

LA COLECCIÓN DE SONIDOS DE ANUROS DEL MUSEO DE ZOOLOGÍA "ALFONSO L. HERRERA" DE LA FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

Tania Verónica Zamudio-Torres*, Diana Laura Fuentes-de la Rosa y Samantha Ordóñez-Flores

Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 04510, Ciudad de México, México.

*correspondence: taniazamudio@ciencias.unam.mx

BREVE HISTORIA E IMPORTANCIA DE LAS COLECCIONES CIENTÍFICAS

La Academia de Ptolomeo y los jardines botánicos de Alejandría en el Siglo III a.n.e., son consideradas las primeras colecciones de historia natural cuyo uso era educativo. En los Siglos XVI y XVII se popularizaron los "gabinetes de curiosidades" entre la nobleza europea, sin embargo, estas colecciones eran privadas y no tenían roles científicos (Lane, 1996). El primer museo público de historia natural se fundó en París en 1635 y contenía ejemplares zoológicos, mientras que el primer museo universitario fue el de la Universidad de Oxford, fundado en 1683 (Lane, 1996). Estos y otros ejemplos conforman los cimientos de los repositorios de información biológica que existen hoy en día.

En la actualidad, las colecciones científicas de los museos e instituciones académicas contribuyen a la ciencia y la sociedad en general en diversos aspectos. Entre sus objetivos y aportaciones se encuentran: el apoyo a la salud pública, la investigación de contaminantes ambientales, aportaciones a la agricultura, las investigaciones de la pérdida de biodiversidad y hábitat, el estudio de invasiones biológicas, y la documentación de los cambios globales (Suarez & Tsutsui, 2004). En un inicio las colecciones científicas no fueron planeadas para cubrir todas estas necesidades, por lo que en algunas áreas su uso se ve limitado por la ausencia de datos o falta de información asociada a los ejemplares depositados (Pyke & Ehrlich, 2010). Otra de las limitantes en las colecciones es la falta de apoyo económico y el reducido número de expertos taxónomos que mantienen las colecciones (Kreuzer & Dreesmann, 2017).

LAS NUEVAS FORMAS DE ALMACENAR INFORMACIÓN BIOLÓGICA

Con el paso del tiempo, el formato de las colecciones se ha ido modificando paulatinamente. En el Siglo XX las colecciones adoptaron nuevos objetivos, debido a la sistematización de las colecciones (Lane, 1996). A partir del surgimiento de las primeras computadoras, en los años setentas, se comenzó a pensar en el gran potencial de la digitalización de las colecciones como solución a la limitación de almacenamiento y difusión de la información (Baker, 2011). Hoy en día, gracias a las nuevas tecnologías y la facilidad de acceso a recursos digitales, las colecciones biológicas tienen una oportunidad única de aumentar y enriquecer los datos asociados a cada uno de los ejemplares que las integran (Meineke et al., 2018). La digitalización de las colecciones promueve un trabajo interdisciplinario a la vez que acelera la capacidad de realizar investigación y brindar herramientas para responder las necesidades de la sociedad (Baker, 2011).

Las colecciones zoológicas científicas ya no sólo reciben taxidermias, restos óseos, tejidos y pieles, actualmente estos repositorios también albergan fotos y videos en alta calidad, además de archivos de audio (Toledo et al., 2015a). Algunos ejemplos de este tipo de colecciones son las del Museo de Historia Natural de Florida o la colección de vida silvestre de Australia (Ranft, 2004), que destacan por tener una colección de archivos bioacústicos de aves, anfibios, mamíferos e invertebrados. Estas nuevas herramientas brindan información que antes se perdía, como la coloración original del ejemplar, evidencia de rasgos de conducta y registro de señales acústicas (Toledo et al., 2015a).

LAS COLECCIONES CIENTÍFICAS EN MÉXICO

El registro de las primeras tres colecciones biológicas en México data de 1870, aunque no fue hasta los años ochentas cuando hubo un aumento considerable en el número de colecciones científicas. De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO; 2020), en México actualmente existen 747 colecciones distribuidas en 273 instituciones a lo largo de todo el país. La Ciudad de México, es el estado con mayor número de colecciones a nivel nacional.

Dentro de las colecciones que alberga el país, existen colecciones herpetológicas institucionales. Flores-Villela y Hernández (1992) reportaron un total de 18 colecciones de este tipo, mientras que los registros en línea de CONABIO (2020), enlistan 29 colecciones herpetofaunísticas. Entre ellas se encuentra la Colección de anfibios y reptiles del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" de la Facultad de Ciencias, UNAM (MZFC). Sorprendentemente, ninguna cuenta con una colección de sonidos de anfibios.

BIBLIOTECAS DE SONIDOS EN EL MUNDO

El avance de la tecnología y la facilidad de acceso a nuevos métodos de grabación y procesamiento de datos acústicos fomentó el interés en estudiar la vida desde nuevas perspectivas. En Alemania, en 1889 se realizó la primera grabación de un ave en cautiverio; un año después en Inglaterra, se realizó la primera grabación de un ave en vida silvestre (Ranft, 2004). Poco a poco, la grabación de fauna silvestre comenzó a ser una actividad común, pero no sistemática. Aunque los objetivos de la creación de las primeras fonotecas fueron diversos, la necesidad de documentar la diversidad de sonidos naturales (incluyendo los sonidos de las especies), para asegurar su preservación fue una constante. Esto debido, parcialmente, al aumento de contaminantes en el ambiente y la introducción de maquinaria pesada que ocasionó el desplazamiento y la desaparición de sonidos característicos tanto de ecosistemas urbanos como naturales (Carson, 1962; Krause, 2002; Marler & Slabberkoorn, 2004). Fue hasta 1950, cuando la Universidad de Cornell, en Estados Unidos, comenzó a realizar grabaciones sistematizadas de sonidos de la naturaleza, lo que llevó a la fundación de la primera biblioteca de sonidos en el mundo (Ranft, 2004). Fue hasta la década de los sesenta cuando se logró atraer la atención a la importancia de los sonidos de la naturaleza y con ello se logró la consolidación de las primeras bibliotecas de sonidos (Carson, 1962; Krause, 2002; Ranft, 2004).

Desde entonces la forma en que se almacena y analiza la información ha cambiado con el paso del tiempo. Pasando de

grabaciones en cintas y discos, analizados a través del oído y espectrogramas muy básicos a un almacenamiento digital, y análisis con diversos programas computacionales (Marler & Slabberkoorn, 2004). Aunado a esto último, se desarrollaron nuevas herramientas tecnológicas para el estudio del sonido como grabadoras portátiles, micrófonos más sensibles y diferentes formas de visualizar el sonido (Marler & Slabberkoorn, 2004; Farina, 2014).

Hoy en día, las bibliotecas de sonidos a nivel mundial albergan principalmente sonidos de aves ya que se considera como el grupo vocalizador por excelencia. El acervo más grande a nivel mundial es la Biblioteca de Sonidos de la Naturaleza de Macaulay de la Universidad de Cornell, Estados Unidos, ésta cuenta con alrededor de 660 000 grabaciones (Ranft, 2004). Otras fonotecas que destacan a nivel mundial son: el Archivo de Sonidos de la Naturaleza de la Universidad de Humboldt en Alemania, con 120 000 grabaciones; la Biblioteca Británica de Archivos de Sonidos, en Reino Unido con 90 000 y la Fonoteca Zoológica en España con 55 000 grabaciones. (British Library Sounds, 2020; Cornell Lab of Ornithology, 2020; FonoZoo, 2020; Museum Für Naturkunde, 2020).

LOS CANTOS DE LOS ANUROS

Para poner en contexto a la presente colección de sonidos hablaremos sobre los cantos que emiten los anuros de manera general. Casi cada especie de anuro cuenta con un repertorio de cantos distintos y las hembras optan consistentemente por los cantos de individuos conspecíficos (Wells, 2007). Aunque también existen señales químicas y visuales, su principal modo de comunicación son los cantos. En los tetrápodos las señales acústicas evolucionaron permitiendo la comunicación en la noche cuando las señales visuales son menos efectivas (Dreher & Pröhl, 2014; Chen & Wiens, 2020), siendo la ausencia de luz uno de los factores de selección más importantes para la evolución de las vocalizaciones en anuros (Vitt & Caldwell, 2014). Éstas se clasifican dependiendo del contexto de comportamiento y existen diferentes clasificaciones (Gerhardt, 1994; Duellman & Trueb, 1994; Wells, 2007; Vitt & Caldwell, 2014; Köhler et al., 2017), sin embargo, existe ambigüedad en los términos para referirse a un mismo tipo de canto. Por lo que en un esfuerzo para estandarizar la nomenclatura Toledo y colaboradores (2015b) sugirieron la siguiente clasificación con tres categorías generales y 13 subcategorías. Cantos reproductivos que incluyen a los cantos de anuncio, de cortejo, de liberación, amplexantes, post-oviposición, liberación del macho y de lluvia. Cantos agresivos que incluyen los cantos territoriales, de encuentro, de pelea y de desplazamiento. Y los cantos defensivos con las subcategorías de alarma, de socorro y de peligro.

LA IMPORTANCIA DE GRABAR LOS CANTOS

Los anfibios tienen una alta sensibilidad a los cambios antropogénicos (Vallan, 2002; Blaustein et al., 2011), esta cualidad los hace buenos indicadores de cambios ambientales como deforestación, fragmentación del hábitat y enfermedades emergentes, entre otros (Priambodo et al., 2019). El registro, almacenamiento y curación de sonidos de anfibios es esencial, pues dichas grabaciones pueden ser útiles para estudios futuros de comunicación, comportamiento, historia natural, monitoreos de poblaciones, taxonomía, evolución y conservación de especies (Dena et al., 2019), entre otros (Tabla 1). Dependiendo del tipo de grabación que se realice (directa/ambiental) se obtiene información diferente. Por ejemplo, si es directa puede aislarse el canto de un solo individuo, y si es ambiental se graban todos los cantos y sonidos ambientales que alcance a detectar la grabadora. Por este motivo, las grabaciones ambientales

también pueden contener información sobre la población y las condiciones ambientales de ese momento ya que muchas veces se obtienen durante coros o bien se puede percibir el ruido de fondo (Dena et al., 2019).

El potencial de investigación puede empatarse con la diversidad del país. México es considerado el séptimo país con más especies de anfibios del mundo con más 400 especies (Frost, 2019; AmphibiaWeb, 2020). El orden Anura está representado por 246 especies, de las cuales el 60.56% son endémicas al país (AmphibiaWeb, 2020). Por ello, México es un país clave para la generación de nuevo conocimiento sobre el grupo. Desafortunadamente, mucha de esta información no es catalogada ni depositada en un repositorio. Esto se debe entre otras razones, a la pérdida de grabaciones, falta de tiempo para rellenar fichas de depósito, desconocimiento de cómo depositar sus archivos en las fonotecas, desconfianza en los repositorios

Table 1. Examples of articles that can be done with acoustic data from anurans.

Tabla 1. Ejemplos de trabajos con anuros que pueden realizarse con datos acústicos.

Área de conocimiento	Objetivo del estudio	Ejemplo	Literatura similar
Sistemática	Descripción del repertorio vocal	Figueroa-Huitrón (2015) reportó las características físicas de los cantos de anuncio de 15 especies de anuros.	Cocroft et al., 1995; Han et al., 2011;
	Descripción de nuevas especies con datos acústicos y genéticos	Köhler y colaboradores (2017) utilizaron datos bioacústicos y análisis de DNA, para discernir entre especies simpátricas con ayuda de las diferencias entre sus cantos de advertencia.	Channing et al., 2013; Gingras et al., 2013; Forti et al., 2017.
Biogeografía	Descripción de variación geográfica de cantos	Amézquita y colaboradores (2009) estudiaron la variación geográfica en <i>Allobates femoralis</i> utilizando diferentes acercamientos: genético, acústico y morfológico.	Gergus et al., 2004; Bernal et al., 2005; Baraquet et al., 2014; Castellano & Giacoma, 2000.
Ecología	Descripción de patrones temporales del canto y su relación con factores ambientales	Bridges y Dorcas (2000) observaron la variación temporal en la actividad de los cantos de anuros y sus variaciones. Por otra parte, exploraron la relación entre factores ambientales y sus patrones de actividad.	Berry, 1964; Saenz et al., 2006; Kopp & Eterovick, 2006; Canavero & Arim 2009; Schalk & Saenz, 2016; Fuentes-de la Rosa, 2019;
Conservación	Monitorear la actividad de anuros en el espacio y tiempo	Alvarez-Berrios y colaboradores (2016) estudiaron el impacto de minería a pequeña escala en Perú utilizando grabaciones ambientales de sitios perturbados y sitios conservados para comparar la actividad acústica entre sitios. Utilizaron tanto aves como anuros como indicadores de perturbación.	Pellet & Schmidt, 2005; Weir et al., 2014; Grenat et al., 2019; Ordoñez-Flores, 2019.
Evolución	Evidenciar procesos de especiación	Chen y Wiens (2020) analizan el origen de la comunicación acústica en vertebrados e identifican los principales eventos de especiación de este carácter a lo largo de la historia evolutiva.	Castellano et al., 2002; Ey & Fischer, 2009; Wilkins et al., 2013.
Comportamiento	Comunicación acústica y rasgos del comportamiento	Dreher y Pröhl (2014) describen los mecanismos de selección sexual en la familia Dendrobatidae y cómo los cantos parecen ser más atractivos que los colores en <i>Oophaga pumilio</i> .	Bee, 2004; Arch & Naris, 2009; Furtado, 2017.

(Dena et al., 2019) o ausencia de colecciones de sonidos como es el caso en México.

LA PRIMERA BIBLIOTECA DE CANTOS DE ANUROS DE MÉXICO

En México solamente existen alrededor de diez bibliotecas de sonidos, todas ellas especializadas en aves y mamíferos marinos (Bazúa-Durán, 2004). Con éstas se ha comprobado la utilidad repositorios virtuales ya que han logrado documentar la diversidad acústica de las aves del país. Por ejemplo, la Biblioteca de Sonidos de Aves de México del Instituto Nacional de Ecología tiene un acervo de 83 especies en 89 grabaciones (INECOL, 2020), mientras que la Biblioteca de Sonidos de Aves del MZFC ha logrado documentar 300 especies en 2 500 grabaciones (Biblioteca de Sonidos de Aves, 2020). El objetivo general de la Fonoteca de Anfibios del MZFC es complementar el conocimiento científico del grupo por medio de la recopilación y curación de material audiovisual. Además, buscamos fomentar el interés en conservar la biodiversidad de anuros de México, promoviendo la documentación de este grupo desde nuevas perspectivas. De igual manera, se está sistematizando la información de tal forma que sea de fácil acceso tanto para la comunidad científica como para el público en general. Con la primera fonoteca de anfibios en el país esperamos generar interés en el estudio de la bioacústica de este grupo en México.

Consideramos que la creación de una biblioteca de sonidos de anfibios de México es de suma importancia para el país; para potenciar el conocimiento de los anfibios mexicanos en diferentes áreas como la etología, biogeografía, sistemática, ecología y conservación, entre otras. Para ello, el laboratorio de herpetología del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México creó la primera biblioteca de sonidos de anfibios mexicanos. Hasta ahora, la fonoteca alberga 15 000 grabaciones ambientales, de las cuales se han analizado 2 700 (18%). La mayoría de ellas provenientes de grabadoras automatizadas localizadas en la comunidad de Nahá, Chiapas. Además, se cuenta con 500 grabaciones directas ya identificadas, aún sin catalogar. Las grabaciones fueron revisadas y depuradas para la identificación de especies presentes en ellas. Primero se identificaron manualmente archivos repetidos. Posteriormente se creó una base de datos con los metadatos de cada archivo y se procedió al análisis de las grabaciones. Para esto se utilizó el software RavenPro 1.6.1 con el cual se etiquetaron las especies de anuros en 2 700 grabaciones ambientales. Por último, se llevó a cabo el diseño y creación de la página web.

Table 2. Current list of anuran species deposited in The Sound Collection of The Museum of Zoology "Alfonso L. Herrera" of the Faculty of Science. IUCN status (IUCN, 2020); CR: Critically endangered; LC: Least concern; NE: Not evaluated; NT: Near threatened; VU: Vulnerable. National status NOM-059-SEMARNAT-2010: E: Probably extinct in the wild; P: In danger of extinction; A: Threatened; Pr: Subject to special protection; N: Not included.

Tabla 2. Lista de especies de anuros presentes en la Colección de Sonidos del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" de la Facultad de Ciencias. Estatus IUCN (IUCN, 2020); CR: Críticamente amenazado; LC: Preocupación menor; NE: No evaluado; NT: Casi amenazado; VU: Vulnerable. Estatus nacional NOM-059-SEMARNAT-2010; E: Probablemente extinta en el medio silvestre; P: En peligro de Extinción; A: Amenazadas; Pr: Sujetas a protección especial; N: No incluidas.

Familia/Especie	Estatus IUCN	Estatus NOM-059
Bufonidae		
<i>Incilius valliceps</i> (Wiegmann, 1833)	LC	N
<i>Rhinella horribilis</i> (Wiegmann, 1833)	LC	N
Centrolenidae		
<i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i> (Boettger, 1893)	LC	N
Craugastoridae		
<i>Craugastor alfredi</i> (Boulenger, 1898)	VU	N
<i>Craugastor laticeps</i> (Duméril, 1853)	NT	Pr
<i>Craugastor loki</i> (Shannon & Werler, 1955)	LC	N
Eleutherodactylidae		
<i>Eleutherodactylus grandis</i> (Dixon, 1957)	CR	Pr
<i>Eleutherodactylus pipilans</i> (Taylor, 1940)	LC	
Hylidae		
<i>Dendropsophus ebraccatus</i> (Cope, 1874)	LC	N
<i>Dendropsophus microcephalus</i> (Cope, 1886)	LC	N
<i>Plectrohyla matudai</i> (Hartweg, 1941)	LC	N
<i>Ptychohyla macrotympanum</i> (Tanner, 1957)	CR	N
<i>Quilticohyla zoque</i> (Canseco-Márquez, Aguilar-López, Luría-Manzano, Pineda-Arredondo, & Caviedes-Solis, 2017)	NE	N
<i>Scinax staufferi</i> (Cope, 1865)	LC	N
<i>Smilisca cyanosticta</i> (Smith, 1953)	NT	N
<i>Tripurion spinosus</i> (Steindachner, 1864)	LC	N
<i>Tlalocohyla loquax</i> (Gage & Stuart, 1934)	LC	N
<i>Tlalocohyla picta</i> (Günther, 1901)	LC	N
Leptodactylidae		
<i>Leptodactylus melanonotus</i> (Hallowell, 1861)	LC	N
<i>Leptodactylus fragilis</i> (Brocchi, 1877)	LC	N
Microhylidae		
<i>Gastrophryne elegans</i> (Boulenger, 1882)N	LC	Pr
Phyllomedusidae		
<i>Agalychnis callidryas</i> (Cope, 1862)	LC	N
<i>Agalychnis dacnicolor</i> (Cope, 1864)	LC	N
<i>Agalychnis moreletii</i> (Duméril, 1853)	LC	N
Ranidae		
<i>Lithobates brownorum</i> (Sanders, 1973)	LC	Pr
<i>Lithobates vaillanti</i> (Brocchi, 1877)	LC	N
Rhinophrynidae		
<i>Rhinophrynus dorsalis</i> (Duméril & Bibron, 1841)	LC	Pr

Hasta el momento se lograron identificar un total de 27 especies, correspondientes a 18 géneros y 10 familias (Tabla 2). Entre estas, la familia Hylidae es, hasta el momento, la mejor representada con 10.1% del total de especies, ya que la biblioteca cuenta con grabaciones para 10 de las 99 especies descritas para México (AmphibiaWeb, 2020). De las 27 especies registradas en la biblioteca, cinco de ellas se encuentran sujetas a protección especial de acuerdo con la NOM-095 (SEMARNAT 2010, Tabla 2): *Craugastor laticeps*, *Gastrophryne elegans*, *Rhinophrynus dorsalis*, *Eleutherodactylus grandis* y *Lithobates brownorum* estas últimas dos son endémicas de México. Mientras que, de acuerdo con la IUCN, *C. laticeps* y *Smilisca cyanosticta* están catalogadas como casi amenazadas *C. alfredi* como vulnerable, mientras que *E. grandis* y *Ptychohyala macrotympanum* se encuentran en la categoría peligro crítico de extinción (IUCN, 2020). Poseer audios de estas especies auxilia en la urgente necesidad de documentar la naturaleza, en una época de pérdida de biodiversidad acelerada sin precedentes (Ewers, 2006; Barnosky et al., 2011; Achard et al., 2014).

Dada la relevancia de esta colección para generar nuevo conocimiento y fomentar el interés en el grupo, en el futuro cercano esperamos que aumente su acervo con aportaciones de la comunidad científica en una primera etapa y de la sociedad en general, en una segunda etapa. En esta primera etapa pretendemos seguir realizando trabajo de divulgación y difusión. Mientras que en la segunda etapa esperamos generar una plataforma didáctica para móviles, similar a Merlin Bird ID (Merlin Bird ID, 2014), FrogID (FrogID, 2017), AmphibiaWeb App (Roderick & Gross, 2014), eBird (eBird, 2020) o Naturalista (Naturalista-CONABIO, 2020), con una base de datos abierta a las aportaciones de la ciudadanía.

Para los interesados en participar en esta iniciativa, la biblioteca está recibiendo grabaciones de anfibios mexicanos a la dirección de correo sonidos_anfibios_MZFC@ciencias.unam.mx. Las grabaciones deben estar correctamente identificadas y etiquetadas como cualquier material depositado en una colección científica. Deberá contener los siguientes datos: fecha y hora de la grabación, localidad, coordenadas, especie, nombre del colector, tipo de formato (.wav), duración, tasa de muestreo y preferentemente tener la mejor relación entre señal de interés y menor ruido posible. El formato de registro se podrá encontrar en la página web de la Fonoteca. Una vez revisadas y aceptadas, todos tendrán acceso a ellas a través de la página web. La biblioteca de sonidos de anuros puede consultarse en línea por medio de la siguiente dirección:

<http://cantosanuros.fcencias.unam.mx/>

Agradecimientos.- Agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de México por el financiamiento a través del proyecto PAPIIT folio IA206518 - "Computarización de la Biblioteca Digital de Sonidos de Anfibios de México del Museo de Zoología Alfonso L. Herrera". De igual manera, reconocemos y agradecemos el trabajo de Edgar Muñoz de la Cruz quien diseñó y desarrolló la página web de la Biblioteca.

LITERATURA CITADA

- Achard, F., R. Beuchle, P. Mayaux, H.J. Stibig, C. Bodart, A. Brink, S. Carboni, B. Desclée, F. Donnay H.D. Eva, A. Lupi, R. Rasi, R. Seliger & D. Simonetti. 2014. Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010. *Global change biology* 20(8): 2540-2554.
- Amézquita, A., A.P. Lima, R. Jehle, L. Castellanos, O. Ramos, A.J. Crawford, H. Gasser & W. Hödl. 2009. Calls, colours, shape, and genes: A multi-trait approach to the study of geographic variation in the Amazonian frog *Allobates femoralis*. *Biological Journal of the Linnean Society* 98(4):826-838.
- AmphibiaWeb. 2020. University of California, Berkeley, CA, USA. <https://amphibiaweb.org> [Consultado en abril 2020]
- Alvarez-Berrios, N., M. Campos-Cerqueira, A. Hernández-Serna, C.J., A. Delgado, F. Román-Dañobeytia & T. Mitchell Aide. 2016. Impacts of small-scale gold mining on birds and anurans near the Tambopata Natural Reserve, Peru, assessed using passive acoustic monitoring. *Tropical Conservation Science* 9(2):832-851.
- Arch, V.S. & P.M. Narins. 2009. Sexual hearing: the influence of sex hormones on acoustic communication in frogs. *Hearing Research* 252:15-20.
- Baker, B. 2011. New Push to Bring US Biological Collections to the World's Online Community: Advances in technology put massive undertaking within reach. *BioScience* 61(9):657-662.
- Baraquet, M., P.R. Grenat, N.E. Salas & A.L. Martino. 2014. Geographic variation in the advertisement call of *Hypsiboas cordobae* (Anura, Hylidae). *Acta Ethologica* 18(1):79-86.
- Barnosky, A.D., N. Matzke, S. Tomiya, G.O.U. Wogan, B. Swartz, T.B. Quental, C. Marshall, J.L. McGuire, E.L. Lindsey, K.C. Maguire, B. Mersey, E.A. Ferrer. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471:51-57.

- Bazúa-Durán, C. 2004. APPENDIX: Recording and archiving animal sound in México. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências* 76(2):455-465.
- Bee, M.A. 2004. Within-individual variation in bullfrog vocalizations: Implications for a vocally mediated social recognition system. *The Journal of the Acoustical Society of America* 116(6):3770-3781.
- Bernal, X., C. Guarnizo & H. Luddecke. 2005. Geographic variation in advertisement call and genetic structure of *Colostethus palmatus* (Anura, Dendrobatidae) from the colombian andes. *Herpetologica* 61:395-408.
- Berry, Y.P. 1964. The breeding patterns of seven species of Singapore anura. *Journal of Animal Ecology* 33:227-243.
- Blaustein, A.R., B.A. Han, R.A. Relyea, P.T.J. Johnson, J.C. Buck, S.S. Gervasi & L.C. Kats. 2011. The complexity of amphibian population declines: understanding the role of cofactors in driving amphibian losses. *Annals of the New York Academy Sciences* 1223:108-119.
- Biblioteca de Sonidos de Aves. 2020. Biblioteca De Sonidos De Aves. <http://biologia.fciencias.unam.mx/BSAMZFC/BSAMZFC.htm> [Consultado en mayo 2020].
- Boettger, O. 1893. Ein neuer Laubfrosch aus Costa Rica. Bericht über die Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft in Frankfurt am Main 1893:251-252.
- Boulenger, G.A. 1882. Catalogue of the batrachia salientia s. Ecaudata in the Collection of the British Museum. 2nd Edition. Taylor and Francis. London, UK.
- Boulenger, G.A. 1898. Fourth report on additions to the batrachian collection in the Natural-History Museum. *Proceedings of the Zoological Society of London* 1898:473-482.
- Bridges, A.S. & M.E. Dorcas. 2000. Temporal variation in anuran calling behavior: Implications for Surveys and Monitoring Programs. *Copeia* 2:587-592.
- British Library Sounds. 2019. Environment & Nature. <https://sounds.bl.uk/> [Consultado en abril 2020]
- Brocchi, P. 1877. Sur quelques batraciens raniformes et bufoniformes de l'Amérique Centrale. *Bulletin de la Société Philomathique de Paris* 1:175-197.
- Canavero, A. & M. Arim. 2009. Clues supporting photoperiod as the main determinant of seasonal variation in amphibian activity. *Journal of Natural History* 43:2975-2984.
- Canseco-Márquez, L., J.L. Aguilar-López, R. Luría-Manzano, E. Pineda-Arredondo & I.W. Caviedes-Solis. 2017. A new species of treefrog of the genus *Ptychohyla* (Anura: Hylidae) from southern Mexico. *Zootaxa* 4317:279-290.
- Carson, R. 1962. *Silent spring*. Houghton Mifflin. Cambridge, Mass., Boston, USA.
- Castellano, S. & C. Giacoma. 2000. Morphometric and advertisement call geographic variation in polypoid green toads. *Biological Journal of the Linnean Society* 70:341-360.
- Castellano, S., L. Tontini, C. Giacoma, A. Lattes, & E. Balletto. 2002. The evolution of release and advertisement calls in green toads (*Bufo viridis* complex). *Biological Journal of the Linnean Society* 77(3):379-391.
- Channing, A., A. Hillers, S. Lötters, M.O. Rödel, S. Schick, W. Conradie, D. Rödder, V. Mercurio, P. Wagner, J.M. Dehling, L.H. Du Preez, J. Kielgast, & M. Burger. 2013. Taxonomy of the super-cryptic *Hyperolius nasutus* group of long reed frogs of Africa (Anura: Hyperoliidae), with descriptions of six new species. *Zootaxa* 3620(3):301-350.
- Chen, Z. & J.J. Wiens. 2020. The origins of acoustic communication in vertebrates. *Nature Communications* 11:369.
- Cocroft, R.B. & M.J. Ryan. 1995. Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs. *Animal Behaviour* 49(2):283-303.
- CONABIO (Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad). 2020. Listado de colecciones científicas. Ciudad de México, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/fichas-conabio-war/resources/> [Consultado en abril 2020]
- Cope, E.D. 1862. Catalogues of the reptiles obtained during the explorations of the Parana, Paraguay, Vermejo and Uruguay Rivers, by Capt. Thos. J. Page, U.S.N.; and of those procured by Lieut. N. Michler, U.S. Top. Eng., Commander of the expedition conducting the survey of the Atrato River. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 14:346-359.

- Cope, E.D. 1864. Contributions to the herpetology of tropical America. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 16:166-181.
- Cope, E.D. 1865. Third contribution to the herpetology of tropical America. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 17:185-198.
- Cope, E.D. 1874. Description of some species of reptiles obtained by Dr. John F. Bransford, Assistant Surgeon United States Navy, while attached to the Nicaraguan Surveying Expedition in 1873. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 26:64-72.
- Cope, E.D. 1886. Thirteenth contribution to the herpetology of tropical America. Proceedings of the American Philosophical Society 23:271-287.
- Cornell Lab of Ornithology. 2019. Macaulay Library. Audio Archives. <https://www.macaulaylibrary.org/> [Consultado en abril 2020]
- Dena, S., R. Rebouças, G. Augusto-Alves, C. Zornosa-Torres, M. Retuci Pontes & L.F. Toledo. 2019. How much are we losing in not depositing anuran sound recordings in scientific collections? Bioacoustics 1-12.
- Dixon, J.R. 1957. Geographic variation and distribution of the genus *Tomodactylus* in Mexico. Texas Journal of Science 9:379-409.
- Dreher, C.E. & H. Pröhl. 2014. Multiple sexual signals: calls over colors for mate attraction in an aposematic, color-diverse poison frog. Frontiers in Ecology and Evolution 2(22):1-10.
- Duellman, W.E. & L. Trueb. 1994. Biology of Amphibians. The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.
- Duméril, A.M.C. & G. Bibron. 1841. Erpétologie générale ou histoire naturelle complète des Reptiles. Librairie Encyclopedique de Roret. Paris, France.
- Duméril, A.H.A. 1853. Mémoire sur les batraciens anoures, de la famille des hylaeformes ou rainettes, comprennent la description d'un genre nouveau et de onze espèces nouvelles. Annales des Sciences Naturelles. Zoologie et Biologie Animale 19:135-179.
- eBird. 2020. eBird: Proyecto del Laboratorio de Ornitología de Cornell. <https://ebird.org/home?logout=true> [Consultado en mayo 2020]
- Ewers, R.M. 2006. Interaction effects between economic development and forest cover determine deforestation rates. Global Environmental Change 16(2):161-169.
- Ey, E. & J. Fischer. 2009. The "acoustic adaptation hypothesis" a review of the evidence from birds, anurans and mammals. Bioacoustics 19(1-2):21-48.
- Farina, A. 2014. Soundscape Ecology. Principles, Patterns, Methods and Applications, Dordrecht: Springer Netherlands.
- Figueroa-Huitrón, R. 2015. Monitoreo bioacústico de las poblaciones de anuros de la reserva de la biosfera Nahá, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Flores-Villela, O. & J.A. Hernández. 1992. Las colecciones herpetológicas mexicanas. Publicaciones Especiales del Museo de Zoología Facultad de Ciencias UNAM 4:1-24.
- FonoZoo. 2020. Estadísticas. Búsqueda de grabaciones. http://www.fonozoo.com/fnz_estadisticas.php [Consultado en abril 2020]
- Forti, L. R., R. Lingnau, L.C. Encarnação, J. Bertoluci & L.F. Toledo. 2017. Can treefrog phylogeographical clades and species' phylogenetic topologies be recovered by bioacoustical analyses? PLoS ONE 12(2):1-12.
- Frogid. 2017. Australian Museum Frogid Project. <https://www.frogid.net.au/>. Australian Museum, Sydney, Australia. [Consultado en mayo 2020].
- Fuentes-de la Rosa, D.L. 2019. Patrones fenológicos del canto de una comunidad de anuros del Área de Protección de Flora y Fauna Nahá, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Furtado, R. 2017. Behavioural responses of *Hypsiboas lundii* (Anura: Hylidae) to visual and acoustic aggressive stimuli. Herpetology Notes 10:659-664.
- Gaige, H.T. & L.C. Stuart. 1934. A new *Hyla* from Guatemala. Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan 281:1-3.
- Gergus, E.W.A., T.W. Reeder & B.K. Sullivan. 2004. Geographic variation in *Hyla wrightorum*: advertisement calls, allozymes, mtDNA, and morphology. American Society of Ichthyologists and Herpetologists 4:758-769.

- Gerhardt, H.C. 1994. The evolution of vocalization in Frogs and Toads. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 25:293-324.
- Grenat, P.R., F.E. Pollo, M.A. Ferrero & A.L. Martino. 2019. Differential and additive effects of natural biotic and anthropogenic noise on call properties of *Odontophrynus americanus* (Anura, Odontophrynidae): Implications for the conservation of anurans inhabiting noisy environments. *Ecological indicators* 99:67-73.
- Gingras, B., E. Mohandesan, D. Boko & W.T. Fitch. 2013. Phylogenetic signal in the acoustic parameters of the advertisement calls of four clades of anurans. *BMC Evolutionary Biology* 13(1):134.
- Günther, A.C.L.G. 1901. Reptilia and batrachia. Pp. 166. En O. Salvin & F.D. Godman (Eds.), *Biologia Centrali Americana*. London, UK.
- Hallowell, E. 1861. Report upon the reptilia of the north pacific exploring expedition, under command of Capt. John Rogers, U.S. N. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 12:480-510.
- Han, N.C., S.V. Muniandy & J. Dayou. 2011. Acoustic classification of Australian anurans based on hybrid spectral-entropy approach. *Applied Acoustics* 72(9):639-645.
- Hartweg, N. 1941. Notes on the genus *Plectrohyla*, with descriptions of new species. *Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan* 437:1-10.
- INECOL. 2020. Biblioteca De Sonidos Aves De México. <http://www1.inecol.edu.mx/sonidos/menu.htm>. [Consultado en mayo 2020].
- IUCN. 2020. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2020-1. <http://www.iucnredlist.org>. [Consultado en abril 2020]
- Krause, B. 2002. The loss of natural soundscape. *Earth Island Journal* 17:27-29.
- Kreuzer, P., & D. Dreesmann. 2017. Museum behind the scenes—an inquiry-based learning unit with biological collections in the classroom. *Journal of Biological Education*. 51(3):261-272.
- Köhler, J., M. Jansen, A. Rodríguez, P.J.R. 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):1-124.
- Kopp K. & P.C. Eterovick. 2006. Factors influencing spatial and temporal structure of frog assemblages at ponds in southeastern Brazil. *Journal of Natural History* 40:1813-1830.
- Lane, M.A. 1996. Roles of natural history collections. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 83(4):536-545.
- Marler, P. & H. Slabbekoorn. 2004. *Nature's music: the science of birdsong*, Italy. Elsevier Academic Press 1-38.
- Meineke, E.K., T.J. Davies, B.H. Daru & C.C. Davis. 2018. Biological collections for understanding biodiversity in the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 374(1763):0386.
- Merlin Bird ID. 2020. Merlin Bird ID- Free, instant bird identification help and guide for thousands of birds. Cornell University, USA. <https://merlin.allaboutbirds.org/> [Consultado en Mayo 2020].
- Museum Für Naturkunde. 2020. Tierstimmenarchivs. About the Animal Sound Archive. <https://www.tierstimmenarchiv.de/> [Consultado en abril 2020].
- Naturalista-CONABIO. 2020. <http://www.naturalista.mx> [Consultado en mayo 2020].
- Ordoñez-Flores, S. 2019. Patrones temporales en el paisaje acústico del Área de Protección de Flora y Fauna Nahá, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pellet, J. & B.R. Schmidt. 2005. Monitoring distributions using call surveys: Estimating site occupancy, detection probabilities and inferring absence. *Biological Conservation* 123(1):27-35.
- 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(2):247-266.
- Priambodo, B., H. Permana, F. Akhsani, S.E. Indriwati, S. Wangkulangkul, S.R. Lestari, & F. Rohman. 2019. Characteristic of water sources in Malang, based on the diversity, community structure, and the role of herpetofauna as bioindicator. *Eurasian Journal of Biosciences* 13(2):2279-2283.
- Ranft, R. 2004. Natural sound archives: Past, present and future. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências* 76(2):455-465.

- Roderick, M. & J. Gross. 2014. The AmphibiaWeb app and use of mobile devices in research and outreach. *Herpetology Notes* (7):109-113.
- Saenz D., L.A. Fitzgerald, K.A. Baum & R.N. Conner. 2006. Abiotic correlates of anuran calling phenology: The importance of rain, temperature, and season. *Allen Press on behalf of the Herpetologists' League* 20:64-82.
- Sanders, O. 1973. A new leopard frog (*Rana berlandieri brownorum*). *Journal of Herpetology* 7:87-92.
- Schalk, C.M. & D. Saenz. 2016. Environmental drivers of anuran calling phenology in a seasonal Neotropical ecosystem. *Austral Ecology* 41:16-27.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Segunda edición. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre 2010. Ciudad de México, México. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091 [Consultado en abril 2020]
- Shannon, F.A. & J.E. Werler. 1955. Notes on amphibians of the Los Tuxtlas range of Veracruz, Mexico. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 58:360-386.
- Smith, H.M. 1953. A new subspecies of the treefrog *Hyla phaeota* Cope of Central America. *Herpetologica* 8:150-152.
- Steindachner, F. 1864. *Batrachologische Mittheilungen. Verhandlungen des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien* 14:239-288.
- Suarez, A.V. & N.D. Tsutsui. 2004. The value of museum collections for research and society. *BioScience* 54(1):66-74.
- Tanner, W.W. 1957. Notes on a collection of amphibians and reptiles from southern Mexico, with a description of a new *Hyla*. *Great Basin Naturalist* 17:52-56.
- Taylor, E.H. 1940. A new *Syrhophus* from Guerrero, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 53:95-98.
- Toledo, L.F., C. Tipp & R. Márquez. 2015a. The value of audiovisual archives. *Science* 347(6221):484-b.
- Toledo, L.F., I.A. Martins, D.P. Bruschi, M.A. Passos, C. Alexandre & C.F.B. Haddad. 2015b. The anuran calling repertoire in the light of social context. *Acta ethologica* 18:87-99.
- Vallan, D. 2002. Effects of anthropogenic environmental changes on amphibian diversity in the rain forests of eastern Madagascar. *Journal of Tropical Ecology* 18:725-742.
- Vitt, L.J. & J.P. Caldwell. 2014. *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. 4th Edition. Academic Press. San Diego, California, USA.
- Weir, L.A., J.A. Royle, P. Nanjappa & R. Jung. 2014. Modeling anuran detection and site occupancy on North American amphibian monitoring program (NAAMP) Routes in Maryland. *Journal of Herpetology* 39(4):627-639.
- Wells, K.D. 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians*. The University of Chicago Press. Chicago, USA.
- Wiegmann, A.F.A. 1833. *Herpetologischen Beyträge. I. Ueber die mexicanischen Kröten nebst bemerkungen über ihren verwandte Arten anderer Weltgegenden*. *Isis von Oken* 26:651-662.
- Wilkins, M.R., N. Seddon & R.J. Safran. 2013. Evolutionary divergence in acoustic signals: causes and consequences. *Trends in ecology & evolution* 28(3):156-166.
- Wiens, J.J., M.C. Brandley, & T.W. Reeder. (2006). Why does a trait evolve multiple times within a clade? repeated evolution of snake-like body form in squamate reptiles. *Evolution*, 60:123-141.
- Will, K.W., B.D. Mishler, & Q.D. Wheeler. (2005). The perils of DNA barcoding and the need for integrative taxonomy. *Systematic Biology*, 54:844-851.
- Wilson L.D., J.D. Johnson and V. Mata-Silva. 2013a. A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation*, 7:97-127.

