

<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v73iS2.64539>

Escuchando la diversidad de Costa Rica: estado de la colección de bioacústica del Museo de Zoología, Universidad de Costa Rica

Montserrat Alvarado-Deckwart^{1, 2, 3 *}

Luis Sandoval^{1, 2};  <https://orcid.org/0000-0002-0793-6747>

1. Laboratorio de Ecología Urbana y Comunicación Animal, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; mlalvart99@gmail.com (*Correspondencia), biosandoval@gmail.com
2. Colección de Ornitología, Museo de Zoología, CIBET, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica;
3. Sistema de Estudios de Posgrado, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San Pedro, San José, Costa Rica, 11501-2060.

Recibido 31-VIII-2024. Corregido 10-III-2025. Aceptado 14-III-2025.

ABSTRACT

Listening the Costa Rican diversity: status of the bioacoustics collection of the Museum of Zoology, University of Costa Rica

Introduction: Bioacoustic collections maintain, curate, and preserve animal sounds gathered by biologists and naturalists, serving as valuable archives of the planet's acoustic biodiversity. These collections facilitate the study of species behavior, distribution, and ecology. These collections provide valuable information for the conservation of endangered species and habitats.

Objective: This study describes the current status of the Bioacoustics Collection at the Museum of Zoology, CIBET, University of Costa Rica.

Methods: We reviewed the 4 366 recordings cataloged in the collection, and provided information on their distribution across taxonomic groups, and on the specific geographic locations within Costa Rica where they were obtained. We also discuss the importance of this collection as a key repository for bioacoustics research both nationally and internationally.

Results: The collection predominantly comprises bird recordings, representing approximately 58.15% of Costa Rica's avian species. Additionally, the collection includes recordings of other groups, such as amphibians and mammals.

Conclusions: The analysis revealed the importance of the collection for scientific research, conservation, and environmental education. This collection outstands as a vital resource for future bioacoustic research in Costa Rica and beyond. It also highlights the need to enhance the representation of other taxonomic groups and invites researchers to contribute to this repository, as a source for a better understanding the acoustic diversity and support conservation efforts.

Keywords: zoology; repository; ecology; acoustics; vocalizations.

RESUMEN

Introducción: Las colecciones de bioacústica mantienen, curan, y preservan sonidos producidos por animales, recopiladas por biólogos y naturalistas, y representan un valioso archivo de la biodiversidad acústica del planeta. Estas colecciones permiten investigar aspectos cruciales del comportamiento, distribución y ecología de las especies. Estas colecciones proveen información valiosa para la conservación de especies y hábitats en peligro.



Objetivo: Este estudio describe el estado actual de la Colección de Bioacústica del Museo de Zoología, CIBET, en la Universidad de Costa Rica.

Métodos: Hicimos una revisión de las 4 366 grabaciones que actualmente se encuentran catalogadas en la colección y presentamos información acerca de la distribución de las mismas por grupo taxonómico y lugares de Costa Rica donde se realizaron. Además, discutimos la importancia de la colección como repositorio para las investigaciones en bioacústica dentro y fuera del país.

Resultados: La colección incluye principalmente grabaciones de aves, las cuales representan aproximadamente un 58.15% de las especies de aves de Costa Rica. Las grabaciones en la colección también incluyen registros de otros grupos como anfibios y mamíferos.

Conclusiones: Los análisis destacan la importancia de la colección para investigaciones científicas, conservación y educación ambiental. Esta colección destaca como un recurso clave para futuras investigaciones en bioacústica en Costa Rica y a nivel internacional. Además, se enfatiza la necesidad de incrementar la representatividad de otros grupos taxonómicos y se invita a investigadores a contribuir a este repositorio como fuente para una mejor comprensión de la diversidad acústica y promover la conservación.

Palabras clave: zoología; repositorio; ecología; acústica; vocalizaciones.

INTRODUCCIÓN

Las colecciones de bioacústica contienen grabaciones de sonidos producidos por animales y grabados con múltiples técnicas por biólogos y naturalistas (Gaunt et al., 2005; Oswald et al., 2022). Gracias a las innovaciones tecnológicas en equipos de grabación portátiles, como la reducción de su tamaño y costo, así como la posibilidad de grabar sonidos mediante teléfonos móviles, hoy en día se generan muchos registros acústicos, lo que ha facilitado una mayor documentación de los sonidos producidos por los animales. Sin embargo, gran parte de estas grabaciones no se depositan en colecciones públicas ni está fácilmente accesible para su uso en investigaciones, lo que limita su potencial para contribuir al conocimiento científico y a la conservación.

Por lo tanto, poder depositar las grabaciones en colecciones o repositorios que las hagan disponibles para su uso se vuelve crítico. Más si consideramos que cada una de estas grabaciones, denominadas espécimen, pueden tener asociadas observaciones sobre el comportamiento (Dena et al., 2024; Janik, 2005; Penar et al., 2020), localidad geográfica (Bardeli et al., 2010; Holmes et al., 2014; Horne, 2000), fecha, sexo y edad del individuo grabado (Gaunt et al., 2005; Oswald et al., 2022; Sugai & Llusia, 2019). Por lo tanto, estas grabaciones sirven como un

archivo de la biodiversidad acústica del planeta (Ranft, 2004; Webster & Budney, 2017). Además, estas grabaciones apoyan los esfuerzos de conservación al proporcionar datos de referencia para especies y hábitats en peligro de extinción (Blumstein et al., 2011; Pijanowski et al., 2011; Sueur et al., 2008).

Desde una perspectiva científica, las colecciones de bioacústica permiten a los investigadores monitorear la distribución de especies, rastrear patrones de migración y evaluar el estado de los ecosistemas (Bartoni-ka et al., 2019; Lostanlen et al., 2019; Oliver et al., 2018; Salamon et al., 2016; Sánchez et al., 2022). Al analizar datos bioacústicos, los científicos pueden detectar cambios en la diversidad de especies, como la presencia de nuevas especies o especies crípticas (Campos-Cerqueira & Aide, 2016; Lambert & McDonald, 2014; Measey et al., 2017; Picciulin et al., 2019), el comportamiento de estas a lo largo del tiempo (Gutiérrez-Vannucchi et al., 2019; Molina-Mora et al., 2024; Sandoval et al., 2018), y obtener información sobre las interacciones inter e intraespecíficas dentro del ecosistema (Ribeiro et al., 2022; Ross et al., 2023). Además, los métodos bioacústicos ofrecen un medio no invasivo para estudiar la vida silvestre, reduciendo la necesidad de captura y manipulación física cuando los sonidos que producen permiten la identificación

confiable de las especies (Molina-Mora et al., 2024; Ribeiro et al., 2022).

Adicionalmente, las colecciones de bioacústica tienen importantes implicaciones sociales, ya que sirven como una herramienta valiosa para la conservación, al proporcionar datos de referencia para estrategias de gestión y decisiones políticas destinadas a proteger especies y hábitats en peligro de extinción (Browning et al., 2017; Wrege et al., 2017). Esto debido a que las grabaciones se pueden utilizar para evaluar el impacto de las actividades humanas, como la deforestación, la urbanización y el cambio climático (Gutiérrez-Vannucchi et al., 2019; Juárez et al., 2021; Molina-Mora et al., 2024; Sánchez et al., 2022). Finalmente, las colecciones de bioacústica pueden ser utilizadas para la educación y la participación pública, al hacer que los sonidos de la naturaleza sean accesibles a una amplia audiencia, creando una conexión más profunda con el mundo natural y promover la conciencia y el cuidado del ambiente (Karapostoli & Votsi, 2018; Krause, 2002).

Costa Rica, con apenas un 0.03 % de la superficie terrestre, contiene aproximadamente un 6 % de la biodiversidad total del planeta. Dentro de esta gran diversidad sobresalen las 939 especies de aves (Sandoval & Ocampo datos sin pub.), 147 especies de ranas y sapos (Leenders, 2016), y 256 especies de mamíferos (Ramírez-Fernández et al., 2023), grupos donde la gran mayoría de las especies utilizan los sonidos como uno como un medio de comunicación de gran importancia. La gran biodiversidad presente, junto con el creciente interés en el estudio de los sonidos para la comunicación, ha fomentado el aumento de investigaciones en bioacústica en Costa Rica en los últimos 20 años (ej: Araya-Ajoy et al., 2009; Barrantes et al., 2008; Camacho-Alpizar et al., 2018; Gutiérrez-Vannucchi, 2021; Juárez et al., 2021; Méndez et al., 2021; Protti-Sánchez et al., 2023; Sandoval & Escalante, 2011; Sandoval, 2011; Trejos-Araya & Barrantes, 2014; Vargas-Castro et al., 2012). Impulsados por esta tendencia, los estudiantes y profesores del curso de Bioacústica de la Escuela de Biología iniciaron en 2008 la creación de la Colección

de Bioacústica, que actualmente se encuentra adscrita al Museo de Zoología, CIBET, Universidad de Costa Rica. Esta colección inició con la donación de grabaciones de los investigadores Julio E. Sánchez y Leonardo Chaves, las cuales continúan siendo catalogadas en la colección. Nuestro objetivo, por lo tanto, es dar a conocer el estado actual de la Colección de Bioacústica y cuan representativa es de la diversidad del país. Además, buscamos dar a conocer la existencia e importancia de esta colección para que pueda ser utilizada por la comunidad científica nacional e internacional como un recurso para la investigación, divulgación, y educación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Realizamos un análisis cuantitativo en julio de 2024 del estado actual de la colección de Bioacústica del Museo de Zoología, CIBET, de la Universidad de Costa Rica. Reportamos la cantidad de grabaciones por Clase y especie en la colección. Estimamos qué cantidad de especies por Clase tenían al menos una grabación dentro de la colección y ese número lo dividimos entre el total de especies de la Clase registradas en Costa Rica (este valor es el porcentaje de representatividad de las especies dentro de la colección), según Leenders, (2016) para ranas y sapos, Sandoval & Ocampo (datos sin pub.) para aves, y Ramírez-Fernández et al. (2023) para mamíferos. Adicionalmente, reportamos la cantidad de grabaciones realizadas dentro y fuera de Costa Rica. Finalmente, destacamos otros aspectos importantes de los análisis de las grabaciones en la colección.

RESULTADOS

Hasta julio de 2024, la colección de Bioacústica del Museo de Zoología contiene un total de 4 366 grabaciones catalogadas. La mayoría de estas grabaciones fueron realizadas por Julio E. Sánchez de 1994 a 2009, Leonardo Chaves de 1997 a 2008, y Luis Sandoval de 2005 a 2016 (Fig. 1). El año con mayor número de grabaciones catalogadas fue el 2010 con 878 grabaciones

(Fig. 1). La primera grabación catalogada de la colección de Bioacústica corresponde a un individuo de *Orethlypis gutturalis* realizada por Julio E. Sánchez en el Cerro de la Muerte, Cartago, el 16 de febrero de 1994.

Del total de grabaciones en la colección, 4 295 grabaciones pertenecen a la Clase Aves y corresponde a 98.4 % de todas las grabaciones, para la Clase Amphibia son 50 grabaciones y corresponden al 1.1 % de la colección, para Clase Mammalia 20 grabaciones y corresponden al 0.5 % de la colección, y para Clase Insecta 1 grabación.

Las grabaciones de Aves corresponden a 546 especies (58.15% de las especies registradas en Costa Rica) y de 59 familias, con un promedio de $7 (\pm 13.5)$ grabaciones por especie. Dentro de las grabaciones catalogadas hubo 18 pertenecientes a tres especies de aves endémicas a Costa Rica: *Microchera cupreiceps*, *Melozona cabanisi* y *Driophlox atrimaxilaris*. Las 20 especies de aves con más grabaciones catalogadas tuvieron de 26 a 166 grabaciones (Fig. 2). Las grabaciones de Amphibia representan 16 especies (10.88% de las especies registradas en Costa Rica) y de 6 familias, con aproximadamente $3 (\pm 3.5)$ grabaciones por

especie. Dentro de las grabaciones catalogadas hubo 14 pertenecientes a una especie endémica a Costa Rica: *Agalychnis annae*. Las grabaciones de Mammalia representan 5 especies (1.95 % de las especies registradas en Costa Rica) y de 4 familias, con aproximadamente $4 (\pm 4.4)$ grabaciones por especie.

De todas las grabaciones catalogadas, 4 173 (95.6 %) fueron realizadas en Costa Rica. Cartago es la provincia de donde se tienen más grabaciones catalogadas con un total de 1 284 grabaciones y Alajuela de la que menos grabaciones se tienen con 105 (Fig. 3). Las 193 grabaciones catalogadas que fueron realizadas en el extranjero todas fueron de aves. Brasil fue el país con más grabaciones con 74 grabaciones de 49 especies, luego Guatemala con 50 grabaciones de 32 especies, Nicaragua con 41 grabaciones de 27 especies, México con 21 grabaciones de 18 especies, y por último Colombia con 7 grabaciones de 5 especies.

DISCUSIÓN

La colección de bioacústica actualmente refleja las donaciones iniciales de Julio E. Sánchez y Leonardo Chaves, quienes grabaron

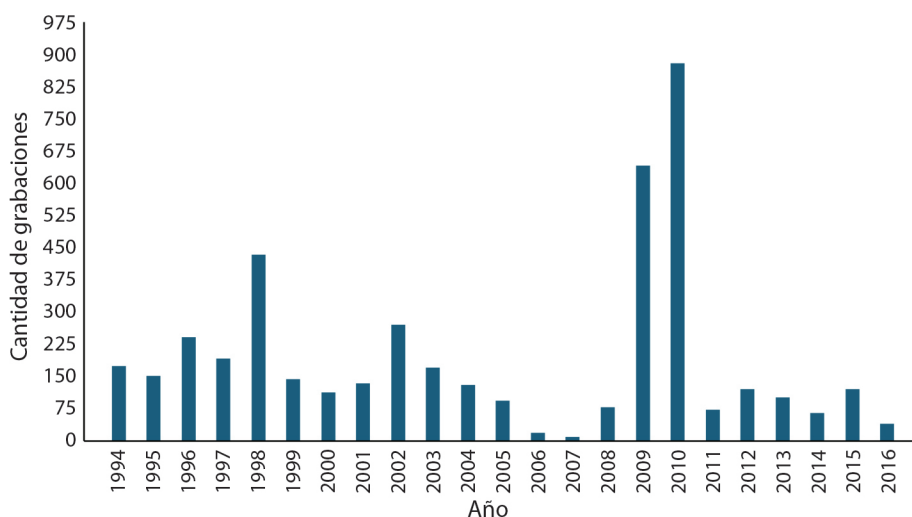


Fig. 1. Número de grabaciones catalogadas e incluidas en la colección de Bioacústica, Museo de Zoología, CIBET, Universidad de Costa Rica. / **Fig. 1.** Number of recordings catalogued and included in the Bioacoustics collection, Museum of Zoology, CIBET, University of Costa Rica.

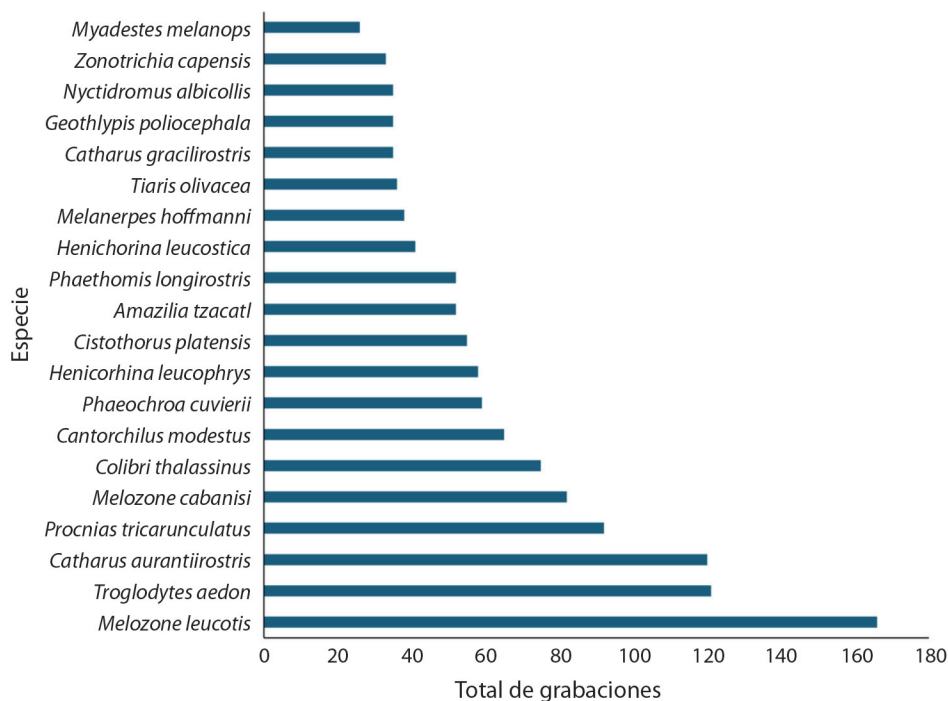


Fig. 2. Las 20 especies de aves con mayor número de grabaciones catalogadas en la colección de Bioacústica, Museo de Zoología, CIBET, Universidad de Costa Rica. / **Fig. 2.** The 20 bird species with the highest number of recordings catalogued in the Bioacoustics collection, Museum of Zoology, CIBET, University of Costa Rica.

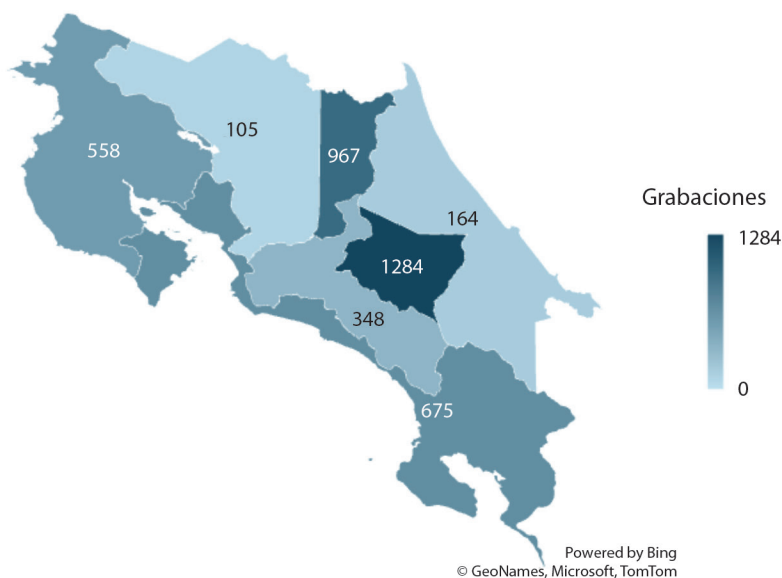


Fig. 3. Número de grabaciones catalogadas en la colección de Bioacústica, Museo de Zoología, CIBET, Universidad de Costa Rica, en cada una de las provincias de Costa Rica. / **Fig. 3.** Number of recordings catalogued in the Bioacoustics collection, Museum of Zoology, CIBET, University of Costa Rica, in each of the provinces of Costa Rica.



principalmente sonidos producidos por aves. Como resultado, fue el grupo animal mejor representado en la colección. Adicionalmente, la mayoría de los estudios en bioacústica realizados por estudiantes para sus tesis o proyectos de investigación desde la creación de la colección se han enfocado en aves (Sandoval, obs. pers.), lo que también contribuye a que este sea el grupo mejor representado en la colección. Como resultado de investigaciones en bioacústica con aves, ciertas especies cuentan con una mayor representación de grabaciones catalogadas en la colección gracias a los esfuerzos de muestreo (ej.: *Melozone leucotis*, Sandoval et al., 2016; *M. cabanisi*, Sandoval et al., 2014). Además, la colección ha servido como repositorio de las grabaciones utilizadas en investigaciones (ej.: *Troglodytes aedon*, Juárez et al., 2021; *Colibri cyanotus*, Barrantes et al., 2008). Esto refleja la importancia de las grabaciones como especímenes de investigación, depositados y respaldados en una colección, asegurando su acceso a la mayor cantidad de personas y una repetibilidad de los estudios, una práctica esencial en la investigación científica.

En línea con el énfasis actual en la disponibilidad gratuita y accesible de datos en la investigación científica, el depósito de grabaciones en colecciones públicas se ha vuelto una práctica esencial (Dena et al., 2024; Sugai & Llusia, 2019). Sin embargo, no todos los países cuentan con colecciones de bioacústica que permitan el resguardo de estos registros. Por ello, la colección de Bioacústica del Museo de Zoología está disponible para investigadores de todo el mundo, con un enfoque particular en estudios realizados en el Neotrópico. Cada grabación depositada recibe un número de catálogo asociado a sus metadatos, que incluyen información detallada sobre el equipo utilizado, las condiciones y el lugar de la grabación, la fecha y otras observaciones pertinentes. Esto simplifica el proceso de incluir la información en publicaciones científicas, ya que permite reducirla a los datos mínimos requeridos por las revistas, de manera similar a lo que se hace con los especímenes de museos.

Depositar las grabaciones en colecciones de bioacústica promueve y asegura que se preserve la riqueza de los sonidos producidos por los animales, un fenotipo que solo se puede preservar de esta forma y que en muchas especies ayudaría a entender su taxonomía, variación dentro del grupo, o serviría para buscar si los organismos aún ocurren en diferentes lugares al poder compararse las grabaciones con los sonidos de referencia. Por ejemplo, en la búsqueda del carpintero imperial *Campephilus principalis* en el sur de EE. UU., se usan las grabaciones existentes para comparar con grabaciones nuevas (Fitzpatrick et al., 2005; Solow et al., 2012). Además, las colecciones bioacústicas son útiles para documentar eventos novedosos. Un ejemplo de esto es el registro de una polilla del género *Phassus*, que resultó en el primer registro de producción de sonido audible por un adulto de este género (Sandoval & Nishida, 2015). También, permiten realizar comparaciones entre especies cercanamente emparentadas, como se podría hacer con las grabaciones del sapo dorado *Incilius periglenes* en Costa Rica (Jacobson & Vandenberg, 1991). En caso de no tener estos sonidos grabados, podría perderse esa otra parte de la biología de los organismos para siempre, como ocurrió con los sonidos de especies extintas como el dodo *Raphus cucullatus*, o el alca gigante *Pinguinus impennis* (Hume, 2017; Quammen, 1996).

La gran cantidad de grabaciones catalogadas disponibles con que cuenta la colección de bioacústica del Museo de Zoología, CIBET, Universidad de Costa Rica, la convierte en un referente para realizar investigaciones, especialmente en aves. También, se puede utilizar como un referente para generar material divulgativo y de educación, para acercar más a las personas con el ambiente y promover su conservación y apreciación. Por lo tanto, esperamos que esta publicación sirva como línea base de los recursos existentes, y fomente su uso por parte de la comunidad científica y educativa. Es de suma importancia que esta colección se convierta en un repositorio para todas las investigaciones actuales y futuras de bioacústica en Costa Rica.

Declaración de ética: Los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los colaboradores a la colección quienes han grabado y editado las grabaciones para que estas sean catalogadas en la colección de Bioacústica. Además, agradecemos a Vicerrectoría de Investigación que apoyó la catalogación de grabaciones mediante el proyecto número C2705.

REFERENCIAS

- Araya-Ajoy, Y., Chaves-Campos, J., Kalko, E. K. V., & DeWoody, J. A. (2009). High-pitched notes during vocal contests signal genetic diversity in ocellated antbirds. *PLoS ONE*, 4(12), e8137.
- Bardeli, R., Wolff, D., Kurth, F., Koch, M., Tauchert, K.-H., & Frommolt, K.-H. (2010). Detecting bird sounds in a complex acoustic environment and application to bioacoustic monitoring. *Pattern Recognition Letters*, 31(12), 1524–1534.
- Barrantes, G., Sánchez, C., Hilje, B., & Jaffé, R. (2008). Male song variation of Green Violetear (*Colibri thalassinus*) in the Talamanca Mountain Range, Costa Rica. *The Wilson Journal of Ornithology*, 120(3), 519–524.
- Bartonička, T., Miketová, N., & Hulva, P. (2019). High throughput bioacoustic monitoring and phenology of the Greater Noctule Bat (*Nyctalus lasiopterus*) compared to other migratory species. *Acta Chiropterologica*, 21(1), 75–85.
- Blumstein, D. T., Mennill, D. J., Clemins, P., Girod, L., Yao, K., Patricelli, G., Deppe, J. L., Krakauer, A. H., Clark, C., Cortopassi, K. A., Hanser, S. F., McCowan, B., Ali, A. M., & Kirschel, A. N. G. (2011). Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 758–767.
- Browning, E., Gibb, R., Glover-Kapfer, P., & Jones, K. E. (2017). Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. *En WWF Conservation Technology Series*, 1(2).
- Camacho-Alpizar, A., Fuchs, E. J., & Barrantes, G. (2018). Effect of barriers and distance on song, genetic, and morphological divergence in the highland endemic Timberline Wren (*Thryorchilus browni*, Troglodytidae). *PLOS ONE*, 13(12), e0209508.
- Campos-Cerqueira, M., & Aide, T. M. (2016). Improving distribution data of threatened species by combining acoustic monitoring and occupancy modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(11), 1340–1348.
- Dena, S., Zornosa-Torres, C., Bovolon, J. P., Paiva, F., Mendes-Machado, T., Do Prado, J. S., Ernetti, J. R., Carrasco-Medina, A. S., de Assis, C. L., de Mello Marinho, R. V., Lingnau, R., Hammen-Llanos, F., Toledo, L. F., & Augusto-Alves, G. (2024). Audiovisual collections safeguard undescribed calls: description of anuran vocalisations based on recordings from a public sound library. *Bioacoustics*, 33(5), 401–432.
- Fitzpatrick, J. W., Lammertink, M., Luneau, M. D., Gallagher, T. W., Harrison, B. R., Sparling, G. M., Rosenberg, K. V., Rohrbach, R. W., Swarthout, E. C. H., Wrege, P. H., Swarthout, S. B., Dantzker, M. S., Charif, R. A., Barksdale, T. R., Remsen, J. V., Simon, S. D., & Zollner, D. (2005). Ivory-billed Woodpecker (*Campyphilus principalis*) persists in continental North America. *Science*, 308(5727), 1460–1462.
- Gaunt, S. L. L., Nelson, D. A., Dantzker, M. S., Budney, G. F., & Bradbury, J. W. (2005). New directions for bioacoustics collections. *The Auk*, 122(3), 984–987.
- Gutiérrez-Vannucchi, A. -C. (2021). *Efectos de la contaminación antropogénica sobre la comunicación acústica de anfibios en ambientes urbanos*. [Tesis de maestría]. Repositorio Kerwa – Universidad de Costa Rica.
- Gutiérrez-Vannucchi, A.-C., Rodríguez-Umaña, P., Sandoval, L., & García-Rodríguez, A. (2019). Variación en la actividad acústica de *Hyalinobatrachium fleischmanni* (Anura: Centrolenidae) en un ambiente urbano con diferentes niveles de ruido antropogénico. *Revista de Biología Tropical*, 67, 249–258.
- Holmes, S. B., McIlwrack, K. A., & Venier, L. A. (2014). Using automated sound recording and analysis to detect bird species-at-risk in southwestern Ontario woodlands. *Wildlife Society Bulletin*, 38(3), 591–598.
- Horne, J. K. (2000). Acoustic approaches to remote species identification: a review. *Fisheries Oceanography*, 9(4), 356–371.
- Hume, J. P. (2017). *Extinct birds* (2a ed.). Christopher Helm.
- Jacobson, S. K., & Vandenberg, J. J. (1991). Reproductive ecology of the endangered Golden Toad (*Bufo periglenes*). *Journal of Herpetology*, 25(3), 321–327.



- Janik, V. M. (2005). Underwater acoustic communication networks in marine mammals. En P. K. McGregor (Ed.), *Animal Communication Networks* (pp. 390–415). Cambridge University Press.
- Juárez, R., Araya-Ajoy, Y. G., Barrantes, G., & Sandoval, L. (2021). House Wrens (*Troglodytes aedon*) reduce repertoire size and change song element frequencies in response to anthropogenic noise. *Ibis*, 163(1), 52–64.
- Karapostoli, A., & Votsi, N.-E. (2018). Urban soundscapes in the historic centre of Thessaloniki: sonic architecture and sonic identity. *Sound Studies*, 4(2), 162–177.
- Krause, B. L. (2002). *Wild Soundscapes in the National Parks: An Educational Program Guide to Listening and Recording*. US Department of the Interior, National Park Service.
- Lambert, K. T. A., & McDonald, P. G. (2014). A low-cost, yet simple and highly repeatable system for acoustically surveying cryptic species. *Austral Ecology*, 39(7), 779–785.
- Leenders, T. (2016). *Amphibians of Costa Rica*. Zona Tropical.
- Lostanlen, V., Salamon, J., Farnsworth, A., Kelling, S., & Bello, J. P. (2019). Robust sound event detection in bioacoustic sensor networks. *PLOS ONE*, 14(10), e0214168.
- Measey, G. J., Stevenson, B. C., Scott, T., Altwegg, R., & Borchers, D. L. (2017). Counting chirps: acoustic monitoring of cryptic frogs. *Journal of Applied Ecology*, 54(3), 894–902.
- Méndez, C., Barrantes, G., & Sandoval, L. (2021). The effect of noise variation over time and between populations on the fine spectrotemporal characteristics of different vocalization types. *Behavioural Processes*, 182, 104282.
- Molina-Mora, I., Ruíz-Gutiérrez, V., Vega-Hidalgo, A., & Sandoval, L. (2024). The utility of passive acoustic monitoring for using birds as indicators of sustainable agricultural management practices. *Frontiers in Bird Science*, 3.
- Oliver, R. Y., Ellis, D. P. W., Chmura, H. E., Krause, J. S., Pérez, J. H., Sweet, S. K., Gough, L., Wingfield, J. C., & Boelman, N. T. (2018). Eavesdropping on the Arctic: Automated bioacoustics reveal dynamics in songbird breeding phenology. *Science Advances*, 4(6), eaaq1084.
- Oswald, J. N., Van Cise, A. M., Dassow, A., Elliott, T., Johnson, M. T., Ravignani, A., & Podos, J. (2022). A Collection of Best Practices for the Collection and Analysis of Bioacoustic Data. *Applied Sciences*, 12(23), 12046.
- Penar, W., Magiera, A., & Kłoczek, C. (2020). Applications of bioacoustics in animal ecology. *Ecological Complexity*, 43, 100847.
- Picciulin, M., Kéver, L., Parmentier, E., & Bolgan, M. (2019). Listening to the unseen: Passive acoustic monitoring reveals the presence of a cryptic fish species. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(2), 202–210.
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., Gage, S. H., & Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203–216.
- Protti-Sánchez, F., García-Rodríguez, A., Barrantes, G., & Sandoval, L. (2023). Does variation in call rate affect the response of territorial males in the Strawberry Poison Frog (*Oophaga pumilio*)? *Ichthyology & Herpetology*, 111(2), 248–253.
- Quammen, D. (1996). *The song of the Dodo: island biogeography in an age of extinctions*. Scribner.
- Ramírez-Fernández, J. D., Sánchez, R., May-Collado, L. J., González-Maya, J. F., & Rodríguez-Herrera, B. (2023). Revised checklist and conservation status of the mammals of Costa Rica. *Therya*, 14(2), 233–244.
- Ranft, R. (2004). Natural sound archives: past, present and future. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(2), 456–460.
- Ribeiro, J. W., Harmon, K., Leite, G. A., de Melo, T. N., LeBien, J., & Campos-Cerqueira, M. (2022). Passive acoustic monitoring as a tool to investigate the spatial distribution of invasive alien species. *Remote Sensing*, 14(18), 4565.
- Ross, S. R. P.-J., O'Connell, D. P., Deichmann, J. L., Desjonquères, C., Gasc, A., Phillips, J. N., Sethi, S. S., Wood, C. M., & Burivalova, Z. (2023). Passive acoustic monitoring provides a fresh perspective on fundamental ecological questions. *Functional Ecology*, 37(4), 959–975.
- Salamon, J., Bello, J. P., Farnsworth, A., Robbins, M., Keen, S., Klinck, H., & Kelling, S. (2016). Towards the automatic classification of avian flight calls for bioacoustic monitoring. *PLOS ONE*, 11(11), e0166866.
- Sánchez, N. V., Sandoval, L., Hedley, R. W., St. Clair, C. C., & Bayne, E. M. (2022). Relative importance for Lincoln's Sparrow (*Melospiza lincolni*) occupancy of vegetation type versus noise caused by industrial development. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 810087.
- Sandoval, L. (2011). Male-male vocal interactions in a territorial neotropical quail: which song characteristics predict a territorial male's response? *Behaviour*, 148(9/10), 1103–1120.

- Sandoval, L., Juárez, R., & Villarreal, M. (2018). Different messages are transmitted by individual duet contributions and complete duets in a species with highly overlapped duets. *The Open Ornithology Journal*, 11, 56-67.
- Sandoval, L., Bitton, P.-P., Doucet, S. M., & Mennill, D. J. (2014). Analysis of plumage, morphology, and voice reveals species-level differences between two subspecies of Prevost's Ground-sparrow *Melospiza biarcuata* (Prevost and Des Murs) (Aves: Emberizidae). *Zootaxa*, 3895(1), 103-116.
- Sandoval, L., & Escalante, I. (2011). Song description and individual variation in males of the Common Pauraque (*Nyctidromus albicollis*). *Ornitología Neotropical*, 22(2), 173-185.
- Sandoval, L., Méndez, C., & Mennill, D. J. (2016). Vocal behaviour of White-eared Ground-sparrows (*Melospiza leucotis*) during the breeding season: Repertoires, diel variation, behavioural contexts, and individual distinctiveness. *Journal of Ornithology*, 157(1), 1-12.
- Sandoval, L., & Nishida, K. (2015). The first record of an audible sound produced by a Ghost Moth, *Phassus* (Hepialidae) from Costa Rica. *The Journal of Research on the Lepidoptera*, 48, 45-49.
- Solow, A., Smith, W., Burgman, M., Rout, T., Wintle, B., & Roberts, D. (2012). Uncertain sightings and the extinction of the Ivory-Billed Woodpecker. *Conservation Biology*, 26(1), 180-184.
- Sueur, J., Aubin, T., & Simonis, C. (2008). Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18(2), 213-226.
- Sugai, L. S. M., & Llusia, D. (2019). Bioacoustic time capsules: Using acoustic monitoring to document biodiversity. *Ecological Indicators*, 99, 149-152.
- Trejos, C., & Barrantes, G. (2014). Natural history and acoustic repertoire of the Large-footed Finch (*Pezopetes capitalis*), an endemic, highland bird of Costa Rica and Western Panama. *Ornitología Neotropical*, 25, 261-271.
- Vargas-Castro, L. E., Sánchez, N. V., & Barrantes, G. (2012). Repertoire size and syllable sharing in the song of the Clay-colored Thrush (*Turdus grayi*). *The Wilson Journal of Ornithology*, 124(3), 446-453. <https://doi.org/10.1676/11-044.1>
- Webster, M. S., & Budney, G. F. (2017). Sound archives and media specimens in the 21st Century. En C. Brown & T. Riede (Eds.), *Comparative Bioacoustics: An Overview* (pp. 462-485). Bentham Science Publishers.
- Wrege, P. H., Rowland, E. D., Keen, S., & Shiu, Y. (2017). Acoustic monitoring for conservation in tropical forests: examples from forest elephants. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(10), 1292-1301.