentales para realizar inventarios de biodiversidad más precisos.

Aunque en ese entonces, las comunicaciones y el envío de información a través de internet no era eficiente y no existían repositorios de sonidos disponibles en línea o aplicaciones para el reconocimiento automatizado de especies como Merlin ID o BirdNet, el equipo del GEMA lograba incorporar grabaciones acústicas en sus inventarios usando equipos con cintas de cassettes y libretas de campo. Estos equipos eran caros, pesados y conseguirlos se convertía en un reto. Las publicaciones inicialmente se hicieron en cassettes, pero años después, en el 2018, su nombre cambió a Colección de Sonidos Ambientales (CSA). En este momento la colección está encargada de salvaguardar 26,238 archivos de audio con grabaciones principalmente de vocalizaciones de aves.

7. Aprendizaje vocal y neuroetología del canto

7.1 Los primeros balbuceos. Como lo comentamos previamente, entre los factores promotores de la variación en el canto tenemos las habilidades de aprendizaje vocal; de hecho, esta característica está limitada a unos pocos linajes independientes de vertebrados. A la fecha, esta habilidad ha sido ampliamente reportada en cinco grupos de mamíferos (*i.e.*, cetáceos, elefantes, murciélagos, pinnípedos y humanos; Janik & Knörnschild 2021) y en solo tres clados de aves: los passeriformes oscines, los loros (psitácidos) y los colibríes (troquilidos) (Petkov & Jarvis 2012). Sin embargo, trabajos recientes han indagado aspectos de aprendizaje vocal en passeriformes suboscines (*e.g.*, Cotingidae, Kroodsma *et al.* 2013) o no-passeriformes como patos (*e.g.*, Anseriformes, ten Cate & Fullagar 2021). Desde un contexto filogenético, se pensaba inicialmente que el aprendizaje vocal era un carácter ancestral que se fue perdiendo en otros grupos; pero el consenso actual apunta a que esta habilidad apareció de manera independiente en distintos clados (Nowicki & Searcy 2014, Jarvis 2019). El aprendizaje vocal requiere de varios componentes incluyendo un sistema auditivo funcional y un circuito cerebral especializado que procesa la información del canto durante las etapas

críticas de desarrollo y a lo largo de la vida del organismo (Nottebohm 2005, Schmidt 2009). El estudio y entendimiento de esta compleja red neuronal responsable del aprendizaje vocal en las aves sentó las bases para reconocer la complejidad y funcionalidad de su cerebro (Jarvis *et al.* 2005), dejando en el pasado la famosa expresión despectiva de “cabeza de chorlito”.

Mientras que las aves en algunos grupos no requieren de períodos críticos para aprender el canto de su especie y el sistema de organización neuronal y motriz sólo atraviesa un proceso de maduración, las aves que aprenden sus cantos requieren de un tutor con el que interactúan durante la etapa sensoriomotora del aprendizaje para facilitar el establecimiento de conexiones neuronales no sólo en los circuitos asociados a la audición sino también en aquellos que controlan la producción vocal. Es de estos tutores vocales de quienes los juveniles adquieren una “plantilla acústica” de referencia que facilita el aprendizaje y la cristalización del canto. Este proceso además viene acompañado de un “escuchar y repetir”, comparable al balbuceo de los infantes humanos durante la adquisición del lenguaje y que en las aves se conoce como subcanto (Bolhuis & Moorman 2015). En esta etapa sensoriomotora, se da una armónica articulación entre núcleos auditivos que procesan la información acústica (*e.g.*, campo L, nidopallium caudomedial, mesopallium caudomedial), las áreas que controlan la estimulación y producción vocal (*e.g.*, HVC, nombre propio y antiguamente conocida como centro vocal superior) y las que controlan la musculatura para la respiración coordinada y motricidad del órgano vocal, la siringe (Nottebohm 2005). La retroalimentación auditiva constante que resulta de este proceso permite que el juvenil ajuste su práctica vocal para que los cantos que produce se asemejen a la “plantilla acústica” de referencia que obtuvo de su tutor (Eales 1985, Johnson *et al.* 2002, Rodríguez-Saltos 2017). Este proceso permite que las especies con aprendizaje vocal produzcan cantos estereotipados a pesar de la variación individual existente.

Por otra parte, algunas especies no sólo aprenden sus cantos, sino que esta habilidad no está restringida a

las etapas tempranas del desarrollo; estas especies pueden aprender incluso durante la adultez. Esta condición se conoce como aprendizaje abierto y permite mayor flexibilidad y variación en el canto en comparación a las especies que aprenden a edades tempranas (*i.e.* aprendizaje cerrado) (Farabaugh *et al.* 1994, Schmidt 2009, Araya-Salas & Wright 2013). Actualmente, los neurocientíficos buscan entender cuáles son las condiciones genéticas y procesos neuronales que permiten que unas especies aprendan a lo largo de toda su vida mientras que otras tienen una etapa crítica para el aprendizaje. Las redes perineuronales, que se acumulan alrededor de las interneuronas que expresan parvalbúmina en distintas regiones del sistema de control del canto, parecen contribuir a la regulación de la plasticidad neuronal durante el aprendizaje. El mecanismo parece radicar en el incremento de redes perineuronales en ciertas regiones necesarias para el aprendizaje del canto a medida que éste se cristaliza y los períodos de aprendizaje se cierran (Cornez *et al.* 2020, Sakata & Yazaki-Sugiyama 2020). En las especies que aprenden siendo adultas y cuyo comportamiento vocal incrementa durante la época reproductiva, la presencia de redes perineuronales en los núcleos que controlan el canto parece variar siguiendo un patrón temporal similar (Cornez *et al.* 2020).

7.2 El cerebro de las hembras y su canto.- El dimorfismo sexual en el circuito cerebral que controla el canto en aves ha inclinado el interés de estudio del canto hacia los machos, ya que muchos de los núcleos cerebrales involucrados no se desarrollan en hembras o son reducidos en tamaño, dando como resultado que muchas hembras no produzcan cantos (Nottebohm 1980). Estas condiciones han resultado en que, por décadas, el estudio del comportamiento vocal en hembras se haya descuidado. Afortunadamente, esta tendencia está cambiando en los últimos años, demostrando que las hembras pueden exhibir comportamientos complejos asociados al uso de vocalizaciones (Ficken *et al.* 2002, Riebel 2003, Wilkins *et al.* 2020).

A pesar de que las habilidades vocales de las hembras no han sido estudiadas ampliamente, sus preferencias por ciertos cantos o características acústicas específicas han recibido mayor atención, ya que estas

preferencias tienen implicaciones evolutivas en el contexto de selección sexual y éxito reproductivo (Nowicki & Searcy 2004), por ejemplo, la preferencia por cantos locales versus cantos foráneos. Cuando sucede el aprendizaje de la preferencia del canto es aún un tema de discusión, ya que puede o no ocurrir durante una fase sensible temprana similar a la que tienen los machos de algunas especies durante el aprendizaje vocal (Riebel 2003, Hernández *et al.* 2008). La mayoría de trabajos en las últimas décadas sobre neuroetología en aves se han realizado usando como modelos de estudio especies de zonas templadas como pinzones cebra y canarios. En pinzones cebra, se ha experimentado con lesiones en el núcleo HVC de hembras sin encontrar diferencias en la preferencia del canto, por lo que las hembras en general expresan una mayor preferencia por cantos de conspecíficos que por heteroespecíficos. Sin embargo, cuando las lesiones involucran áreas auditivas del cerebro, esta capacidad de discriminación se pierde, eliminando la preferencia del canto (MacDougall-Shackleton *et al.* 1998).

Complementariamente, se conoce que las hormonas sexuales alteran la organización del cerebro durante el desarrollo temprano. Esto ha llevado a que se realicen experimentos de tratamiento hormonal con testosterona para masculinizar a las hembras ovariectomizadas de canarios, logrando un crecimiento en estos núcleos del control del canto y haciendo que las hembras produzca vocalizaciones con patrones y una estructura y complejidad similar a la de los machos (Nottebohm 1980). A pesar de que tradicionalmente se ha considerado a la testosterona y los estrógenos como hormonas masculinas y femeninas respectivamente, el estradiol (una forma de estrógeno) cumple un papel crítico en las funciones sexuales de los machos. Se ha identificado que la presencia de receptores de estrógenos en el cerebro de las aves determina la diferenciación y función del sistema de control del canto y, dado que los niveles de estrógenos circulantes son bajos en machos, existen procesos internos de conversión de la testosterona circulante en estradiol (Metzdorf *et al.* 1999). Por otro lado, recientemente han encontrado que durante el desarrollo temprano los niveles de estrógenos en el cerebro son importantes para evitar

una atrofia de los núcleos y circuitos neuronales del canto enfatizando no sólo el efecto de activación sino también el efecto organizacional de esta hormona. Estos argumentos además soportan la hipótesis de que el aprendizaje del canto es un carácter ancestral en ambos sexos y que, posteriormente, se fue suprimiendo en hembras de algunas especies (Choe *et al.* 2021).

Particularmente en el país, el estudio de aspectos neurobiológicos asociados a las vocalizaciones de las aves silvestres es un escenario aún en crecimiento. Algunos trabajos en congresos relacionados con enfoques fisiológicos se han acercado principalmente hacia el entendimiento de la biomecánica y la producción vocal y por el momento hemos identificado un trabajo sobre la localización de núcleos cerebrales relacionados con el canto mediante tinciones histológicas en *Turdus fuscater* y *T. ignobilis* (Perea-Espina 2019).

8. Tendencias, oportunidades y prioridades de estudio en Colombia

El uso de la bioacústica en Colombia ha cambiado a la largo de los últimos 20 años, más aún con la reciente llegada de la ecoacústica. Mientras que en sus inicios fue principalmente una herramienta para la identificación y el apoyo en resolución de controversias taxonómicas; ahora es también usada para probar hipótesis de investigación en torno a procesos evolutivos, conductuales, fisiológicos, ecológicos, de conservación y hasta tecnológicos (Anexo 1). Esta transformación y diversificación de temas demuestra el potencial de este campo multidisciplinario que permite la acogida de profesionales en diversos campos para fortalecer la investigación y la divulgación de la ciencia, abordando incluso aspectos sociales. Si bien todos los temas y subtemas explorados son valiosos para el crecimiento de la bioacústica y la ecoacústica, a continuación, presentamos algunos enfoques de interés y que se convierten en prioridades de estudio en este campo (Tabla 2).

Por ejemplo, el estudio del canto de las hembras es un campo prometedor que requiere atención

inmediata, así que debemos reconocer los vacíos de información, el porqué de estos y cómo pueden abordarse. En esta revisión encontramos cinco investigaciones publicadas en el país sobre el comportamiento vocal en hembras y aunque existen estudios en curso o investigaciones no publicadas o en proceso de publicación (*e.g.*, Tyrannidae; D. Botero, datos no publicados), no deja de sorprender la baja cantidad de estudios sobre el tema. En parte, esto se relaciona a sesgos de género en la ornitología donde sólo desde las décadas de los setentas y ochentas se empiezan a nombrar ornitólogas colombianas (Córdoba-Córdoba 2009). Existe una apuesta por la inclusión de diversos públicos en la ornitología y en las ciencias en general a través de iniciativas como aumentar los esfuerzos de financiación, de publicación, el fortalecimiento de capacidades y el trabajo colaborativo (*e.g.*, Soares *et al.* 2022, Inzunza *et al.* 2023). Nuestra propuesta es expandir esa inclusión tanto a las personas que realizan la investigación científica como a los sujetos de estudio, siguiendo algunas alternativas como indicar en los títulos de los artículos cuando se estudia un solo sexo y que los financiadores favorezcan las propuestas que investigan ambos sexos y analizan los datos de manera independiente (Beery & Zucker 2011). Enfoques como el aprendizaje y preferencia del canto en hembras a partir de aspectos conductuales y neurofisiológicos, variabilidad, dominancia y/o ausencia de repertorios vocales en las hembras (Logue *et al.* 2007, Price *et al.* 2008, Illes 2015, Campbell *et al.* 2016, Odom *et al.* 2016, Moyer *et al.* 2022) no se han desarrollado ampliamente en el Neotrópico ni en Colombia, por lo que pueden ser algunas ideas potenciales a desarrollar de manera colaborativa en el país con mayor diversidad de especies de aves en el mundo, pero también de multiplicidad de gentes y visiones.

Los estudios en el país que relacionan las vocalizaciones con la urbanización en general aportan evidencia a la hipótesis de que la actividad vocal ocurre más temprano en áreas urbanas con altos niveles de ruido, posiblemente como estrategia de evasión de interferencia acústica. Además, existe una tendencia en los estudios a documentar cambios en las frecuencias de algunos elementos de las señales

Tabla 2. Resumen de prioridades de estudio en bioacústica para la ornitología en Colombia.

Enfoque	Descripción
Promotores de la variación de las vocalizaciones	Abordar y evaluar los factores que promueven el cambio en las vocalizaciones de diversos grupos con el apoyo de múltiples disciplinas y diferentes técnicas (<i>e.g.</i> , filogeografía, genética, modelamiento de nicho ecológico, etología, etc.)
Vocalizaciones en hembras y duetos	Incrementar el entendimiento del fenómeno de comunicación vocal en hembras, funciones y complejidad de cantos y llamados, así como los comportamientos cooperativos y de alternancia vocal como los duetos.
Biomecánica	Incrementar los estudios en aspectos de la biomecánica relacionada con la producción vocal.
Audición y neurobiología	Realizar experimentos e investigaciones para comprender los sustratos neurobiológicos asociados a la audición y al control vocal en especies neotropicales.
Ruido y urbanización	Estudios que evalúen los efectos del ruido antropogénico sobre los comportamientos vocales, así como los efectos de la urbanización en estas conductas, incluyendo contaminación acústica y lumínica en especies con distintos niveles de tolerancia a la urbanización.
Experimentos de reproducción de cantos ('playback')	Mayor entendimiento desde la dimensión del receptor, realizar experimentos de reproducción de cantos en estudios de comportamiento e incluir elementos multisensoriales (señales acústicas y visuales), pero también entendiendo sus efectos negativos en el uso de prácticas para el aviturismo.
Capacitación con impacto social	Fomentar actividades de capacitación de guías para el aviturismo en las comunidades locales con enfoque en la identificación auditiva de especies, promoviendo la inclusión social y generando oportunidades de crecimiento.

acústicas, aunque se requieren de estudios experimentales para poner a prueba este patrón. Sugerimos que los estudios futuros exploren la variación en los rasgos espectrales y temporales de las aves a lo largo de gradientes de urbanización, enfocándose en evaluar las respuestas a nivel de especie y, en la medida de lo posible, considerando especies con diferentes niveles de tolerancia a la urbanización. Además, es necesario que los estudios puedan tener en cuenta la influencia de otros factores como la fase lunar, la nubosidad y la temperatura; factores ecológicos como la densidad poblacional, la estructura social, y la dinámica de la temporada reproductiva así como vemos imprescindible generar mapas de contaminación lumínica en las ciudades colombianas, con el fin de iniciar investigaciones sobre su influencia en los ciclos de actividad de las aves y otros organismos.

Por otro lado, es importante equilibrar la balanza al estudiar los sistemas de comunicación acústica y no quedarnos con solo el escenario de análisis desde el emisor, es necesario entender la dimensión del receptor ante la variación vocal. Aquí adquieren relevancia los diseños y estudios de 'playback' en los que se ponen a prueba las respuestas conductuales y

fisiológicas de los individuos ante una estimulación acústica. El uso del playback puede incrementar nuestro conocimiento sobre la conducta y el papel de las vocalizaciones en el reconocimiento entre las aves o incluso tener un mayor acercamiento para entender los procesos neurofisiológicos asociados a las capacidades de audición y su evolución. A pesar de la importancia de las técnicas de playback, su uso también ha tenido impacto en actividades de turismo de observación de aves por lo que se hace necesario procurar su apropiada aplicación bajo estándares éticos (*e.g.*, Guía de buenas prácticas para la actividad de aviturismo en Colombia; Ochoa *et al.* 2017), ya que su uso indiscriminado puede provocar cambios en los patrones conductuales naturales de las aves (Watson *et al.* 2019). No obstante, si se da un buen manejo de las herramientas y técnicas de la bioacústica y la ecoacústica, se puede generar oportunidades de crecimiento e inclusión. Este es el caso de interesantes iniciativas como la creación de la primera 'ruta de aviturismo para personas con discapacidad visual de Sudamérica' en el bosque de niebla San Antonio en el Valle del Cauca, Colombia, donde los sonidos de las aves adquieren un nuevo significado para las personas y sus comunidades.

Como podemos identificar en la literatura, la mayor parte de trabajos se enfoca en ambientes naturales o antropizados; pero hay un escenario que poco hemos visto en el uso de la bioacústica y está relacionado con los centros de conservación, mantenimiento o recepción de fauna silvestre como zoológicos y acuarios. El potencial que ofrecen estos centros en términos de la información biológica que se puede obtener para el desarrollo de investigaciones y educación ambiental en torno a los sonidos y la comunicación acústica de los animales es bastante amplia y puede ser el punto de partida para el conocimiento de muchas especies que difícilmente podemos trabajar en estado silvestre (*e.g.*, pavón cornudo, *Oreophasis derbianus*, González-García *et al.* 2017). Esperamos próximamente ver que el interés de los investigadores en este escenario y el apoyo de estos centros e instituciones se vea incrementado en los próximos años ya que es todo un camino aún por explorar.

Respecto a los reservorios acústicos, creemos que es fundamental fortalecer los lazos cooperativos entre las colecciones privadas a nivel nacional, la revista OC y la CSA. Se requiere incrementar el alcance de este tipo de colecciones para que cada vez más investigadores puedan hacer uso de la información que estas colecciones albergan. Acciones concretas como sugerir a los autores la conservación de los especímenes acústicos en colecciones nacionales fortalecerá la bioacústica colombiana, su proyección internacional y finalmente la interoperabilidad de la información sobre biodiversidad. Hacemos un llamado a que en una primera instancia a nivel regional la revista OC, la CSA y los investigadores que tengan colecciones de sonido privadas, busquen acuerdos de colaboración para facilitar la integración de esta información y su resguardo, así como de participar de foros y espacios de intercambio académico en este campo (*e.g.*, Red Ecoacústica Colombiana REC [red-ecoacustica-colombiana@googlegroups.com]).

Finalmente, la investigación en neuroetología asociada a la producción y aprendizaje del canto ha estado históricamente sesgada hacia el estudio de especies en las zonas templadas. Si bien se han realizado avances significativos en el entendimiento del

funcionamiento del cerebro, la comunicación y el comportamiento social, aún se desconoce la diversidad de comportamientos que los animales exhiben en los trópicos. El Neotrópico en particular ofrece amplias oportunidades para investigar comportamientos complejos y los mecanismos neuronales que los generan, no solo por la amplia diversidad de especies sino de los hábitats existentes. Por ejemplo, la presencia de duetos en cucaracheros a lo largo de todo el año ha contribuido al entendimiento de conceptos como comportamientos de cooperación y alternancia en el canto (Fortune *et al.* 2011).

En definitiva, podemos considerar que el escenario y las herramientas están dadas para que en el país se puedan liderar investigaciones y afianzar colaboraciones en el marco del entendimiento de la comunicación acústica en un grupo altamente diverso como las aves, en donde la variabilidad de temas que podemos encontrar dentro del estudio de sus vocalizaciones nos permite generar nuevas preguntas y probar hipótesis promoviendo la aplicabilidad de la bioacústica más allá del contexto taxonómico y descriptivo.

Conclusiones

Los escenarios de investigación, desarrollo tecnológico y divulgación que ofrece la bioacústica para la ornitología colombiana y para la región neotropical son cada vez más amplios. Si bien el principal aporte de la bioacústica en el país se evidencia en las investigaciones que apoyan a la sistemática y resolución de controversias taxonómicas que han promovido un incremento a la diversidad de aves del país, podemos identificar un crecimiento en los temas que se abordan desde la bioacústica. Por ejemplo, los estudios sobre el aprendizaje vocal y la variabilidad geográfica de las vocalizaciones nos invitan a explorar de forma más detallada la variabilidad en las vocalizaciones y las habilidades de aprendizaje vocal en diversos grupos de aves, así como su contexto evolutivo. Asimismo, se ha comenzado a poner la vista en temáticas poco exploradas, en parte a los sesgos propios de la investigación y el contexto social, así como sesgos geográficos, sexuales y culturales en el

conocimiento donde particularmente el estudio del canto en las hembras ha sido fuertemente afectado por esta situación, limitando nuestra comprensión sobre la historia evolutiva de este rasgo.

En esta revisión identificamos una proporción semejante entre trabajos provenientes de fuentes de información primaria con secundaria o gris, lo que nos indica el aporte de escenarios de discusión académica como congresos, foros y simposios que permiten identificar el interés de la comunidad académica en torno a las temáticas (e.g., primer congreso colombiano de bioacústica y ecoacústica, <http://humboldt.org.co/congreso-ccbe2022/>). Aunque, el proceso de transformación de estos trabajos en fuentes de información primaria aún está en desarrollo, destacamos el valor de estas aproximaciones, ya que por un lado son impulsores del interés de estudio en el campo y por otro lado indican la diversificación de temas dentro del mismo (e.g., monitoreo, comportamiento, ecología), por lo que esperamos que en la próxima década estas sean las temáticas que concentren la mayoría de los aportes en bioacústica. Por otro lado, resaltamos el papel de las colecciones biológicas y el acervo acústico que estas pueden almacenar para una infinidad de estudios de amplia escala geográfica y temporal. Dada la importancia de los especímenes acústicos, recomendamos fortalecer la recolección de sonidos de aves en el territorio nacional, como una estrategia para liderar cada vez con mayor fuerza el estudio bioacústica de las aves.

Agradecimientos

A Matt Medler de la Macaulay Library del Laboratorio de Ornitología de Cornell por su apoyo en la obtención de datos sobre grabaciones para Colombia, a Alejandro Gordillo el Museo de Zoología de la UNAM por sus valiosos comentarios al manuscrito. RAF-G agradece a la Facultad de Ciencias y a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico DGAPA de la UNAM del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México CONACyT (SNI CVU#635378) por el apoyo recibido durante la realización de este manuscrito, así como a la revista Ornitología Colombiana por la invitación para realizar este aporte.

Agradecemos las recomendaciones de dos revisores anónimos y las de los editores Loreta Rosselli y Gary Stiles cuyas sugerencias ayudaron a mejorar este manuscrito.

Contribución de los autores

RAF-G: Conceptualización, desarrollo, organización y coordinación del equipo colaborador, escritura y revisión del manuscrito. Los autores participaron en la construcción de los textos en diferentes secciones: RAF-G y WK-P: Estado del arte / Sonares que describen y delimitan su evolución. OL: Aves y paisajes: Monitoreando sus sonidos. DBR, NNR, NOP, RAF-G: El canto de las hembras. OHM-G: Urbanización y bioacústica. MA-R, OL-R, RAF-G, GAB, HEP-S: Capturando sonidos. RAF-G y FGD: Aprendizaje vocal y neuroetología del canto. Todos los autores participaron en la escritura, revisión y edición final del manuscrito.

Literatura citada

- ARAYA-SALAS, M. & T. WRIGHT. 2013. Open-ended song learning in a hummingbird. *Biology Letters* 9(5): 20130625. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2013.0625>.
- ARROYO-SOLÍS, A., J.M. CASTILLO, E. FIGUEROA, J.L. LÓPEZ-SÁNCHEZ & H. SLABBEKOORN. 2013. Experimental evidence for an impact of anthropogenic noise on dawn chorus timing in urban birds. *Journal of Avian Biology* 44 (3): 288–296. <https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2012.05796.x>.
- AVENDAÑO, J.E. & C.D. CADENA. 2021. Territorial males do not discriminate between local and novel plumage phenotypes in a tropical songbird species complex: implications for the role of social selection in trait evolution. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 75(2). <https://doi.org/10.1007/s00265-021-02976-8>.
- AVENDAÑO, J.E., A.M. CUERVO, J.P. LÓPEZ-O., N. GUTIÉRREZ-PINTO, A. CORTÉS-DIAGO & C.D. CADENA. 2015. A new species of tapaculo (Rhinocryptidae: *Scytalopus*) from the Serranía de Perijá of Colombia and Venezuela. *Auk* 132(2): 450–466. <https://doi.org/10.1642/AUK-14-166.1>.
- BALDO, S. & D.J. MENNILL. 2011. Vocal behavior of Great Curassows, a vulnerable Neotropical bird. 82(3): 249–258. <https://doi.org/10.1111/j.>
- BAPTISTA, L.F. & S.L.L. GAUNT. 1994. Advances in studies of avian sound communication. *The Condor* 96(3): 817–830. <https://doi.org/10.2307/1369489>.
- BARKER, N.K. 2008. Bird song structure and transmission in the neotropics: trends, methods and future directions. *Ornitología Neotropical* 19(2): 175–199.
- BEERY, A.K. & I. ZUCKER. 2011. Sex bias in neuroscience and biomedical research. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1235: 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2010.07.002>.
- BENÍTEZ SALDÍVAR, M.J. & V. MASSONI. 2018. Song structure

- and syllable and song repertoires of the Saffron Finch (*Sicalis flaveola pelzelni*) breeding in Argentinean pampas. *Bioacoustics* 27(4): 327–340. <https://doi.org/10.1080/09524622.2017.1344932>. Taylor & Francis.
- BOLHUIS, J.J. & S. MOORMAN. 2015. Birdsong memory and the brain: In search of the template. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 50: 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.11.019>.
- BONCORAGLIO, G. & N. SAINO. 2007. Habitat structure and the evolution of bird song: A meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Functional Ecology* 21(1): 134–142. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01207.x>.
- BOTERO-RESTREPO, D. 2016. Evaluación del efecto del ruido antropogénico en la estructura del canto de *Zonotrichia capensis* (Müller, 1776) (Passeriformes, Emberizidae) en una zona rural y una urbana de la Sabana de Bogotá, Colombia. Tesis de grado. Universidad INCCA de Colombia.
- BRADBURY, J.W. & S.L. VEHCAMP. 2011. Principles of animal communication. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.
- BURBIDGE, T., T. PARSON, P.C. CAYCEDO-ROSALES, C.D. CADENA & H. SLABBEKOORN. 2015. Playbacks revisited: asymmetry in behavioral response across an acoustic boundary between two parapatric bird species. *Behaviour* 152(14): 1933–1951. <https://doi.org/10.1163/1568539X-00003309>.
- BUXTON, R.T., E. BROWN, L. SHARMAN, C.M. GABRIELE & M.F. MCKENNA. 2016. Using bioacoustics to examine shifts in songbird phenology. *Ecology and Evolution* 6(14): 4697–4710. <https://doi.org/10.1002/ece3.2242>.
- CADENA, C.D. & A.M. CUERVO. 2010. Molecules, ecology, morphology, and songs in concert: how many species is *Arremon torquatus* (Aves: Emberizidae)? *Biological Journal of the Linnean Society* 99(1): 152–176. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2009.01333.x>.
- CAMARGO-MARTÍNEZ, P.A., F.G. STILES & H.F. RIVERA-GUTIÉRREZ. 2016. El papel de la interacción entre la adquisición del canto y la fragmentación de bosques altoandinos en la divergencia fenotípica del canto en passeriformes. P. In: Libro de resúmenes V Congreso Colombiano de Ornitología. Asociación Colombiana de Ornitología.
- CAMPBELL, S.K., A.L. MORALES-PÉREZ, J.F. MALLOY, O.C. MUELLERKLEIN, J.A. KIM, K.J. ODOM & K.E. OMLAND. 2016. Documentation of female song in a newly recognized species, the Puerto Rican Oriole (*Icterus portoricensis*). *The Journal of Caribbean Ornithology* 29: 28–36.
- CATCHPOLE, C.K. & P.J.B. SLATER. 2008. Bids songs: biological themes and variations. Cambridge University Press, Cambridge.
- TEN CATE, C. & P.J. FULLAGAR. 2021. Vocal imitations and production learning by Australian musk ducks (*Biziura lobata*). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 376(1836). <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0243>.
- CHACE, J.F. & J.J. WALSH. 2006. Urban effects on native avifauna: A review. *Landscape and Urban Planning* 74(1): 46–69. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.08.007>.
- CHAPARRO-HERRERA, S. & A. LOPERA-SALAZAR. 2019. Descripción del nido, huevos y comportamientos reproductivos del Gorrión-montés paisa (*Atlapetes blancae*). *Ornitología Colombiana* 17: eNB08.
- CHAVES, J.C., A.M. CUERVO, M.J. MILLER & C.D. CADENA. 2010. Revising species limits in a group of Myrmeciza Antbirds reveals a cryptic species within *M. laemosticta* (Thamnophilidae). *The Condor* 112(4): 718–730. <https://doi.org/10.1525/cond.2010.100098>.
- CHIVER, I., B.J.M. STUTCHBURY & E.S. MORTON. 2015. The function of seasonal song in a tropical resident species, the Red-throated Ant-tanager (*Habia fuscicauda*). *Journal of Ornithology* 156(1): 55–63. <https://doi.org/10.1007/s10336-014-1139-4>.
- CHOE, H.N., J. TEWARI, K.W. ZHU, M. DAVENPORT, H. MATSUNAMI & E.D. JARVIS. 2021. Estrogen and sex-dependent loss of the vocal learning system in female zebra finches. *Hormones and Behavior* 129: 104911. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2020.104911>. Elsevier Inc.
- CÓRDOBA-CÓRDOBA, S. 2009. Historia de la ornitología colombiana: sus colecciones científicas, investigadores y asociaciones. *Boletín SAO* 19(1&2): 1–26.
- CORNEZ, G., C. COLLIGNON, W. MÜLLER, G.F. BALL, C.A. CORNIL & J. BALTHAZART. 2020. Seasonal changes of perineuronal nets and song learning in adult canaries (*Serinus canaria*). *Behavioral Brain Research* 380: 112437. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.112437>. Elsevier.
- CUERVO, A.M., C.D. CADENA, N. KRABBE & L.M. RENJIFO. 2005. *Scytalopus stilesi*, a new species of tapaculo (Rhinocryptidae) from the Cordillera Central of Colombia. *Auk* 122(2): 445–463. [https://doi.org/10.1642/0004-8038\(2005\)122\[0445:SSANSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1642/0004-8038(2005)122[0445:SSANSO]2.0.CO;2).
- DAWKINS, R. 1976. The selfish gene. Oxford University Press, Oxford.
- DERRYBERRY, E.P., N. SEDDON, G.E. DERRYBERRY, S. CLARAMUNT, G.F. SEEHOLZER, R.T. BRUMFIELD & J.A. TOBIAS. 2018. Ecological drivers of song evolution in birds: Disentangling the effects of habitat and morphology. *Ecology and Evolution* 8: 1890–1905. <https://doi.org/10.1002/ece3.3760>.
- DORADO-CORREA, A.M., M. RODRÍGUEZ-ROCHA & H. BRUMM. 2016. Anthropogenic noise, but not artificial light levels predicts song behavior in an equatorial bird. *Royal Society Open Science* 3(7): 160231. <https://doi.org/10.1098/rsos.160231>.
- EALES, L.A. 1985. Song learning in zebra finches: some effects of song model availability on what is learnt and when. *Animal Behaviour* 33(4): 1293–1300. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(85\)80189-5](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(85)80189-5).
- ECHEVERRY-GALVIS, M.Á., O. ACEVEDO-CHARRY, J.E. AVENDAÑO, C. GÓMEZ, F.G. STILES, F.A. ESTELA & A.M. CUERVO. 2022. Lista oficial de las aves de Colombia 2022: Adiciones, cambios taxonómicos y actualizaciones de estado. *Ornitología Colombiana* 2(22).
- EVANS, K.L., S.E. NEWSON & K.J. GASTON. 2009. Habitat influences on urban avian assemblages. *Ibis* 151(1): 19–39. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2008.00898.x>.
- EY, E. & J. FISHER. 2009. The “Acoustic adaptation hypothesis”—A review of the evidence from birds, anurans and mammals. *Bioacoustics* 19(1–2): 21–48. <https://doi.org/10.1080/09524622.2009.9753613>.
- FARABAUGH, S.M., A. LINZENBOLD & R.J. DOOLING. 1994. Vocal plasticity in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*): Evidence for social factors in the learning of contact calls. *Journal of Comparative Psychology* 108(1): 81–92. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.108.1.81>.
- FICKEN, M.S., K.M. RUSCH, S.J. TAYLOR & D.R. POWERS. 2002. Reproductive behavior and communication in blue-

- throated hummingbirds. *Wilson Bulletin* 114(2): 197–209. [https://doi.org/10.1676/0043-5643\(2002\)114\[0197:RBACIB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1676/0043-5643(2002)114[0197:RBACIB]2.0.CO;2).
- FIERRO-CALDERÓN, E. 2010. Notas sobre la historia natural del cololí (*Theristicus caudatus*, Threskiornithidae) en el suroeste de Colombia. *Ornitología Colombiana* 9(9): 11–24.
- FISCHER, J.D., S.C. SCHNEIDER, A.A. AHLERS & J.R. MILLER. 2015. Categorizing wildlife responses to urbanization and conservation implications of terminology. *Conservation Biology* 29(4): 1246–1248. <https://doi.org/10.1111/cobi.12451>.
- FJELDSÅ, J. & N. KRABBE. 1990. *Birds of the High Andes*. University of Copenhagen.
- FORTUNE, E.S., C. RODRÍGUEZ, D. LI, G.F. BALL & M.J. COLEMAN. 2011. Neural mechanisms for the coordination of duet singing in wrens. *Science* 334(6056): 666–670. <https://doi.org/10.1126/science.1209867>.
- FRANCIS, C.D., C.P. ORTEGA & A. CRUZ. 2009. Noise pollution changes avian communities and species interactions. *Current Biology* 19(16): 1415–1419. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.06.052>.
- FULLER, R.A., P.H. WARREN & K.J. GASTON. 2007. Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology Letters* 3(4): 368–370. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2007.0134>.
- GIL, D. & H. BRUMM. 2014. Acoustic communication in the urban environment. Pp. 69–83. In: *Avian Urban Ecology*. Oxford University Press.
- GIL, D., M. HONARMAND, J. PASCUAL, E. PÉREZ-MENA & C. MACÍAS GARCÍA. 2015. Birds living near airports advance their dawn chorus and reduce overlap with aircraft noise. *Behavioral Ecology* 26(2): 435–443. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru207>.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, F., J.R. SOSA-LÓPEZ, J.F. ORNELAS, P. JORDANO, V. RICO-GRAY & V. URIOS MOLINER. 2017. Individual variation in the booming calls of captive Horned Guans (*Oreophaps derbianus*): an endangered Neotropical mountain bird. *Bioacoustics* 26(2): 185–198. <https://doi.org/10.1080/09524622.2016.1233513>.
- GONZÁLEZ, C. & J.F. ORNELAS. 2014. Acoustic divergence with gene flow in a lekking hummingbird with complex songs. *PLoS ONE* 9(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109241>.
- GRAHAM, B.A., L. SANDOVAL, T. DABELSTEEN & D.J. MENNILL. 2017. A test of the Acoustic Adaptation Hypothesis in three types of tropical forest: degradation of male and female Rufous-and-white Wren songs. *Bioacoustics* 26(1): 37–61. <https://doi.org/10.1080/09524622.2016.1181574>.
- HAHN, A.H., A. KRYSLER & C.B. STURDY. 2013. Female song in black-capped chickadees (*Poecile atricapillus*): Acoustic song features that contain individual identity information and sex differences. *Behavioral Processes* 98: 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2013.05.006>. Elsevier B.V.
- HAINES, C.D., E.M. ROSE, K.J. ODOM & K.E. OMLAND. 2020. The role of diversity in science: a case study of women advancing female birdsong research. *Animal Behavior* 168: 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2020.07.021>.
- HALFWERK, W., L.J.M. HOLLEMAN, C.M. LESSELLS & H. SLABBEKOORN. 2011. Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of Applied Ecology* 48(1): 210–219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01914.x>.
- HALL, M.L. 2009. A review of vocal duetting in birds. Pp. 67–121. In: *Advances in the Study of Behavior*.
- HARDT, B. & L. BENEDICT. 2021. Can you hear me now? A review of signal transmission and experimental evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Bioacoustics* 30(6): 716–742. <https://doi.org/10.1080/09524622.2020.1858448>. Taylor & Francis.
- HASELMAYER, J. & J.S. QUINN. 2000. A comparison of point counts and sound recording as bird survey methods in Amazonian southeast Peru. *The Condor* 102(4): 887–893. <https://doi.org/10.2307/1370317>.
- HATHCOCK, T.J. & L. BENEDICT. 2018. Conspecific challenges provoke female canyon wrens to sing but not to duet. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 72(12): 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00265-018-2625-0>. Behavioral Ecology and Sociobiology.
- HERNANDEZ, A.M., L.S. PHILLMORE & S.A. MACDOUGALL-SHACKLETON. 2008. Effects of learning on song preferences and Zenk expression in female songbirds. *Behavioral Processes* 77(2): 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2007.11.001>.
- HILTY, S.L. & W.L. BROWN. 1986. *A Guide to the Birds of Colombia*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- HOPKINS, G.R., K.J. GASTON, M.E. VISSER, M.A. ELGAR & T.M. JONES. 2018. Artificial light at night as a driver of evolution across urban–rural landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16(8): 472–479. <https://doi.org/10.1002/fee.1828>.
- HU, Y. & G.C. CARDOSO. 2009. Are bird species that vocalize at higher frequencies preadapted to inhabit noisy urban areas? *Behavioral Ecology* 20(6): 1268–1273. <https://doi.org/10.1093/beheco/arp131>.
- ILLES, A.E. 2015. Context of female bias in song repertoire size, singing effort, and singing independence in a cooperatively breeding songbird. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 69(1): 139–150. <https://doi.org/10.1007/s00265-014-1827-3>.
- ILLES, A.E. & L. YUNES-JIMENEZ. 2009. A female songbird out-sings male conspecifics during simulated territorial intrusions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276: 981–986. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1445>.
- INZUNZA, E.R., K.L. COCKLE, M. GABRIELA, N. MONTELLANO, C.S. FONTANA, C.C. LIMA, M.A. ECHEVERRY-GALVIS, F. ANGULO, L.M. VALDÉS, E. VELARDE & S. CUADROS. 2023. How to include and recognize the work of ornithologists based in the Neotropics: Fourteen actions for Ornithological Applications, Ornithology and other global-scope journals. (February): 1–11.
- ISLER, M.L., R.T. CHESSEY, M.B. ROBBINS, A.M. CUERVO, C.D. CADENA & P.A. HOSNER. 2020. Taxonomic evaluation of the *Grallaria rufula* (Rufous Antpitta) complex (Aves: Passeriformes: Grallariidae) distinguishes sixteen species. *Zootaxa* 4817(1): 1–74. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4817.1.1>.
- ISLER, M.L., P.R. ISLER & B.M. WHITNEY. 1998. Use of vocalizations to establish species limits in antbirds (Passeriformes: Thamnophilidae). *The Auk* 115(3): 577–590. <https://doi.org/10.2307/4089407>.
- JACOBS, D.S. & A. BASTIAN. 2016. *Predator–Prey interactions: Co-evolution between bats and their prey*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- JANIK, V.M. & M. KNÖRNSCHILD. 2021. Vocal production learning in mammals revisited. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*

- 376(1836). <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0244>.
- JARVIS, E.D. 2019. Evolution of vocal learning and spoken language. *Science* 366(6461): 50–54. <https://doi.org/10.1126/science.aax0287>.
- JARVIS, E.D., O. GÜNTÜRKÜN, L. BRUCE, A. CSILLAG, H. KARTEN, W. KUENZEL, L. MEDINA, G. PAXINOS, D.J. PERKEL, T. SHIMIZU, G. STRIEDTER, J. MARTIN WILD, G.F. BALL, J. DUGAS-FORD, S.E. DURAND, G.E. HOUGH, S. HUSBAND, L. KUBIKOVA, D.W. LEE. 2005. Avian brains and a new understanding of vertebrate brain evolution. *Nature Reviews Neuroscience* 6(2): 151–159. <https://doi.org/10.1038/nrn1606>.
- JOHNSON, F., K. SODERSTROM & O. WHITNEY. 2002. Quantifying song bout production during zebra finch sensory-motor learning suggests a sensitive period for vocal practice. *Behavioral Brain Research* 131(1–2): 57–65. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(01\)00374-6](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(01)00374-6).
- KOPUCHIAN, C., D. ALEJANDRO LIJMAER, P. LUIS TUBARO & P. HANDFORD. 2004. Temporal stability and change in a microgeographical pattern of song variation in the rufous-collared sparrow. *Animal Behavior* 68(3): 551–559. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2003.10.025>.
- KRABBE, N.K., T.S. SCHULENBERG, P.A. HOSNER, K. V. ROSENBERG, T.J. DAVIS, G.H. ROSENBERG, D.F. LANE, M.J. ANDERSEN, M.B. ROBBINS, C.D. CADENA, T. VALQUI, J.F. SALTER, A.J. SPENCER, F. ANGULO & J. FIELDSÅ. 2020. Untangling cryptic diversity in the High Andes: Revision of the *Scytalopus* [magellanicus] complex (Rhinocryptidae) in Peru reveals three new species. *Auk* 137(2): 1–26. <https://doi.org/10.1093/auk/ukaa003>.
- KROODSMA, D., D. HAMILTON, J.E. SÁNCHEZ, B.E. BYERS, H. FANDIÑO-MARIÑO, D.W. STEMPEL, J.M. TRAINER & G.V.N. POWELL. 2013. Behavioral evidence for song learning in the suboscine bellbirds (*Procnias* spp.; Cotingidae). *Wilson Journal of Ornithology* 125(1): 1–14. <https://doi.org/10.1676/12-033.1>.
- KROODSMA, D.E., V.A. INGALLS, T.W. SHERRY & T.K. WERNER. 1987. Songs of the Cocos flycatcher: vocal behavior of a suboscine on an isolated oceanic island. *Condor* 89: 75–84. <https://doi.org/10.2307/1368761>.
- KROODSMA, D.E., E.H. MILLER & H. OUELLET. 1982. Acoustic communication in birds. Academic Press.
- LANGMORE, N.E. 1998. Functions of duet and solo songs of female birds. *Trends in Ecology and Evolution* 13(4): 136–140. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(97\)01241-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(97)01241-X).
- LARA, C.E., A.M. CUERVO, S. V. VALDERRAMA, D. CALDERÓN-F & C.D. CADENA. 2012. A new species of wren (Troglodytidae: *Thryophilus*) from the dry Cauca River Canyon, Northwestern Colombia. *Auk* 129(3): 537–550. <https://doi.org/10.1525/auk.2012.12028>.
- LOGUE, D.M., E.E. DROESSLER, D.W. ROSCOE, J.R. VOKEY, D. RENDALL & R.M. KUNIMOTO. 2007. Sexually antithetical song structure in a duet singing wren. *Behavior* 144(3): 331–350. <https://doi.org/10.1163/156853907780425749>.
- LOGUE, D.M. & D.E. GAMMON. 2004. Duet song and sex roles during territory defense in a tropical bird, the black-bellied wren, *Thryothorus fasciatoventris*. *Animal Behavior* 68(4): 721–731. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2003.10.026>.
- LOPERA, A. & H.F. RIVERA-GUTIÉRREZ. 2016. El canto de las aves y su relación con el ruido: evaluación espectral en grupos con diferentes mecanismos de aprendizaje. P. In: Libro de resúmenes V Congreso Colombiano de Ornitología. Asociación Colombiana de Ornitología.
- LUNIAK, M. 2004. Synurbization: Adaptation of animal wildlife to urban development. *Proceedings 4th International Urban Wildlife Symposium*: 50–55.
- LYNCH, A. 1996. The population memetics of birdsong. Pp. 181–197. In: *Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds*.
- MACDOUGALL-SHACKLETON, S.A., S.H. HULSE & G.F. BALL. 1998. Neural bases of song preferences in female zebra finches. *NeuroReport* 9(13): 3047–3052.
- MARÍN-GÓMEZ, O.H. 2022. Artificial light at night drives earlier singing in a neotropical bird. *Animals* 12(8): 1015. <https://doi.org/10.3390/ani12081015>.
- MARÍN-GÓMEZ, O.H. & I. MACGREGOR-FORS. 2021. A global synthesis of the impacts of urbanization on bird dawn choruses. *Ibis* 163(4): 1133–1154. <https://doi.org/10.1111/ibi.12949>.
- MÁRQUEZ-CAMARGO, H. & T. RICO-SANDOVAL. 2010. Evaluación de los efectos del ruido sobre las vocalizaciones de *Colibri coruscans* (Aves: Trochilidae) comparando zonas de altos y bajos niveles de ruido (Universidad Nacional de Colombia y Jardín Botánico José Celestino Mutis). P. In: Libro de resúmenes III Congreso Colombiano de Zoología.
- MARTIN, L.J., B. BLOSSEY & E. ELLIS. 2012. Mapping where ecologists work: Biases in the global distribution of terrestrial ecological observations. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10(4): 195–201. <https://doi.org/10.1890/110154>.
- MARTÍNEZ-BENAVIDES, J.C. 2022. Transmisión del canto de *Zonotrichia capensis* en escenarios con distinta intensidad de ruido. *Ornitología Colombiana*(21): 1.
- MARTÍNEZ-MEDINA, D., O. ACEVEDO-CHARRY, S. MEDELLÍN-BECERRA, J. RODRÍGUEZ-FUENTES, S. LÓPEZ-CASAS, S. MUÑOZ-DUQUE, M. RIVERA-CORREA, Y. LÓPEZ-AGUIRRE, F. VARGAS-SALINAS, O. LAVERDE-R & M.E. RODRÍGUEZ-POSADA. 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>.
- MARTÍNEZ, D., V. JARAMILLO-CALLE & H.F. RIVERA-GUTIÉRREZ. 2016. Actividad vocal de oscinos y suboscinos en un ambiente ruidoso. P. In: Libro de resúmenes V Congreso Colombiano de Ornitología. Asociación Colombiana de Ornitología.
- MARZLUFF, J.M., R. BOWMAN & R. DONNELLY. 2001. A historical perspective on urban bird research: trends, terms, and approaches. Pp. 1–17. In: *Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World*.
- MENDOZA, Á.M. & M.I. ARCE-PLATA. 2012. Aproximación al impacto de la perturbación urbana en las vocalizaciones de *Pitangus sulphuratus* (Tyrannidae) en Santiago de Cali, Valle del Cauca (Colombia). *Revista de Ciencias* 16: 19–29. <https://doi.org/10.25100/rc.v16i0.500>.
- METZDORF, R., M. GAHR & L. FUSANI. 1999. Distribution of aromatase, estrogen receptor, and androgen receptor mRNA in the forebrain of songbirds and nonsongbirds. *The Journal of Comparative Neurology* 407(1): 115. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9861\(19990428\)407:1<115::aid-cne9>3.3.co;2-n](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9861(19990428)407:1<115::aid-cne9>3.3.co;2-n).
- MIKULA, P., M. VALCU, H. BRUMM, M. BULLA, W. FORSTMEIER, T. PETRUSKOVÁ, B. KEMPENAEERS & T. ALBRECHT. 2021. A global analysis of song frequency in passerines provides no support for the acoustic adaptation hypothesis but suggests a role for sexual selection. *Ecology Letters* 24 (3): 477–486. <https://doi.org/10.1111/ele.13662>.
- MOIRON, M., C. GONZÁLEZ-LAGOS, H. SLABBEKOORN & D. SOL.

2015. Singing in the city: high song frequencies are no guarantee for urban success in birds. *Behavioral Ecology* 26(3): 843–850. <https://doi.org/10.1093/beheco/arv026>.
- MOLINA-MARTÍNEZ, Y.G. & R. MARULANDA-BEJARANO. 2016. Efecto del ruido antropogénico sobre las características vocales de la mirla ventriblanca (*Turdus leucomelas* Spix 1824) en la ciudad de Ibagué: resultados preliminares. P. In: Libro de resúmenes V Congreso Colombiano de Ornitología.
- MORALES-ROZO, A., D.J. LIZCANO, S. MONTOYA-ARANGO, Á. VELÁSQUEZ-SUAREZ, E. ÁLVAREZ-DAZA & O. ACEVEDO-CHARRY. 2021. Diferencias en paisajes sonoros de sistemas silvopastoriles y potreros tradicionales del piedemonte llanero, Meta, Colombia. *Biota Colombiana* 22(1): 74–95. <https://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a05>.
- MORTON, E.S. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *American Naturalist* 109: 17–34.
- MOYER, M.J., E.M. ROSE, D.A. MORELAND, A. RAZA, S.M. BROWN, A.L. SCARSELLETTA, B. LOHR, K.J. ODOM & K.E. OMLAND. 2022. Female song is structurally different from male song in Orchard Orioles, a temperate-breeding songbird with delayed plumage maturation. *Journal of Field Ornithology* 93(1). <https://doi.org/10.5751/jfo-00073-930103>.
- NEGRET, P.J., O. GARZÓN, P.R. STEVENSON & O. LAVERDE-R. 2015. New ecological information for the Black Tinamou (*Tinamus osgoodi hershkovitz*). *Auk* 132(3): 533–539. <https://doi.org/10.1642/AUK-14-116.1>.
- NOTTEBOHM, F. 1980. *Progress in Psychobiology and Physiological Psychology*. Academic Press.
- NOTTEBOHM, F. 2005. The neural basis of birdsong. *PLoS Biology* 3(5): 0759–0761. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030164>.
- NOWICKI, S. & W.A. SEARCY. 2004. Song function and the evolution of female preferences: Why birds sing, why brains matter. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1016: 704–723. <https://doi.org/10.1196/annals.1298.012>.
- NOWICKI, S. & W.A. SEARCY. 2014. The evolution of vocal learning. *Current Opinion in Neurobiology* 28: 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2014.06.007>.
- OCHOA, D., N. MORENO-SALAZAR, J.C. OBANDO-CHACÓN & C. NORATO-ANZOLA. 2017. Guía de buenas prácticas para la actividad de aviturismo en Colombia. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Fondo Nacional de Turismo (FONTUR) y Asociación Bogotana de Ornitología, Bogotá.
- ODOM, K.J. & L. BENEDICT. 2018. A call to document female bird songs: Applications for diverse fields. *Auk* 135: 314–325. <https://doi.org/10.1642/AUK-17-183.1>.
- ODOM, K.J., K.E. CAIN, M.L. HALL, N.E. LANGMORE, R.A. MULDER, S. KLEINDORFER, J. KARUBIAN, L. BROUWER, E.D. ENBODY, J.A. JONES, J.L. DOWLING, A. V. LEITÃO, E.I. GREIG, C. EVANS, A.E. JOHNSON, K.K.A. MEYERS, M. ARAYA-SALAS & M.S. WEBSTER. 2021. Sex role similarity and sexual selection predict male and female song elaboration and dimorphism in fairy-wrens. *Ecology and Evolution* 11(24): 17901–17919. <https://doi.org/10.1002/ece3.8378>.
- ODOM, K.J., M.L. HALL, K. RIEBEL, K.E. OMLAND & N.E. LANGMORE. 2014. Female song is widespread and ancestral in songbirds. *Nature Communications* 5: 1–6. <https://doi.org/10.1038/ncomms4379>.
- ODOM, K.J., D.M. LOGUE, C.E. STUDDS, M.K. MONROE, S.K. CAMPBELL & K.E. OMLAND. 2017. Duetting behavior varies with sex, season, and singing role in a tropical oriole (*Icterus icterus*). *Behavioral Ecology* 28(5): 1256–1265. <https://doi.org/10.1093/beheco/axx087>.
- ODOM, K.J., K.E. OMLAND, D.R. MCCAFFREY, M.K. MONROE, J.L. CHRISTHILF, N.S. ROBERTS & D.M. LOGUE. 2016. Typical males and unconventional females: Songs and singing behaviors of a tropical, duetting oriole in the breeding and non-breeding season. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4(14): 1–11. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00014>.
- ODOM, K.J., K.E. OMLAND & J.J. PRICE. 2015. Differentiating the evolution of female song and male-female duets in the New World blackbirds: Can tropical natural history traits explain duet evolution? *Evolution* 69(3): 839–847. <https://doi.org/10.1111/evo.12588>.
- ORTIZ-RAMÍREZ, M.F., M.J. ANDERSEN, A. ZALDÍVAR-RIVERÓN, J.F. ORNELAS & A.G. NAVARRO-SIGÜENZA. 2016. Geographic isolation drives divergence of uncorrelated genetic and song variation in the Ruddy-capped Nightingale-Thrush (*Catharus frantzii*; Aves: Turdidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 94: 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2015.08.017>.
- PACHECO-VARGAS, G. & S. LOSADA-PRADO. 2015. Efecto del ruido del tráfico vehicular en cantos de *Hylophilus flavipes* y *Cyclarhis gujanensis*. *Ciencia en Desarrollo* 6(2). <https://doi.org/10.19053/01217488.3788>.
- PATÓN, D., F. ROMERO, J. CUENCA & J.C. ESCUDERO. 2012. Tolerance to noise in 91 bird species from 27 urban gardens of Iberian Peninsula. *Landscape and Urban Planning* 104(1): 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.09.002>.
- PATRICELLI, G.L. & J.L. BLICKLEY. 2006. Avian communication in urban noise: Causes and consequences of vocal adjustment. *The Auk* 123(3): 639–649. [https://doi.org/10.1642/0004-8038\(2006\)123\[639:ACIUNC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1642/0004-8038(2006)123[639:ACIUNC]2.0.CO;2).
- PENAR, W., A. MAGIERA & C. KLOCEK. 2020. Applications of bioacoustics in animal ecology. *Ecological Complexity* 43. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2020.100847>.
- PEREA-ESPINA, F. 2019. Histología del cerebro y descripción de las principales regiones del canto en *Turdus ignobilis* y *Turdus fuscater*. P. In: Reconciliarte con la biodiversidad, un acto de paz. Libro de resúmenes. V Congreso Colombiano de Zoología. Asociación Colombiana de Zoología, Bogotá.
- PÉREZ-GRANADOS, C. & K.L. SCHUCHMANN. 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* 161(4): 1129–1141. <https://doi.org/10.1007/s10336-020-01795-4>.
- PÉREZ-GRANADOS, C. & K.L. SCHUCHMANN. 2021a. Seasonal climate impacts on vocal activity in two neotropical nonpasserines. *Diversity* 13(7): 1–13. <https://doi.org/10.3390/D13070319>.
- PÉREZ-GRANADOS, C. & K.L. SCHUCHMANN. 2021b. Passive Acoustic Monitoring of Chaco Chachalaca (*Ortalis canicollis*) over a year: vocal activity pattern and monitoring recommendations. *Tropical Conservation Science* 14: 1–11. <https://doi.org/10.1177/19400829211058295>.
- PETKOV, C.I. & E.D. JARVIS. 2012. BIRDS, PRIMATES, AND SPOKEN LANGUAGE ORIGINS: Behavioral phenotypes and neurobiological substrates. *Frontiers in Evolutionary Neuroscience* 4(12): 1–24. <https://doi.org/10.3389/fnevo.2012.00012>.

- PIJANOWSKI, B.C., L.J. VILLANUEVA-RIVERA, S.L. DUMYAHN, A. FARINA, B.L. KRAUSE, B.M. NAPOLETANO, S.H. GAGE & N. PIERETTI. 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>.
- PODOS, J., R. DYBBOE & M. OLE JENSEN. 2013. Ecological speciation in Darwin's finches: Parsing the effects of magic traits. *Current Zoology* 59(1): 8–19. <https://doi.org/10.1093/czoolo/59.1.8>.
- PODOS, J. & P.S. WARREN. 2007. The evolution of geographic variation in birdsong. *Advances in the Study of Behavior* 37(7): 403–458. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(07\)37009-5](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(07)37009-5).
- PRICE, J.J. 2009. Evolution and life-history correlates of female song in the New World blackbirds. *Behavioral Ecology* 20(5): 967–977. <https://doi.org/10.1093/beheco/arp085>.
- PRICE, J.J. 2015. Rethinking our assumptions about the evolution of bird song and other sexually dimorphic signals. *Frontiers in Ecology and Evolution* 3(40): 1–6. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00040>.
- PRICE, J.J., L. YUNES-JIMÉNEZ, M. OSORIO-BERSTAIN, K.E. OMLAND & T.G. MURPHY. 2008. Sex-role reversal in song? Females sing more frequently than males in the streak-backed oriole. *The Condor* 110(2): 387–392. <https://doi.org/10.1525/cond.2008.8430>.
- RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, L. 2010. Efecto del ruido sobre el canto del copetón (*Zonotrichia capensis*, Emberizidae) en el campus de la Universidad Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- REYES, M.A. 2019. Análisis del canto y comportamiento de *Sicalis flaveola* (Aves: Thrauidae) en un gradiente de ruido vehicular en la ciudad de Armenia, Quindío. Universidad del Quindío.
- RIEBEL, K. 2003. The "mute" sex revisited: vocal production and perception learning in female songbirds. *Advances in the Study of Behavior* 33(3): 49–86. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(03\)33002-5](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(03)33002-5).
- RÍOS-CHELÉN, A.A., E. QUIRÓS-GUERRERO, D. GIL & C. MACÍAS GARCÍA. 2013. Dealing with urban noise: vermilion flycatchers sing longer songs in noisier territories. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 67(1): 145–152. <https://doi.org/10.1007/s00265-012-1434-0>.
- RODRÍGUEZ-FUENTES, J., C.D. CADENA & J.E. AVENDAÑO. 2022. Vocal behavior and microgeographic variation in song types in a Neotropical songbird. *Journal of Ornithology* 163(1): 105–119. <https://doi.org/10.1007/s10336-021-01930-9>.
- RODRÍGUEZ-SALTOS, C.A. 2017. To become senders, songbirds must be receivers first. *Integrative and Comparative Biology* 57(4): 910–919. <https://doi.org/10.1093/icb/ix106>.
- ROSE, E.M., T. MATHEW, D.A. COSS, B. LOHR & K.E. OMLAND. 2018. A new statistical method to test equivalence: an application in male and female eastern bluebird song. *Animal Behavior* 145: 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2018.09.004>.
- ROSENTHAL, G.G. & M.J. RYAN. 2022. Sexual selection and the ascent of women: Mate choice research since Darwin. *Science* 375(eabi6308). <https://doi.org/10.1126/science.abi6308>.
- SAKATA, J.T. & Y. YAZAKI-SUGIYAMA. 2020. Neural circuits underlying vocal learning in songbirds. Pp. 29–63. In: J.T. Sakata, S.C. Woolley, R.R. Fay & A.N. Popper (eds.). *The Neuroethology of Birdsong*. Springer.
- SALAMAN, P.G.W., P. COOPMANS, T.M. DONEGAN, M. MULLIGAN, A. CORTES, S.L. HILTY & L.A. ORTEGA. 2003. A new species of wood-wren (Troglodytidae: *Henicorhina*) from the Western Andes of Colombia. *Ornitología Colombiana* 1(1): 4–21.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, K., O.A. AGUIRRE-OBANDO & A.A. RÍOS-CHELÉN. 2021. Urbanization levels are associated with the start of the dawn chorus in vermilion flycatchers in Colombia. *Ethology Ecology & Evolution* 33(4): 377–393. <https://doi.org/10.1080/03949370.2020.1837963>.
- SÁNCHEZ-GUZMÁN, J.N. & S. LOSADA-PRADO. 2016. Características de la avifauna en un fragmento de bosque húmedo premontano afectado por ruido vehicular. *Revista Mutis* 6(2): 7–18. <https://doi.org/10.21789/22561498.1147>.
- SANDOVAL, L., R. JUÁREZ & M. VILLARREAL. 2018. Different Messages are Transmitted by Individual Duet Contributions and Complete Duets in a Species with Highly Overlapped Duets. *The Open Ornithology Journal* 11(1): 56–67. <https://doi.org/10.2174/1874453201811010056>.
- SCHMIDT, M.F. 2009. Neural control of birdsong. *Encyclopedia of Life Sciences*: 1–10. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021400>.
- SEDANO, R., M. REYES-GUTIÉRREZ & D. FAJARDO. 2008. Descripción de la anidación, el comportamiento de forrajeo y las vocalizaciones del Carpinterito Gris (*Picumnus Granadensis*). *Ornitología Colombiana* 6(6): 5–14.
- SEEHOLZER, G.F. & F.J. GAMARRA. 2020. A principal role for female vocalizations in the repertoire of a tyrant flycatcher revealed by recordings linked to voucher specimens. *Wilson Journal of Ornithology* 132(3): 639–651. <https://doi.org/10.1676/20-20>.
- SERVEDIO, M.R., G.S. VAN DOORN, M. KOPP, A.M. FRAME & P. NOSIL. 2011. Magic traits in speciation: "magic" but not rare? *Trends in Ecology and Evolution* 26(8): 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.04.005>.
- SIERRO, J., S.R. DE KORT, K. RIEBEL & I.R. HARTLEY. 2021. Frequent female song in blue tits: behavioral context suggests a role in intrasexual competition. *bioRxiv*: 0–30. <https://doi.org/10.1101/2021.07.01.450672>.
- DA SILVA, A., M. VALCU & B. KEMPENAEERS. 2015. Light pollution alters the phenology of dawn and dusk singing in common European songbirds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370(1667): 20140126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0126>.
- SLABBEKOORN, H. 2013. Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. *Animal Behavior* 85(5): 1089–1099. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.01.021>.
- SLABBEKOORN, H. & T.B. SMITH. 2002. Bird song, ecology and speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 357(1420): 493–503. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.1056>.
- SLATER, P.J.B. & N.I. MANN. 2004. Why do the females of many bird species sing in the tropics? *Journal of Avian Biology* 35(4): 289–294. <https://doi.org/10.1111/j.0908-8857.2004.03392.x>.
- SOARES, L., K. COCKLE, E. RUELAS, J.T. IBARRA, C.I. MIÑO, S. ZULUAGA, E. BONACCORSO, J.C. RÍOS-ORJUELA, F.A. MONTANO-CENTELLAS, J.F. FREILE, M.A. ECHEVERRY-GALVIS, E.B. BONAPARTE, L.M. DIELE-VIEGAS, K. SPEZIALE, S.A. CABRERA-CRUZ, O. ACEVEDO-CHARRY, E. VELARDE, C.

- CUATIANQUIZ, V.S. OJEDA. 2022. Neotropical Ornithology: Reckoning With Historical Assumptions, Removing Systemic Barriers, and Reimagining the Future. P. In: EcoEvoRxiv.
- SOSA-LÓPEZ, J.R. & D.J. MENNILL. 2014. Continent-wide patterns of divergence in acoustic and morphological traits in the House Wren species complex. *Auk* 131(1): 41–54. <https://doi.org/10.1642/AUK-13-161.1>.
- SPOELSTRA, K. & M.E. VISSER. 2014. The impact of artificial light on avian ecology. Pp. 21–28. In: *Avian Urban Ecology*. Oxford University Press.
- STILES, F.G., O.R. LAVERDE & C.D. CADENA. 2017. A new species of tapaculo (Rhinocryptidae: *Scytalopus*) from the Western Andes of Colombia. *Auk* 134(2): 377–392. <https://doi.org/10.1642/AUK-16-205.1>.
- STUTCHBURY, B.J.M. 1998. Female mate choice of extra-pair males: Breeding synchrony is important. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 43: 213–215. <https://doi.org/10.1007/s002650050483>.
- STUTCHBURY, B.J.M. & E.S. MORTON. 2001. *Behavioral Ecology of Tropical Birds*. P. In: Academia press. San Diego, CA.
- SUAREZ-ROMERO, J.D. 2021. Comparación del horario de canto del copetón *Zonotrichia capensis* en dos zonas con diferente intervención antrópica en el municipio de Puente Nacional Santander, Colombia. Universidad de La Salle.
- SUEUR, J. & A. FARINA. 2015. Ecoacoustics: the Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound. *Biosemiotics* 8(3): 493–502. <https://doi.org/10.1007/s12304-015-9248-x>.
- TEMPLETON, C.N., N.I. MANN, A.A. RÍOS-CHELÉN, E. QUIROS-GUERRERO, C. MACÍAS GARCIA & P.J.B. SLATER. 2013. An experimental study of duet integration in the happy wren, *Pheugopedius felix*. *Animal Behavior* 86(4): 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.07.022>. Elsevier Ltd.
- THOMPSON, K.A., L.H. RIESEBERG & D. SCHLUTER. 2018. Speciation and the City. *Trends in Ecology & Evolution* 33(11): 815–826. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.08.007>.
- TOBIAS, J.A., V. GAMARRA-TOLEDO, D. GARCÍA-OLACHEA, P.C. PULGARÍN & N. SEDDON. 2011. Year-round resource defense and the evolution of male and female song in suboscine birds: Social armaments are mutual ornaments. *Journal of Evolutionary Biology* 24: 2118–2138. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2011.02345.x>.
- TOBIAS, J.A., N. SEDDON, C.N. SPOTTISWOODE, J.D. PILGRIM, L.D.C. FISHPOOL & N.J. COLLAR. 2010. Quantitative criteria for species delimitation. *Ibis* 152(4): 724–746. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2010.01051.x>.
- TOPP, S.M. & D.J. MENNILL. 2008. Seasonal variation in the duetting behavior of rufous-and-white wrens (*Thryothorus rufalbus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 62(7): 1107–1117. <https://doi.org/10.1007/s00265-007-0538-4>.
- VÁQUIRO-GARCÍA, J.C. & S. LOSADA-PRADO. 2020. Análisis preliminar del canto del cucarachero ventrinegro (*Pheugopedius fasciatoventris*) en escenarios afectados por ruido vehicular, Ibagué – Tolima. *Ornitología Colombiana* 18(i): 25.
- WATSON, D.M., E. ZNIDERSIC & M.D. CRAIG. 2019. Ethical birding call playback and conservation. *Conservation Biology* 33(2): 469–471. <https://doi.org/10.1111/cobi.13199>.
- WIKELSKI, M., M. HAU & J.C. WINGFIELD. 2000. Seasonality of reproduction in a neotropical rain forest bird. *Ecology* 81(9): 2458–2472. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[2458:SORIAN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[2458:SORIAN]2.0.CO;2).
- WILKINS, M.R., K.J. ODOM, L. BENEDICT & R.J. SAFRAN. 2020. Analysis of female song provides insight into the evolution of sex differences in a widely studied songbird. *Animal Behavior* 168: 69–82. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2020.07.018>.
- WILKINS, M.R., N. SEDDON & R.J. SAFRAN. 2013. Evolutionary divergence in acoustic signals: causes and consequences. *Trends in Ecology and Evolution* 28(3): 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.002>.
- WILLIAMS, H., I.I. LEVIN, D.R. NORRIS, A.E.M. NEWMAN & N.T. WHEELWRIGHT. 2013. Three decades of cultural evolution in Savannah sparrow songs. *Animal Behavior* 85(1): 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.10.028>.

Anexo 1. Lista matriz de literatura consultada sobre bioacústica para el análisis a nivel de Colombia. ([Descargue acá](#)).

Anexo 2. Matriz de datos con la consulta de registros acústicos existentes para Colombia en Macaulay Library del Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell y el Bancos de Sonidos Ambientales Mauricio Álvarez Rebolledo del Instituto Humboldt. ([Descargue acá](#)).