

UN LLAMADO NEOTROPICAL: REPOSITARIOS ACÚSTICOS DE LA HERPETOLOGÍA LATINOAMERICANA

A CALL FOR CALLS: ACOUSTIC REPOSITORIES BASED IN LATIN AMERICA

ANGELA M. MENDOZA-HENAO^{1*}, SAMANTHA ORDÓÑEZ-FLORES², SIMONE DENA³, LUÍS FELIPE TOLEDO^{3,4}, JUAN M. GUAYASAMIN⁵, DANIELA FRANCO MENA⁵ & ORLANDO ACEVEDO-CHARRY^{1,6}

¹*Colección de Sonidos Ambientales Mauricio Álvarez-Rebolledo, Subdirección de Investigaciones, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Claustro de San Agustín – Carrera 8 # 15-08, Villa de Leyva, Boyacá, Colombia*

²*Laboratorio de Herpetología, Museo de Zoología Alfonso L. Herrera, Facultad de Ciencias, UNAM. Circuito exterior SN, Ciudad Universitaria, Coyoacán, CP. 04510, Ciudad de México, México.*

³*Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard - FNJV, Museu de Diversidade Biológica - MDBio, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, 13083-060, Campinas, São Paulo, Brazil.*

⁴*Laboratório de História Natural de Anfíbios Brasileiros, Departamento de Biologia Animal, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, 13083-060, Campinas, São Paulo, Brazil.*

⁵*Laboratorio de Biología Evolutiva, Instituto Biósfera, Colegio de Ciencias Biológica y Ambientales COCIBA, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Calle Diego de Robles s/n y Pampite, Quito, Ecuador,*

⁶*Dirección actual: School of Natural Resources and Environment & Department of Wildlife Ecology and Conservation, University of Florida, Gainesville, Florida 32611, USA.*

*Correspondence: am.mendozah@gmail.com

Received: 2021-07-27. Accepted: 2021-10-10.

Editor: Leticia Ochoa-Ochoa, México.

Abstract.— In recent decades, the development of new sampling techniques has allowed us to more easily collect novel samples that enrich our knowledge of the specimens we study. In this sense, audiovisual samples, especially acoustic signal recordings, have become an essential part of herpetological research. The correct storage of these specimens is key to strengthening scientific research. However, the vast majority of publicly accessible audiovisual repositories are located in countries of the Global North, which restricts scientific work in Latin countries. The use of local or regional repositories opens the possibility of storing the diversity of scientific samples generated in the region, making them easily accessible to regional researchers and the dissemination of local science. This letter is an urgent call to the herpetological community in Latin America to take three main actions as a community to increase the accessibility, reproducibility and growth of Neotropical amphibian bioacoustic research: 1) researchers should deposit recordings used in published research in national or regional acoustic repositories, 2) publishers and paper reviewers should require authors to provide deposit numbers of all files used in any acoustic research and the correct referencing of the collections used in order to accept manuscripts and, 3) the managements of regional institutions with repositories should ensure that institutional acoustic repositories are strengthened and maintained in the long term.

Keywords.— Anura, bioacoustics, digital repositories

Resumen.— En las últimas décadas, el desarrollo de nuevas técnicas de muestreo nos ha permitido recolectar con mayor facilidad diversas evidencias que enriquecen el conocimiento de los especímenes que estudiamos. En este sentido, las muestras audiovisuales, sobre todo las grabaciones de señales acústicas, se han convertido en parte esencial de la investigación herpetológica. El correcto almacenamiento de estas muestras es clave para fortalecer la investigación científica. Sin embargo, la gran mayoría de repositorios audiovisuales de acceso público se encuentran en países del Norte Global, lo cual puede restringir la labor científica en países latinos.



El uso de repositorios locales o regionales abre la posibilidad de almacenar la diversidad de muestras científicas generadas en la región, haciéndolas fácilmente accesibles a los investigadores regionales y a la divulgación de la ciencia local. Esta carta es un llamado urgente a la comunidad herpetológica en Latinoamérica para que se tomen tres acciones principales como comunidad para aumentar la accesibilidad, reproducibilidad y crecimiento de la investigación bioacústica de anfibios neotropicales: 1) los investigadores deben depositar las grabaciones usadas para investigaciones publicadas en repositorios acústicos nacionales o regionales, 2) las editoriales y revisores de revistas científicas deben exigir a los autores los números de depósito de todos los archivos utilizados en cualquier investigación acústica y la correcta referenciación de las colecciones usadas para poder aceptar los manuscritos y, 3) las directivas de las instituciones regionales con repositorios deben garantizar el fortalecimiento y mantenimiento a largo plazo de los repositorios acústicos institucionales.

Palabras clave.— Anura, bioacústica, repositorios digitales.

Resumo — Nas últimas décadas, o desenvolvimento de novas técnicas de amostragem nos permitiu coletar com mais facilidade diferentes tipos de amostras que enriquecem o conhecimento das espécies estudadas. Nesse sentido, as amostras audiovisuais, principalmente as gravações sonoras, tornaram-se parte essencial da pesquisa herpetológica. O armazenamento e o cuidado correto com esses arquivos são fundamentais para fortalecer a pesquisa científica. No entanto, a grande maioria das coleções audiovisuais de acesso público estão em países do Hemisfério Norte, o que restringe o trabalho científico em países latino-americanos. A utilização e valorização de coleções locais ou regionais abrem a possibilidade de armazenar a diversidade de amostras científicas geradas na região, tornando-as facilmente acessíveis aos pesquisadores regionais e à divulgação da ciência local. Esta carta é um apelo à comunidade herpetológica na América Latina para realizar três ações principais, para aumentar a acessibilidade, reprodutibilidade e crescimento da pesquisa bioacústica em anfíbios e répteis neotropicais: 1) os pesquisadores devem depositar as gravações citadas em pesquisas científicas em coleções sonoras nacionais ou regionais, principalmente naquelas com acesso público; 2) os editores e revisores de revistas científicas devem exigir dos autores os números de tombo/códigos de depósito de todos os arquivos utilizados em qualquer pesquisa acústica e a correta citação das coleções utilizadas, para a aceitação dos manuscritos e; 3) os coordenadores das instituições regionais com coleções bioacústicas devem garantir o reforço e manutenção das coleções nas respectivas instituições, de forma a garantir a acessibilidade de longo prazo a esses arquivos.

Palavras-chave — Anura, bioacústica, repositórios digitais.

Los especímenes depositados en colecciones biológicas convencionales permiten conocer la morfología y otros aspectos del relacionamiento intra e interespecífico, como su condición reproductiva o la presencia de patógenos. Las colecciones científicas, en particular las colecciones públicas de universidades, entidades gubernamentales u organizaciones privadas sin ánimo de lucro, son actores importantes en el papel de conservación del material y disponibilidad para consulta, puesto que promueven la reproducibilidad y accesibilidad de los datos de la investigación, lo cual es esencial para el método científico. De hecho, la importancia de las colecciones de historia natural como una fuente valiosa de datos para todo tipo de investigación biológica ha sido resaltada en las últimas décadas (por ejemplo, Suárez & Tsutsui, 2004; Winker, 2004; Pyke & Ehrlich, 2010; Toledo et al., 2015; Dena et al., 2018; Funk, 2018; Dena et al., 2020). Los especímenes más comunes son las pieles y los ejemplares completos preservados en etanol, sin embargo, algunos rasgos conductuales y ecológicos a menudo no se documentan o no se logran conservar adecuadamente al preservar el ejemplar por sí mismo (Webster, 2017), perdiendo

detalles de las interacciones biológicas (Alström & Ranft, 2003; Ranft, 2004; Schindel & Cook, 2018). En este sentido, la investigación biológica incluye la recolección de otro tipo de muestras biológicas, denominadas "especímenes extendidos" (Webster, 2017). Algunas de estas muestras son tangibles como los sus tejidos, diafanizaciones o nidos, mientras otras son digitales como secuencias de ADN, fotografías, videos o audios (Fig. 1).

El sonido juega un papel muy importante en la comunicación tanto intra como interespecífica (Farina, 2014, Acevedo-Charry et al., 2021). La comunicación acústica es uno de los cuatro tipos de comunicación comúnmente usados por los organismos y utiliza señales auditivas de largo y corto alcance, asociados al contexto comunicativo público o privado, respectivamente (Larsen 2020). Se ha documentado el uso de la comunicación acústica en escenarios de forrajeo, defensa de territorio, selección de pareja y cuidado parental, entre otros (Clemens et al., 2017). Las vocalizaciones (e incluso las señales vibratorias no propiamente acústicas, Frommolt et al., 2019; Narins, 2019)

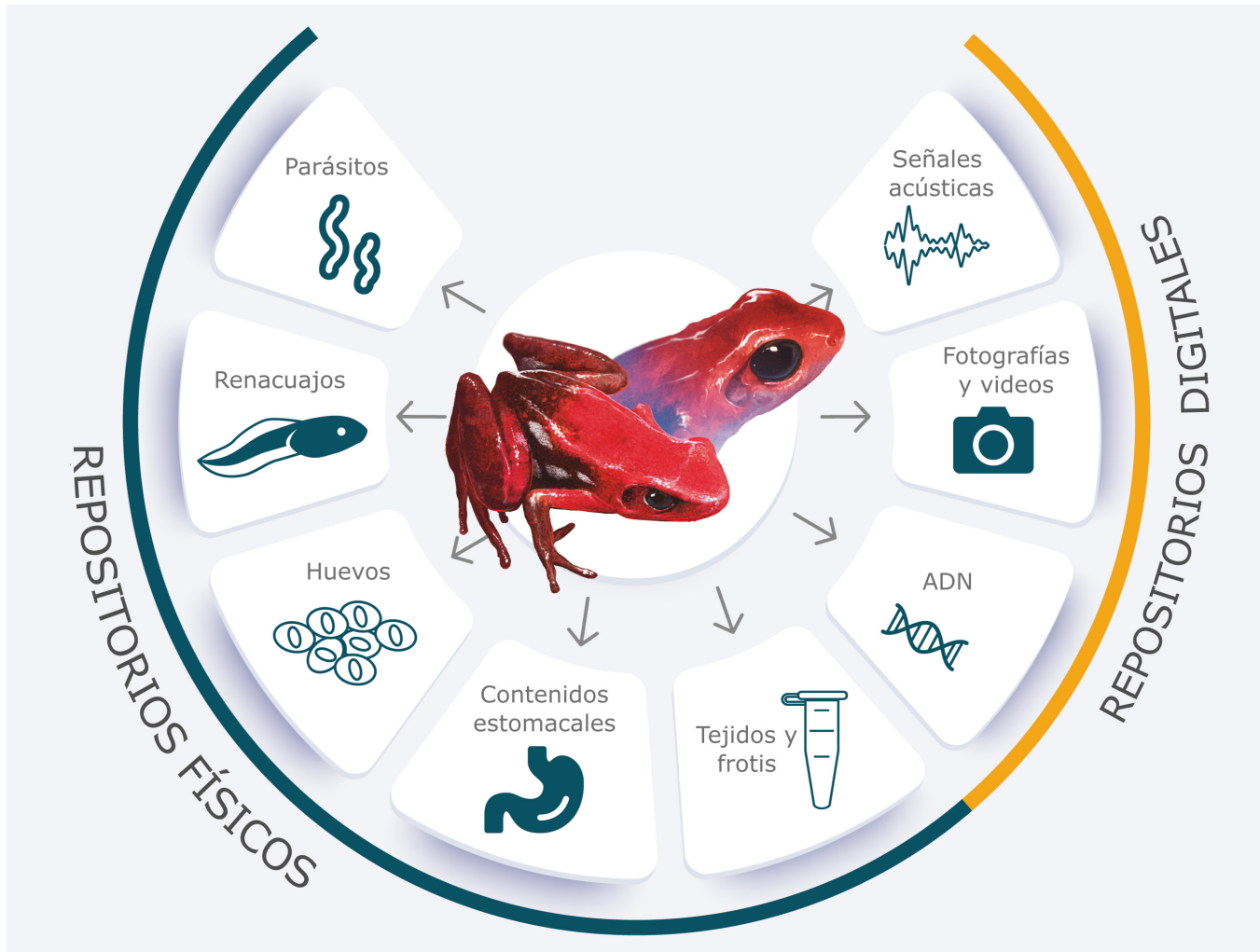


Figure 1. Besides complete specimens, there are diverse elements, known as extended specimens that should be stored in biological collections to ensure the long-term availability of the information. Extended specimens can be physical (like eggs, dry skeletons and diaphanizations, stomachal contents, tissues) and digital (like DNA sequences, pictures, videos and acoustic signals among others).

Figura 1. Além dos espécimes completos, existem vários itens, conhecidos como espécimes estendidos, que devem ser armazenados em coleções biológicas para garantir a disponibilidade de informações a longo prazo. Os espécimes estendidos podem ser físicos (como ovos, esqueletos secos e diafanizações, conteúdo estomacal, tecidos) e digitais (como sequências de DNA, fotografias, vídeos e sinais acústicos, entre outros).

Figura 1. Además de los especímenes completos, existen diversos elementos, conocidos como especímenes extendidos, que deben almacenarse en colecciones biológicas para garantizar la disponibilidad de la información a largo plazo. Los especímenes extendidos pueden ser físicos (como huevos, esqueletos secos y diafanizaciones, contenidos estomacales, tejidos) y digitales (como secuencias de ADN, fotografías, vídeos y señales acústicas, entre otros).

están presentes en procesos tanto ecológicos como evolutivos lo que las hace una característica de historia natural sumamente valiosa de coleccionar en campo. En grupos como los anuros, donde las señales acústicas median las interacciones reproductivas, las vocalizaciones tienden a ser altamente estereotipadas. Esto se debe a que son vitales para discriminar entre conespecíficos e individuos de otras especies (Okamoto & Grether, 2013), evitando así los costos energéticos asociados a cruces inviables

con heteroespecíficos (Kelley, 2004). Esto convierte a los anuros en modelos ideales para los estudios comparativos a excluir la variación cultural por aprendizaje, facilitando la detección del impacto de los restantes parámetros en la variación de estas señales (Gerhard, 1994). Dada esta alta especificidad, la variación geográfica de las vocalizaciones puede representar un mecanismo de aislamiento reproductivo (Lee et al., 2016)

que puede llegar a tener implicaciones evolutivas, favoreciendo incluso el proceso de especiación (Clemens et al., 2017).

Aunado a esto, el estudio de las vocalizaciones desde la ecología de la conducta y con una perspectiva de conservación puede ayudarnos a identificar perturbaciones en los ecosistemas en etapas tempranas (Herrera Montes, 2018) así como facilitar los esfuerzos de reintroducción y traslocación de especies en peligro (Durant et al., 2019). La baja variación intraespecífica facilita la detección de especies en el monitoreo acústico pasivo al reducir la curva de aprendizaje en el *Machine Learning* (Aide et al., 2013; Ospina et al., 2013, pero ver Rivera-Correa et al., 2017). Dado que la mayoría de las especies de anuros emiten señales acústicas, el seguimiento y la comparación de sus diferentes señales frente al cambio climático, los invasores biológicos y las enfermedades también pueden mejorar los estudios de conservación, algo extremadamente importante, ya que se trata de uno de los grupos más amenazados entre todos los animales (Collins & Storfer, 2003; Sodhi et al., 2008).

El avance en nuevos desarrollos de tecnologías en la toma de datos, almacenamiento y accesibilidad a la información permite formalizar los esfuerzos de registro conductual en medios audiovisuales, de modo que puedan garantizar su acceso para futuras consultas (Acevedo-Charry et al., 2021). Una de las ventajas de los especímenes multimedia (como las grabaciones de audios) es la disponibilidad de generar múltiples copias o duplicados, por lo que un mismo archivo puede ser almacenado en diferentes colecciones institucionales y a la vez los investigadores pueden conservar los archivos originales en sus unidades personales para uso personal. Junto con el estallido de la tecnología de grabación y procesamiento de audio, en los últimos cincuenta años se han producido cambios drásticos en la forma de administrar las colecciones científicas. La mayoría de la información de las colecciones está pasando a un formato digital, respondiendo a nuevos retos como la necesidad de datos holísticos que requiere la investigación interdisciplinar (Schindel & Cook, 2018). Teniendo en cuenta la naturaleza de las colecciones completamente digitales, estas garantizan que sus activos digitales sean Encontrables, Accesibles, Interoperables y Reutilizables (conocida como FAIRness por sus siglas en inglés; Wilkins et al., 2016). Para garantizar la correcta conservación de las grabaciones, una condición importante para las colecciones es que deben ser capaces de asegurar la actualización y el mantenimiento de las bases de datos, y en especial en esta era de grandes conjuntos de datos, el acceso público a los datos biológicos es un requisito para el desarrollo de estudios a gran escala. En este sentido, el conocimiento sobre bioacústica se ha visto favorecido por el trabajo colectivo, que ha dado lugar a

bases de datos organizadas y públicas (por ejemplo, biblioteca Macaulay, Xeno-canto, WikiAves), permitiendo incluso la creación de herramientas especializadas para trabajar de forma automatizada en la identificación y procesamiento de una gran cantidad de datos sonoros (por ejemplo, el paquete de R WarblerR, Araya-Salas & Smith-Vidaurre, 2017; Animal Sound Identifier en MatLab, Ovaskainen et al., 2018; o scikit-maad en Python, Ulloa et al., 2021). De esta manera, la información disponible en estos repositorios puede ser utilizada no sólo como referencia para la identificación y comparación de especies *per se*, sino para estudios a gran escala en monitoreo, evolución de señales, procesos macroecológicos, entre otros (i.e. Mikula et al., 2021).

Dada la suma importancia para el avance de la ciencia neotropical, los investigadores deberían archivar las grabaciones de audio en repositorios acústicos, de forma similar a lo que se hace con los especímenes de museo y las secuencias de ADN (Toledo et al., 2015; Dena et al., 2018; Dena et al., 2020). Lamentablemente, el depósito de grabaciones sonoras de anuros en repositorios institucionales aún no es una práctica habitual (Dena et al., 2020) y las publicaciones aún no exigen esta práctica como requisito para sustentar la información que respalde las investigaciones (Toledo et al., 2015). La principal justificación de los investigadores para no depositar los archivos de audio es la falta de tiempo para prepararlos (Dena et al., 2020). No depositar las grabaciones en los repositorios acústicos pone en peligro el almacenamiento a largo plazo, la posibilidad de compartirlas y también podría implicar una apropiación indebida de recursos públicos al perderse el esfuerzo (salarios de investigadores, compra de equipos, gastos de salidas de campo) financiado por dichos recursos (Dena et al., 2020).

Debido a esta falta de información pública, los investigadores interesados en la bioacústica o ecoacústica han tenido que hacer un esfuerzo extra contactando a diferentes investigadores y apelando a su buena voluntad para compartir los archivos de audio generados en estudios a veces ya publicados. Este trabajo es más difícil cuando existen conflictos personales entre los líderes de los laboratorios, poniendo en desventaja a los estudiantes que no han formado parte de dichos conflictos, o para aquellas instituciones pequeñas que no forman parte de ciertas redes de trabajo, lo cual aumenta la desigualdad y falta de representatividad.

A pesar de que en América Latina existen varios repositorios acústicos con grabaciones herpetológicas, permanentemente vinculados a institutos de investigación y universidades, los especímenes digitales se encuentran en su mayoría en institutos



Figure 2. Location and taxonomical coverage of anuran sound repositories in Latin America. The size of each point represents the number of recordings until 31 May 2021 and the opacity represents the species coverage with respect to the total number of species in each country. Countries in gray color have at least one repository with anuran recordings. Bar plots indicate the number (N) of recordings of the most common families in some repositories. a = Colección de Sonidos Ambientales Mauricio Álvarez Rebolledo, b = Fonoteca de Anfibios de México, c = combined information of collections in Quito, d = Fonoteca da Universidade Federal de Goiás y e = Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard. Complete information of repositories is available in Appendix 1. Pictures: *Agalychnis taylori* (Angela M. Mendoza-Henao), *Dendropsophus microcephalus* (Felipe Villegas), *Engystomops petersi* (Alejandro Arteaga) and *Boana albomarginata* (Victor Fávoro Augusto).

Figura 2. Localização e representatividade taxonômica dos repositórios sonoros de anuros na América Latina. O tamanho de cada ponto representa o número de registros até 31 de maio de 2021 e a opacidade mostra a representatividade das espécies em relação ao total de espécies em cada país. Os países em cinza contêm pelo menos uma coleção com sons em anuros. Os gráficos de barras indicam o número (N) de registros das famílias mais comuns em alguns repositórios. a = Colección de Sonidos Ambientales Mauricio Álvarez Rebolledo, b = Fonoteca de Anfibios de México, c = total de cantos de las cuatro colecciones de Quito, d = Fonoteca da Universidade Federal de Goiás y e = Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard. As informações completas dos repositórios estão disponíveis na Apêndice 1. Fotografias das espécies com mais registros em alguns repositórios: *Agalychnis taylori* (Angela M. Mendoza-Henao), *Dendropsophus microcephalus* (Felipe Villegas), *Engystomops petersi* (Alejandro Arteaga) e *Boana albomarginata* (Victor Fávoro Augusto).

Figura 2. Ubicación y cobertura taxonómica de los repositórios de sonidos de anuros en América Latina. El tamaño de cada punto representa el número de grabaciones hasta el 31 de mayo de 2021 y la opacidad representa la cobertura de especies respecto al total de especies en cada país. Países en color gris contienen al menos una colección con sonidos en anuros. Los gráficos de barras indican el número (N) de grabaciones de las familias más comunes en algunos repositórios. a = Colección de Sonidos Ambientales Mauricio Álvarez Rebolledo, b = Fonoteca de Anfibios de México, c = total de cantos de las cuatro colecciones de Quito, d = Fonoteca da Universidade Federal de Goiás y e = Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard. La información completa de los repositórios está disponible en la Apêndice 1. Fotografías de las especies con más grabaciones en algunos repositórios: *Agalychnis taylori* (Angela M. Mendoza-Henao), *Dendropsophus microcephalus* (Felipe Villegas), *Engystomops petersi* (Alejandro Arteaga) y *Boana albomarginata* (Victor Fávoro Augusto).

de investigación ubicados en países del Norte Global. En este trabajo logramos identificar un total de 20 repositorios en seis países (Fig. 2; Apéndice 1). Algunos de ellos surgen como iniciativas personales, y con el paso del tiempo y con el apoyo institucional respectivo, los repositorios logran contar con los estándares de curación que garanticen el correcto almacenamiento y acceso público a largo plazo. En este momento, siete de los repositorios institucionales en Latinoamérica cuentan con estándares internacionales de curación: incluyen un sitio web con la información de las vocalizaciones disponibles en la colección, cuentan con un sistema de catálogo, permiten el libre depósito de cantos y acceso a los metadatos y tienen personal dedicado a las colecciones de sonidos. El uso de repositorios locales o regionales abre la posibilidad de almacenar la diversidad de muestras científicas generadas en la región, garantizando la gobernabilidad de los territorios sobre sus propios recursos naturales, haciéndolas fácilmente accesibles a los investigadores regionales y al público no especializado. Así mismo, la divulgación de la ciencia allí generada (en sus respectivos idiomas locales) permite una relación más estrecha entre la academia y el resto de la sociedad.

La democratización de la ciencia requiere, entre otras cosas, un fácil acceso a las muestras (Toledo et al., 2015); y esto sólo es posible a través de la inversión en instalaciones o desarrollos que aseguren el mantenimiento a largo plazo de dichas muestras. Recientes iniciativas institucionales apuntan a mejorar este panorama en un futuro próximo (Apéndice 1), con lo cual se espera mejore el relacionamiento entre la sociedad y la naturaleza. Esta carta es un llamado urgente a la comunidad herpetológica para que se tomen tres acciones principales para aumentar la accesibilidad y reproducibilidad de la investigación bioacústica de anuros neotropicales. Estas acciones son:

- Los investigadores deben depositar las grabaciones de sus investigaciones publicadas y en preparación en repositorios acústicos nacionales o regionales. Aquellos investigadores con grabaciones son bienvenidos a contactar a las instituciones para resolver sus dudas sobre los protocolos de depósito y préstamo de grabaciones.

- Los editores y revisores de revistas deben exigir a los autores los números de depósito de todos los archivos utilizados en cualquier investigación acústica y la correcta referenciación de las colecciones usadas antes de aceptar los manuscritos.

- Las directivas de instituciones regionales deben asegurar el fortalecimiento y mantenimiento a largo plazo de los repositorios acústicos institucionales.

Afortunadamente se está entendiendo la importancia de estas acciones y un número considerable de investigadores ya ha apoyado con su firma a esta misiva (Apéndice 2). Aun así, es importante identificar los retos implicados para lograr dichas acciones. Los investigadores y los estudiantes han declarado que no están familiarizados con los protocolos de depósito (Dena et al., 2020), de modo que proporcionar protocolos sencillos y accesibles en los sitios web de las colecciones puede fomentar la participación y facilitar este proceso. En el aspecto metodológico, existen trabajos recientes en inglés y en español (Köhler et al., 2017; Acevedo-Charry et al., 2021) donde esa información ya está sistematizada; sin embargo, consideramos importante divulgar por diferentes medios algunos elementos claves para facilitar su acceso a las personas interesadas en esta área. Así mismo, algunos herpetólogos han expresado su preocupación por los derechos de autor de sus materiales audiovisuales una vez que los depositan en los repositorios (Dena et al., 2020). Las colecciones deberían hacer lo más visible posible las declaraciones de derechos de autor para certificar la transparencia en el envío de las grabaciones.

Cabe resaltar que esta situación no es exclusiva para el estudio de la bioacústica de anuros sino que se extiende también a otros grupos taxonómicos (ej. Lozano-Flórez et al., 2021; Martínez-Medina et al., 2021). El trabajo colaborativo entre investigadores, editores de revistas y directivas institucionales es fundamental para reforzar el estudio en bioacústica en el Neotrópico. El fortalecimiento y mantenimiento de los repositorios acústicos institucionales es importante para que los repositorios logren asegurar la correcta preservación y uso a corto, mediano y largo plazo, junto con la actualización de sus instalaciones. De este modo, se pueden establecer buenas prácticas para proporcionar de manera pública información clara sobre el proceso de curación y garantizar la transparencia en la preservación y manejo de las grabaciones.

Agradecimientos.— Agradecemos a dos revisores anónimos por sus comentarios al documento.

INFORMACIÓN SUPLEMENTARIA

Apéndice 1. Repositorios acústicos encontrados con grabaciones herpetológicas. <https://drive.google.com/drive/folders/1JAGkt09XRusOnIykvA-n11ek7DPM494?usp=sharing>

Apéndice 2. Firmas de apoyo obtenidas.

Apéndice 3. English version of this document.

Apéndice 4. Versão em português deste documento.

LITERATURA CITADA

- Acevedo-Charry, O., A.M. Ospina-L, A. Buitrago-Cardona & K.G. Borja-Acosta. 2021. Recomendaciones para registrar y almacenar señales acústicas como especímenes digitales. *Biodiversidad en la Práctica* 6:e932.
- Aide, T.M., C. Corrada-Bravo, M. Campos-Cerqueira, C. Milan, G. Vega & R. Alvarez. 2013. Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ* 1:e103.
- Alström, P. & R. Ranft. 2003. The use of sounds in avian systematics and the importance of bird sound archives. *Bulletin of the British Ornithologists' Club* 123:114-135.
- Araya-Salas, M. & G. Smith-Vidaurre. 2017. warbleR: an R package to streamline analysis of animal acoustic signals. *Methods in Ecology and Evolution* 8:184-191.
- Baker, E. & S. Vincent. 2019. A deafening silence: a lack of data and reproducibility in published bioacoustics research? *Biodiversity Data Journal* 7:e36783.
- Clemens, J., J. Aufderheide & B. Ronacher. 2017. Relative weighting of acoustic information during mating decisions in grasshoppers indicates signatures of sexual selection. *Journal of Comparative Physiology A* 203:891-901.
- Collins, J.P. & A. Storfer. 2003. Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Diversity and Distribution* 9:89-98.
- Dena, S., R. Rebouças, G. Augusto-Alves, C. Zornosa-Torres, M.R. Pontes & L.F. Toledo. 2020. How much are we losing in not depositing anuran sound recordings in scientific collections? *Bioacoustics* 29:590-601.
- Durant, S.M., R. Groom, B. Kuloba, A. Samna, U. Muzuma, P. Gadimang, R. Mandisodza-Chikerema, A. Ipavec, N. Mitchell, D. Ikanda & M. Msuha. 2019. Bridging the divide between scientists and decision-makers: How behavioural ecologists can increase the conservation impact of their research? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374:20190011.
- Farina, A. 2014. *Soundscape Ecology. Principles, Patterns, Methods and Applications*. Springer Netherlands, Dordrecht, Netherlands.
- Frommolt, K.H., Hoch, H. & A. Wessel. 2019. Call for the Establishment of a VibroLibrary at the Animal Sound Archive Berlin in the Biotremology: Studying Vibrational Behavior. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- Funk, V.A. 2018. Collections-based science in the 21st Century. *Journal of Systematic and Evolution* 56:175-193.
- Gerhardt, H.C. & F. Huber. 2002. *Acoustic communication in insects and anurans: common problems and diverse solutions*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Herrera-Montes, M.I. 2018. Protected area zoning as a strategy to preserve natural soundscapes, reduce anthropogenic noise intrusion, and conserve biodiversity. *Tropical Conservation Science* 11:1-15.
- Köhler, J., M. Jansen, A. Rodriguez, P.J. Kok, L.F. Toledo, M. Emmrich, F. Glaw, C.F.B. Haddad, M.O. Rödel & M. Vences. 2017. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa* 4251:1-124.
- Larsen, O.N. 2020. To Shout or to Whisper? Strategies for Encoding Public and Private Information in Sound Signals. *Coding Strategies in Vertebrate Acoustic Communication* 7:11-44
- Lozano-Flórez, J., Colón-Piñeiro, Z. & O. Acevedo-Charry. 2021. Un llamado a 528 voces: Oportunidades de investigación con los sonidos de los mamíferos colombianos. *Caldasia* 43(1):404-407
- 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* 22:7-25.
- Mikula, P., M. Valcu, H. Brumm, M. Bulla, W. Forstmeier, T. Petrusková, B. Kempenaers & 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* 24:477-486.
- Narins, P.M. 2019. *Seismic Communication in the Amphibia with Special Emphases on the Anura in the Biotremology: Studying Vibrational Behavior*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.



- Okamoto, K.W. & G.F. Grether. 2013. The evolution of species recognition in competitive and mating contexts: the relative efficacy of alternative mechanisms of character displacement. *Ecology Letters* 16:670-678.
- Ospina, O.E., L.J. Villanueva-Rivera, C.J. Corrada-Bravo & T.M. Aide. 2013. Variable response of anuran calling activity to daily precipitation and temperature: implications for climate change. *Ecosphere* 4:1-12.
- Pyke, G.H. & P.R. Ehrlich. 2010. Biological collections and ecological/environmental research: a review, some observations and a look to the future. *Biological Reviews* 85:247-266.
- Ranft, R. 2004. Natural sound archives: past, present and future. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 76:456-460.
- Rivera-Correa, M., F. Vargas-Salinas & T. Grant, T. 2017. Statistical differences and biological implications: a comparative analysis of the advertisement calls of two Andean stream treefrogs (*Hylidae: Hyloscirtus*) and the evolution of acoustic characters. *Salamandra* 53:237-244.
- Schindel, D.E. & J.A. Cook. 2018. The next generation of natural history collections. *PLoS Biology* 16:e2006125.
- Sodhi, N.S., D. Bickford, A.C. Diesmos, T.M. Lee, L.P. Koh, B.W. Brook, C.H. Sekercioglu & C.J. Bradshaw. 2008. Measuring the meltdown: drivers of global amphibian extinction and decline. *PLoS One* 3:e1636.
- Suarez, A.V. & N.D. Tsutsui. 2004. The value of museum collections for research and society. *American Institute of Biological Sciences Bulletin* 54:66-74.
- Toledo, L.F., C. Tipp & R. Márquez. 2015. The value of audiovisual archives. *Science* 347:484
- Ulloa, J.S., S. Hauptert, J.F. Latorre, T. Aubin & J. Sueur. 2021. scikit-maad: an open-source and modular toolbox for quantitative soundscape analysis in Python. *Methods in Ecology and Evolution* <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13711>
- Webster, M.S. (Ed.). 2017. *The extended specimen: emerging frontiers in collections-based ornithological research*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Wilkinson, M.D., M. Dumontier, I.J. Aalbersberg, G. Appleton, M. Axton, A. Baak, N. Blomberg, J.W. Boiten, L.B.d.S. Santos, P.E. Bourne, J. Bouwman, A.J. Brookes, T. Clark, M. Crosas, I. Dillo, O. Dumon, S. Edmunds, C.T. Evelo, R. Finkers, A. Gonzalez-Beltran, A.J.G. Gray, P. Groth, C. Goble, J.S. Grethe, J. Heringa, P.A.C't Hoen, R. Hooft, T. Kuhn, R. Kok, J. Kok, S.J. Lusher, M.E. Martone, A. Mons, A.L. Packer, B. Persson, P. Rocca-Serra, M. Roos, R.v. Schaik, S.A. Sansone, E. Schultes, T. Sengstag, T. Slater, G. Strawn, M.A. Swertz, M. Thompson, T. van der Lei, E. van Mulligen, J. Velterop, A. Waagmeester, P. Wittenburg, K. Wolstencroft, J. Zhao & B. Mons. 2016. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data* 3:1-9.
- Winker, K. 2004. Natural history museums in a post biodiversity era. *American Institute of Biological Sciences Bulletin* 54:455-459

APÉNDICE 2. FIRMAS DE APOYO OBTENIDAS

Como investigador/a a depositar correctamente y referenciar los archivos bioacústicos en repositorios regionales / As a researcher, to correctly deposit and reference bioacoustic archives in regional repositories. / Como um pesquisador(a), para depositar e referenciar corretamente arquivos bioacústicos em coleções regionais

Juan M. Guayasamin - Universidad San Francisco de Quito
 Eliana Barona Cortés - Instituto Humboldt
 Orlando Acevedo Charry - University of Florida, SNRE & WEC
 H. Mauricio Ortega-Andrade - Universidad Regional Amazónica
 Ikiam/ Laboratorio de Biología Integrativa
 Roberto Marquez - Universidad de Michigan

Juan Daniel Vásquez Restrepo - Universidad Nacional Autónoma de México
 Rebecca Tarvin - University of California, Berkeley
 Brett Butler - UNAM
 Thaís B. Guedes - State University of Maranhão
 Francisco Velásquez - Universidad San Francisco de Quito
 Luis Amador - Universidad Austral de Chile
 Sebastián Duarte Marín - Grupo de investigación Evolución, Ecología y Conservación (EECO)
 Giovanni Chaves Portilla - N/A
 Adrián García Rodríguez - Universidad de Viena
 Lucas S. Barrientos Correa - Universidad del Rosario
 Daniel Alexander Padilla Jiménez - Ninguna



- Diego F. Cisneros-Heredia - Universidad San Francisco de Quito, Museo de Zoología
- María Beatriz Pérez Lara - Instituto nacional de biodiversidad
- Carlos Eduardo Juárez Peña - Red Mesoamericana y del Caribe para la Conservación de Anfibios y Reptiles (Red MesoHerp)
- Santiago Ron - Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador
- Josue David Arteaga-Torres - Ninguna
- Leticia Classen-Rodriguez - Saint Louis University
- Guillermo Funes - N/A
- Juan David Carvajal Castro - St. Jhon's University
- Justin Yeager - Universidad de las Américas
- Aldemar Alberto Acevedo Rincón - Pontificia Universidad Católica de Chile
- Carolina Reyes-Puig - Universidad San Francisco de Quito
- Julián Andrés Rojas - Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
- Floro Ortiz Contreras - Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
- Victor Hugo Quiroz Herrera - Universidad de Antioquia
- Christian Iván Villalta Sanmartín - Universidad del Azuay
- Juan Camilo Díaz Ricaurte - University of São Paulo
- Amanda Belén Quezada Riera - Museo de Zoología de la Universidad del Azuay
- Raquel Hernández Austria - Universidad Nacional Autónoma de México
- Sebastián Cortés Gallo - Universidad de Caldas
- Diego Batallas - Universidad Complutense Madrid
- Laura Ximena López Pérez - Universidad del Quindío
- Victor Jassmani Vargas García - Grupo de Especialistas de Anfibios de la IUCN -ASG Perú
- Ángel Sosa Bartuano - Museo de Vertebrados de la Universidad de Panamá
- Lorena Buitrago Monroy - Ut
- Cristopher Alberto Antúnez Fonseca - Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano
- Robin Adolfo Chu Nogueira - UNMSM
- Dany Apaza Lazarinos - Universidad Nacional de San Agustín
- Giussepe Gagliardi-Urrutia - Departamento académico de Ecología y Fauna, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana / Peruvian Center for Biodiversity and Conservation - PCB&C
- Luis Ramón Aguilar Manihuari - Universidad Nacional de la Amazonia Peruana
- José Manuel Serrano - UNAM
- Jaime Culebras - Photo Wildlife Tours
- Edgardo J. Griffith T. - El Valle Amphibian Conservation Center Foundation
- Alessandro Catenazzi - Florida International University; CORBIDI; Instituto Peruano de Herpetología
- Simone Dena - Universidade Estadual de Campinas
- L. Felipe Toledo - Unicamp
- Carlos Eduardo Costa de Campos - Universidade Federal do Amapá
- Gabriel Novaes-e-Fagundes - UESC (BA/BR) - Universidade Estadual de Santa Cruz
- Amanda da Silva Paim - Unisinos
- Cynthia P A Prado - UNESP
- Larissa Sayuri Moreira Sugai - Universidad Autónoma de Madrid
- Lucas Rodriguez Forti - Universidade Federal da Bahia
- Geovana Bernasconi de Oliveira - Universidade do Vale do Rio dos Sinos
- Leonardo Marques de Abreu - Universidade Estadual de Santa Cruz
- Alessandro Ribeiro de Morais - Instituto Federal Goiano
- Rogeiro Pereira Bastos - Universidade Federal de Goiás
- Luciana Barreto Nascimento - Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais
- Julia Ernetti - Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
- Anésio Azevedo Costa Neto - Instituto Federal de São Paulo (IFSP)
- Etielle Barroso de Andrade - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
- Felipe Silva de Andrade - Unicamp
- Emanuel Teixeira da Silva - Universidade do Estado de Minas Gerais
- Paulo Christiano de Anchieta Garcia - Universidade Federal de Minas Gerais/Instituto de Ciências Biológicas/Departamento de Zoologia
- Camila Zornosa-Torres - Universidade Estadual de Campinas
- Paulo R. Manzani - Unicamp/Universidade Estadual de Campinas
- João Pedro Bovolon Thomaz - Unicamp
- Marina Henriques Lage Duarte - Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais
- Clarissa Canedo - Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
- Guilherme Augusto-Alves - Universidade Estadual de Campinas - Unicamp
- Luiz dos Anjos - Universidade Estadual de Londrina
- Henrique Paprocki - Puc minas
- Rodrigo Dela Rosa de Souza - Nenhuma
- Amanda da Silva Paim - Unisinos
- Mara Cíntia Kiefer - Universidade Federal Fluminense
- Maria Isabel Herrera Montes - Universidad del Valle, Colombia
- Martha Liliana Silva - Asociación Colombiana de Herpetología



- Jesús Eduardo Ortega Chinchilla - Universidad Industrial de Santander
- Vivian Cox Vaca - Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado
- Roberto José Vargas Masís - Universidad Estatal a Distancia
- Edgar Yafhed Martínez Hernández - Instituto de Biología, UNAM
- Edy Marlon Mendoza Viteri - Universidad Estatal Amazónica
- Simón Ulloa Rengifo - Universidad Nacional de Colombia
- Yoslin Lucero Prieto Lopez - Universidad de Pamplona
- Laiana Carla de Moura - Universidade Federal de Pernambuco
- Roberta Richard Pinto - Universidade Católica de Pernambuco
- Carlos Henrique Luz Nunes de Almeida - N/A
- Leonardo Lopes Machado - Viridis Soluções Ambientais
- José Henrique de Andrade Lima - Universidade Federal de Pernambuco
- Maria Cristina Arellano Zenteno - Fundación Vida
- Vinicius Guerra Batista - Universidade Federal do Acre
- Karen Marlene Losantos Ramos - Universidad Mayor de San Andrés
- Martin Boullhesen - Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA-UNJu-CONICET)
- José P. Pombal Jr. - Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Daniel Loebmann - Universidade Federal do Rio Grande
- Edelcio Muscat - Projeto Dacnis
- Igor Joventino Roberto - Universidade Federal do Ceará
- Evanilde Benedito - N/A
- Diego Llusia - Universidad Autónoma de Madrid
- Mariana Retuci Pontes - Unicamp
- Alexandre Pinheiro de Almeida - Universidade Federal do Amazonas
- Luiz Fernando Rocha Ugioni - Autônomo
- Gabriel Salles Masseli - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
- Luiz Fernando Carmo - Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro
- José Gabriel Julio-Guzmán - Universidad del Atlántico
- Andrés Restrepo Bermúdez - Universidad Nacional de Colombia
- Karen Shirley Alfonso García - Universidad de los Llanos
- Mauricio Sebastián Akmentins - Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA), CONICET - UNJu
- Camilo Andrés Sierra Arroyo - Universidad de Córdoba
- Vladimir Díaz Vargas - Asociación Pro Fauna Silvestre
- Mileidy Betancourth-Cundar - Universidad de los Andes
- Emmanuel Orellana Murillo - Universidad Nacional Autónoma de Honduras
- María Isabel Dabrowski - N/A
- Juanita Barrera Vargas - Universidad CES
- Walter Javier Gonzalez Raffó - Facultad de Ciencias Naturales e IML (UNT)
- Iván Darío Morales Vertel - Universidad de Córdoba, semillero Fauna, grupo de investigación biodiversidad
- Esly Babilonia Martínez - Universidad de Córdoba
- Rhayza Valeria Cortes-Romay - Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés
- Khristian Venegas-Valencia - Universidad de Antioquia
- Leidy Camila Zapata Hernández - Universidad de Caldas
- Ximena Bernal - Purdue University / STRI
- Isabella García Gómez - Universidad del Valle
- Yuber Steven Doqueresana Ortega - Universidad de los Andes
- Gabriele Silva Rychlewska - UDF Universidade do Distrito Federal
- Moisés David Escalona Sulbarán - Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
- Fábio Hepp - Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Juan Sebastián Ulloa - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
- Carolina Posso-Peláez - Investigadora independiente
- Nadia Catalina Velásquez Cendales - N/A
- Angie Katherine Sabogal Joya - Investigadores universidad nacional de Colombia
- Mauricio Hernández Sánchez - IVEECO S.C.
- Tami Mott - Universidade Federal de Alagoas
- José Félix Usiña Navarrete - Independiente
- Eliamne Gutiérrez Ojeda - Programa para la conservación de los Murciélagos de Bolivia
- Omar Rojas-Padilla - Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
- Ana Maria Ospina Larrea - Purdue University
- Linda Celeste Mosquera Huertas - Universidad del Tolima
- Camila Chiamenti Both - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- José Wagner Ribeiro Junior - Universidade Estadual Paulista
- Victor Hugo Zaracho - Laboratorio de Herpetología. Facena. UNNE.
- Daniel Neira - Museo Historia Natural Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Peru
- Como editor/a o revisor/a a solicitar a los autores el correcto depósito y referencia del material. / As editor or reviewer to ask the authors for the correct deposit and reference of the material. / Como editor(a) ou revisor(a), para solicitar aos autores o correto depósito e referência do material audiovisual
- Mariana Retuci Pontes - Unicamp
- Alexandre Pinheiro de Almeida - Universidade Federal do Amazonas



Luiz Guilherme Oliveira Lima - IF-Goiano (Ceres)	Como directiva institucional a garantizar el fortalecimiento y mantenimiento de los repositorios acústicos institucionales /
Gabriel Salles Masseli - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia	As an institutional directive to ensure the strengthening and maintenance of institutional acoustical repositories/
Luiz Fernando Carmo - Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro	Como coordenação de coleção científica audiovisual, para garantir o fortalecimento e manutenção das coleções acústicas institucionais
Maurício Sebastián Akmentins - Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA), CONICET - UNJu	Alexandre Pinheiro de Almeida - Universidade Federal do Amazonas
Juanita Barrera Vargas - Universidad CES	Esly Babilonia Martínez - Universidad de Córdoba
Esly Babilonia Martínez - Universidad de Córdoba	Ximena Bernal - Purdue University / STRI
Ximena Bernal - Purdue University / STRI	Fábio Hepp - Universidade Federal do Rio de Janeiro
Moisés David Escalona Sulbarán - Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Carolina Gómez Posada - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
Fábio Hepp - Universidade Federal do Rio de Janeiro	Juan Sebastián Ulloa - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
Juan Sebastián Ulloa - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt	Tami Mott - Universidade Federal de Alagoas
Tami mott - Universidade Federal de Alagoas	Eliamne Gutiérrez Ojeda - Programa para la conservación de los Murciélagos de Bolivia
Eliamne Gutiérrez Ojeda - Programa para la conservación de los Murciélagos de Bolivia	Omar Rojas-Padilla - Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Omar Rojas-Padilla - Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Wilgen Boris Ayala Peña - N/A
Wilgen Boris Ayala Peña - N/A	Camila Chiamenti Both - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Camila Chiamenti Both - Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Victor Hugo Zaracho - Laboratorio de Herpetología. Facena. UNNE
Victor Hugo Zaracho - Laboratorio de Herpetología	

APPENDIX 3. A CALL FOR CALLS: ACOUSTIC REPOSITORIES BASED IN LATIN AMERICA

Specimens deposited in conventional biological collections provide information on morphology and other aspects of intra- and interspecific relationships, reproductive status, or the presence of pathogens. Scientific collections, particularly public collections of universities, governmental entities, or private non-profit organizations, are important actors in the role of material preservation and availability for consultation since they promote reproducibility and accessibility of research data, which is essential for the scientific method. The debate on the importance of natural history collections as a valuable source of data for all types of biological research has been increasing in recent decades (e.g., Suarez & Tsutsui, 2004; Winker, 2004; Pyke & Ehrlich, 2010; Toledo et al., 2015; Funk, 2018; Dena et al., 2018; 2020). The most common samples are complete specimens, however some behavioral and ecological traits are often not documented or fail to be adequately stored by preserving the specimen by itself (Webster, 2017), losing details of biological interactions (Alström & Ranft, 2003; Ranft, 2004; Schindel & Cook, 2018). In this sense, biological research includes the

collection of other types of biological samples, termed "extended specimens" (Webster, 2017). Some of these samples are tangible such as their tissues, diaphanizations, or nests, while others are digital such as DNA sequences, photographs, videos, and audios (Fig. 1).

Sound plays a very important role in both intra- and interspecific communication (Farina, 2014; Acevedo-Charry et al., 2021). Acoustic communication is one of the four types of communication commonly used by organisms and uses long-range and short-range auditory signals, associated with the public or private communicative context, respectively (Larsen, 2020). The use of acoustic communication has been documented in foraging, territory defense, mate selection, and parental care scenarios, among others (Clemens et al., 2017). Vocalizations are present in both ecological and evolutionary processes making them an extremely valuable natural history feature to collect in the field.

In groups like anurans, where acoustic signals mediate reproductive interactions, vocalizations tend to be highly stereotyped. This is because they are vital for discriminating between conspecifics and individuals of other species (Okamoto & Grether, 2013), thus avoiding the energetic costs associated with infeasible crosses with heterospecifics (Kelley, 2004). This makes anurans ideal models for comparative studies, since we can exclude cultural variation by learning, and thus, facilitating the detection of the impact of the remaining parameters on the variation of these signals (Gerhard, 1994). Given this high specificity, geographic variation in vocalizations may represent a reproductive isolation mechanism (Lee et al., 2016). These variations in acoustic structure may even have evolutionary implications, favoring the process of speciation (Clemens et al., 2017).

In addition, the study of vocalizations from a behavioral ecology and conservation perspective can help us to identify disturbances in ecosystems at early stages (Herrera Montes, 2018) as well as facilitate reintroduction and translocation efforts of endangered species (Durant et al., 2019). Low intraspecific variation facilitates species detection in passive acoustic monitoring by reducing the learning curve in Machine Learning (Ospina et al., 2013; Aide et al., 2013, but see Rivera-Correa et al., 2017). Since most anuran species emit acoustic signals, tracking and comparing their different signals in the face of climate change, biological invaders and diseases can also improve conservation studies, which is extremely important, as this is one of the most threatened groups among all animals (Collins & Storfer, 2003; Sodhi et al., 2008).

Advances in new technology developments in data collection, storage, and accessibility of information make it possible to formalize behavioral recording efforts in audiovisual media so that they can guarantee access for future reference (Acevedo-Charry et al., 2021). One of the advantages of storing multimedia specimens (such as vocalization recordings) is the availability of generating multiple copies or duplicates so that the same file can be stored in different institutional collections while researchers can keep the original files on their personal drives for personal use. Along with the explosion of audio recording and processing technology, the last fifty years have seen dramatic changes in the way scientific collections are managed. The majority of information in collections is moving to a digital format, responding to new challenges such as the need for holistic data required for interdisciplinary research (Schindel & Cook, 2018). Considering the nature of fully digital collections, they ensure that their digital assets are Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable (known as FAIRness; Wilkins et al., 2016). In

this era of large databases, public access to biological data is a requirement for the development of large-scale studies. In this sense, knowledge on bioacoustics has been favored by collective work, which has given rise to organized and public databases (e.g., Macaulay Library, Xeno-Canto, WikiAves), even allowing the creation of specialized tools to work in an automated way in the identification and processing of a large amount of sound data (e.g., the R package WarblerR, Araya-Salas & Smith-Vidaurre, 2017; Animal Sound Identifier in MatLab, Ovaskainen et al., 2018; or scikit-maad in Python, Ulloa et al., 2021). In this way, the information available in these repositories can be used not only as a reference for species identification and comparison per se but also for large-scale studies in monitoring, signal evolution, macroecological processes, among others (i.e. Mikula et al., 2021).

Given the utmost importance for the advancement of Neotropical science, researchers should archive audio recordings in acoustic repositories, similar to what is done with museum specimens and DNA sequences (Toledo et al., 2015; Dena et al., 2018; 2020). Unfortunately, depositing anuran sound recordings in institutional repositories is not yet a standard practice (Dena et al., 2020) and publications do not yet require this practice as a requirement to validate information to support research (Toledo et al., 2015). The main justification of researchers for not depositing audio files is the lack of time to prepare them (Dena et al., 2020). Not depositing recordings in acoustic repositories jeopardizes long-term storage, the possibility of sharing them, and could also imply misappropriation of public resources by losing the effort (researchers' salaries, purchase of equipment, field trip expenses) funded by those resources (Dena et al., 2020).

Due to this lack of public information, researchers interested in bioacoustics or ecoacoustics have had to make an extra effort by contacting different researchers and appealing to their goodwill to share audio files generated in studies sometimes already published. This work is more difficult when there are personal conflicts between laboratory leaders, putting students who have not been part of such conflicts at a disadvantage, or for those small institutions that are not part of certain networks, which increases inequality and lack of representativeness.

Although there are several acoustic repositories with herpetological recordings in Latin America, permanently linked to research institutes and universities, digital specimens are mostly found in research institutes located in countries of the Global North. In this work, we were able to identify a total of 20 repositories in six Latin American countries (Fig. 2; Appendix 1). Some of them arise as personal initiatives, and with the

passage of time and with the respective institutional support, the repositories manage to have the curation standards that guarantee the correct long-term storage and public access. At present, seven of the institutional repositories in Latin America have international curation standards: they contain a website with information on the vocalizations available in the collection, have a catalog system, allow free deposit of calls and access to metadata, and have hired staff in charge of the collection. The use of local or regional repositories opens the possibility of storing the diversity of scientific samples generated in the region, guaranteeing the governance of the territories over their own natural resources, making them easily accessible to regional researchers and the non-specialized public. Likewise, the dissemination of the science generated there (in their respective local languages) allows for a closer relationship between academia and the rest of society.

The democratization of science requires, among other things, easy access to samples (Toledo et al., 2015); and this is only possible through investment in facilities or developments that ensure the long-term maintenance of such samples. Recent institutional initiatives aim to improve this scenario in the near future (Appendix 1), which is expected to improve the relationship between society and nature. This letter is an urgent call to the herpetological community to take three main actions to increase the accessibility and reproducibility of bioacoustic research on Neotropical anurans. These actions are:

- Researchers should deposit recordings of their published and forthcoming research in national or regional acoustic repositories. Researchers with recordings are welcome to contact the institutions with questions about the protocols for depositing and lending recordings.

- Journal editors and reviewers should require authors to provide deposit numbers of all files used in any acoustical research and the correct referencing of the collections used before accepting manuscripts.

- Managers of regional institutions should ensure that institutional acoustical repositories are strengthened and maintained.

Fortunately, the importance of these actions is being understood and a considerable number of researchers have already supported this letter with their signatures (Appendix 2). Even so, it is important to identify the challenges involved in achieving such actions. Researchers and students have stated that they are unfamiliar with deposition protocols (Dena et al., 2020), so providing simple and accessible protocols on collection websites may encourage participation and facilitate this process. In the methodological aspect, there are recent works in English and Spanish (Köhler et al., 2017; Acevedo-Charry et al., 2021) where such information is already systematized; however, we consider important to disseminate by different means some key elements to facilitate its access to people interested in this area. Likewise, some herpetologists have expressed concern about the copyright of their audiovisual materials once they deposit them in repositories (Dena et al., 2020). Collections should make copyright statements as visible as possible to certify transparency in the submission of recordings.

It should be noted that the problematic acknowledge here is not exclusive to the study of bioacoustics in anurans since it extends to most taxonomic groups (e.g. Lozano-Flórez et al., 2021, Martínez-Medina et al., 2021), so collaborative work between researchers, journal editors, and institutional managers is essential to strengthening the study of bioacoustics in the Neotropic. The strengthening and maintenance of institutional acoustic repositories are important for the repositories to ensure the correct preservation and use in the short, medium, and long term, together with the updating of their facilities, so that good practices can be established to provide clear public information on the curation process and ensure transparency in the preservation and management of the recordings.

APENDICE 4. UM CHAMADO NEOTROPICAL: COLEÇÕES SONORAS HERPETOLÓGICAS LATINO-AMERICANAS

Os espécimes depositados em coleções biológicas convencionais permitem conhecer a morfologia e outros aspectos das relações intra e interespecíficas, como sua condição reprodutiva ou a presença de patógenos. As coleções científicas, em particular as coleções públicas de universidades, entidades governamentais ou organizações privadas sem fins lucrativos, são atores importantes na conservação do material e disponibilização para consulta, uma vez que promovem a reprodutibilidade e acessibilidade dos dados da pesquisa e dos métodos. Na verdade, a importância das coleções de história natural como uma fonte valiosa de dados para todos os tipos de pesquisa biológica tem sido destacada nas últimas décadas (por exemplo, Suárez & Tsutsui, 2004; Winker, 2004; Pyke & Ehrlich, 2010; Toledo et al., 2015; Dena et al., 2018; Funk, 2018; Dena et al., 2020). No entanto, alguns traços comportamentais e ecológicos muitas vezes não são documentados ou não podem ser adequadamente conservados preservando a amostra por si só (Webster, 2017) e ficam faltando detalhes de interações biológicas (Alström & Ranft, 2003; Ranft, 2004; Schindel & Cook, 2018). Nesse sentido, a pesquisa biológica também inclui a coleta de outros tipos de amostras biológicas, denominados "espécimes estendidos" (Webster, 2017). Algumas dessas amostras são tangíveis, como seus tecidos, diafanizações ou ninhos, enquanto outras são digitais, como sequências de DNA, fotografias, vídeos ou áudios (Fig. 1).

O som desempenha um papel muito importante na comunicação intra e interespecífica (Farina, 2014, Acevedo-Charry et al., 2021). A comunicação acústica é um dos quatro tipos de comunicação comumente usados pelos organismos e utiliza sinais acústicos de longo e curto alcance, associados ao contexto da comunicação pública ou privada, respectivamente (Larsen, 2020). O uso da comunicação acústica foi documentado em contextos de forrageamento, defesa de território, seleção de parceiros e cuidados parentais, entre outros (Clemens et al., 2017). As vocalizações estão presentes em processos ecológicos e evolutivos, o que as torna uma característica da história natural extremamente valiosa para coleta no campo.

Em grupos como os anuros, onde os sinais acústicos mediam as interações reprodutivas, as vocalizações tendem a ser altamente estereotipadas. Isso porque eles são vitais para discriminar entre coespecíficos e indivíduos de outras espécies (Okamoto & Grether, 2013), evitando assim os custos de energia

associados a cruzamentos inviáveis com heteroespecíficos (Kelley, 2004). Isso torna os anuros modelos ideais para estudos comparativos, excluindo a variação cultural pelo aprendizado e facilitando a detecção do impacto dos parâmetros restantes na variação desses sinais (Gerhard, 1994). Dada esta alta especificidade, a variação geográfica das vocalizações pode representar um mecanismo de isolamento reprodutivo (Lee et al., 2016). Essas variações na estrutura acústica podem ter implicações evolutivas, favorecendo até mesmo o processo de especiação (Clemens et al., 2017).

Além disso, o estudo das vocalizações a partir da ecologia do comportamento e com uma perspectiva de conservação pode nos ajudar a identificar distúrbios em ecossistemas em estágios iniciais (Herrera Montes, 2018), bem como facilitar esforços de reintrodução e translocação de espécies ameaçadas de extinção (Durant et al., 2019). A baixa variação intraespecífica facilita a detecção de espécies no monitoramento acústico passivo, reduzindo a curva de aprendizado na técnica de aprendizado de máquinas (Aide et al., 2013; Ospina et al., 2013, mas ver Rivera-Correa et al., 2017). Como a maioria das espécies de anuros emite sinais acústicos, monitorar e comparar seus diferentes sinais frente as mudanças climáticas, invasores biológicos e doenças também podem melhorar os estudos de conservação, o que é extremamente importante, pois envolve um dos grupos mais ameaçados de todos os animais (Collins & Storfer, 2003; Sodhi et al., 2008).

Avanços em novos desenvolvimentos de tecnologias de coleta de dados, armazenamento e acessibilidade à informação permitem formalizar esforços de registro comportamental em meios audiovisuais, de forma que possam garantir seu acesso para futuras consultas (Acevedo-Charry et al., 2021). Armazenar espécimes multimídia (como gravações de áudio), a disponibilidade de gerar múltiplas cópias ou duplicatas, de forma que o mesmo arquivo possa ser armazenado em diferentes coleções institucionais e ao mesmo tempo os pesquisadores possam manter os arquivos originais em suas unidades pessoais para uso pessoal, juntamente com a explosão de tecnologias de processamento e gravação de áudio, os últimos cinquenta anos viram mudanças drásticas no forma de gestão de coleções científicas. A maioria das informações nas coleções está mudando para o formato digital, respondendo a novos desafios, como a necessidade de dados holísticos que

a pesquisa interdisciplinar (Schindel & Cook, 2018). Dada a natureza das coleções totalmente digitais, eles garantem que seus ativos digitais sejam localizáveis, acessíveis, interoperáveis e reutilizáveis (conhecido como FAIRness; Wilkins et al., 2016). Nesta era de grandes conjuntos de dados, o acesso público aos dados biológicos é um requisito para o desenvolvimento de estudos em grande escala. Nesse sentido, o conhecimento sobre bioacústica tem sido favorecido pelo trabalho coletivo, que tem dado origem a bases de dados organizadas e públicas (por exemplo, biblioteca Macaulay, Xeno-Canto, WikiAves), permitindo inclusive a criação de ferramentas especializadas para o trabalho de forma automatizada, na identificação e processamento de uma grande quantidade de dados sonoros (por exemplo, o pacote de R WarblerR, Araya-Salas & Smith-Vidaurre, 2017; Animal Sound Identifier in MatLab, Ovaskainen et al., 2018; ou scikit-maad em Python, Ulloa et al., 2021). Dessa forma, as informações disponíveis nesses repositórios podem ser utilizadas não apenas como referência para a identificação e comparação das espécies em si, mas também para estudos em larga escala em monitoramento, evolução de sinais, processos macroecológicos, entre outros. (por exemplo, Mikula et al., 2021).

Dada a extrema importância para o avanço da ciência neotropical, os pesquisadores devem arquivar as gravações de áudio em repositórios acústicos, semelhante ao que é feito com espécimes de museu e sequências de DNA (Toledo et al., 2015; Dena et al., 2018; Dena et al., 2020). Infelizmente, o depósito de gravações sonoras de anuros em repositórios institucionais não é uma prática muito comum (Dena et al., 2020) e as publicações ainda não exigem essa prática como um requisito para apoiar as informações que sustentam a pesquisa (Toledo et al., 2015). A principal justificativa dos pesquisadores para não depositar os arquivos de áudio é a falta de tempo para prepará-los (Dena et al., 2020). O não depósito das gravações em repositórios acústicos compromete o armazenamento de longo prazo, a possibilidade de seu compartilhamento e também pode implicar no desvio de recursos públicos quando o esforço é perdido (salários de pesquisadores, compra de equipamentos, despesas com viagens de campo) (Dena et al., 2020).

Devido a esta falta de informação pública, pesquisadores interessados em bioacústica ou ecoacústica frequentemente tem que entrar em contato com diferentes pesquisadores e apelar para sua boa vontade para compartilhar os arquivos de áudio gerados em estudos às vezes publicados. Este trabalho é mais difícil quando há conflitos pessoais entre chefes de laboratório, colocando em desvantagem alunos que não fizeram parte desses conflitos, ou para aquelas pequenas instituições que não fazem

parte de determinadas redes de trabalho, o que aumenta a desigualdade e a falta de representação.

Apesar de na América Latina existirem vários repositórios acústicos com registros herpetológicos, permanentemente vinculados a institutos de pesquisa e universidades, a maioria dos espécimes digitais encontra-se em institutos de pesquisa localizados em países do Norte Global. Neste trabalho conseguimos identificar um total de 20 repositórios em seis países (Fig. 2; Apêndice 1). Alguns deles surgem como iniciativas pessoais e, com o passar do tempo e com o apoio institucional, os repositórios conseguem ter padrões de curadoria que garantem o correto armazenamento e o acesso público a longo prazo. Atualmente, sete dos repositórios institucionais da América Latina possuem padrões de curadoria internacional: contêm um site com as informações sobre as vocalizações disponíveis na coleção, possuem um sistema de catálogo, permitem o depósito gratuito das gravações, acesso aos arquivos e metadados e tem pessoal dedicado para coleções sonoras. A utilização de repositórios locais ou regionais abre a possibilidade de armazenar a diversidade de amostras científicas geradas na região, garantindo a governabilidade dos territórios sobre os seus próprios recursos naturais, tornando-os facilmente acessíveis aos pesquisadores regionais e ao público não especializado. Da mesma forma, a divulgação da ciência aí gerada (em seus respectivos idiomas locais) permite uma relação mais estreita entre a academia e a sociedade.

A democratização da ciência requer, entre outras coisas, fácil acesso às amostras (Toledo et al., 2015), e isso só é possível através do investimento em instalações ou empreendimentos que garantam a manutenção a longo prazo de tais amostras. Iniciativas institucionais recentes visam aprimorar esse panorama em um futuro próximo (Apêndice 1), o que se espera melhorar a relação entre a sociedade e a natureza. Esta carta é um apelo urgente à comunidade herpetológica para tomar três ações principais para aumentar a acessibilidade e reprodutibilidade da pesquisa bioacústica de anfíbios neotropicais. Essas ações são:

Os pesquisadores devem depositar as gravações de suas pesquisas publicadas e em preparação em repositórios acústicos nacionais ou regionais. Pesquisadores com gravações podem entrar em contato com as instituições para esclarecer dúvidas sobre os protocolos de depósito e empréstimo da gravação.

Os editores e revisores de periódicos devem exigir dos autores os números de depósito de todos os arquivos utilizados em qualquer pesquisa acústica e a correta referência das coleções utilizadas antes de aceitar os manuscritos.

As diretrizes das instituições regionais devem garantir o fortalecimento e manutenção dos repositórios acústicos institucionais.

Felizmente, a importância dessas ações está sendo compreendida e um número considerável de pesquisadores já assinou esta carta (Apêndice 2). Ainda assim, é importante identificar os desafios envolvidos na concretização dessas ações. Pesquisadores e estudantes afirmaram não estar familiarizados com os protocolos das coleções (Dena et al., 2020), portanto, fornecer protocolos simples e acessíveis nos sites de coleções pode incentivar a participação e facilitar esse processo. No aspecto metodológico, há trabalhos recentes em inglês e espanhol (Köhler et al., 2017; Acevedo-Charry et al., 2021) onde essas informações já estão sistematizadas; no entanto, consideramos importante divulgar alguns elementos-chave por diversos meios para facilitar o seu acesso às pessoas interessadas nesta área. Da mesma forma, alguns herpetólogos expressaram preocupação com os direitos autorais de seus materiais audiovisuais, uma

vez que eles são depositados nos repositórios (Dena et al., 2020). As coleções devem tornar as declarações de direitos autorais o mais visíveis possível para certificar a transparência no envio das gravações.

Deve-se notar que esta situação não é exclusiva do estudo da bioacústica em herpetologia, mas também se estende a outros grupos taxonômicos (por exemplo, Lozano-Flórez et al., 2021, Martínez-Medina et al., 2021), portanto, o trabalho colaborativo entre pesquisadores, editores de periódicos e diretrizes institucionais para fortalecer o estudo da bioacústica na Região Neotropical é essencial para fortalecer este campo de estudo. O reforço e manutenção do repositórios acústicos institucionais são importantes para que os repositórios garantam a correta preservação e utilização a curto, médio e longo prazo, juntamente com a atualização das suas instalações. Dessa forma, boas práticas podem ser estabelecidas para fornecer publicamente informações claras sobre o processo de curadoria e garantir transparência na preservação e manuseio das gravações.

