



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**LA IMPORTANCIA DE UNA BIBLIOTECA DE CANTOS DE
ANUROS EN EL MUSEO DE ZOOLOGÍA “ALFONSO L.
HERRERA” UNAM.**

T E S I S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

TANIA VERÓNICA ZAMUDIO TORRES



**TUTORA:
DRA. LETICIA MARGARITA OCHOA OCHOA**

CIUDAD UNIVERSITARIA CD. MX., 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos de la alumna

Apellido paterno
Apellido materno
Nombre(s)
Teléfono
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Carrera
Número de cuenta

2. Datos del tutor

Grado
Nombre(s)
Apellido paterno
Apellido materno

3. Datos del sinodal 1

Grado
Nombre (s)
Apellido paterno
Apellido materno

4. Datos del sinodal 2

Grado
Nombre (s)
Apellido paterno
Apellido materno

5. Datos del sinodal 3

Grado
Nombre (s)
Apellido paterno
Apellido materno

6. Datos del sinodal 4

Grado
Nombre (s)
Apellido paterno
Apellido materno

7. Datos del trabajo escrito

Título

Número de páginas
Año

1. Datos de la alumna

Zamudio
Torres
Tania Verónica
5562542658
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
312318026

2. Datos del tutor

Dra.
Leticia Margarita
Ochoa
Ochoa

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Hibraim Adán
Pérez
Mendoza

4. Datos del sinodal 2

Dr.
Roberto
Sosa
López

5. Datos del sinodal 3

Dr.
Adrián
García
Rodríguez

6. Datos del sinodal 4

M. en C.
Noe
Pacheco
Coronel

7. Datos del trabajo escrito

La importancia de una Biblioteca de Cantos de anuros en el Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", UNAM
40p.
2021

ÍNDICE

| | |
|----------------------------|-----------|
| Agradecimientos | 4 |
| Dedicatoria | 5 |
| Resumen | 7 |
| Introducción | 8 |
| Antecedentes | 9 |
| Planteamiento del problema | 18 |
| Justificación | 19 |
| Objetivo general | 19 |
| Objetivos particulares | 19 |
| Metodología | 19 |
| Resultados | 20 |
| Discusión y conclusión | 29 |
| Referencias | 32 |

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias por brindarme las herramientas, conocimiento y experiencias para comenzar mi vida académica y profesional.

A mi asesora Leticia Ochoa Ochoa, por siempre contagiar la emoción por aprender y conocer más sobre los anfibios. Por rescatarme y acogerme en el laboratorio, además de darme la oportunidad de trabajar en un proyecto de tanta trascendencia.

A la UNAM por el apoyo económico a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPITT), el cual me brindó una beca para el término de mis estudios PAPIIT folio IA206518 en el proyecto “Computarización de la Biblioteca digital de sonidos de anfibios de México del Museo de Zoología Alfonso L. Herrera”.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Herpetología, por tantas risas, consejos y enseñanzas: Víctor, Salvador, Ricardo, Brett, Chaparrito, Campillo, Atziri, Samantha, Diana y Yolo. Hicieron la revisión de la base de datos menos pesada.

Dedicatoria

A mi mamá Verónica Torres y mi papá Ramón Zamudio, no tengo palabras suficientes para agradecerles toda la paciencia y el amor que me han tenido. A pesar de todos los errores y locuras, siempre han estado allí dándome ánimo para no rendirme y continuar. Gracias por darme la oportunidad de estudiar y hacer de mi vida lo que siempre he soñado. Por acompañarme, apoyarme y escucharme. También gracias por estar conmigo en esta locura de los trámites en pandemia, con paciencia y esperando conmigo.

A Andrea, Monse, Ale y Ari porque más que ser mi familia también son mis grandes amigos, gracias por sus consejos y por darme tanto cariño siempre.

A mi tío Alejandro y mi tía Luz, por sus consejos y su apoyo incondicional, por acompañarme y estar conmigo sin importar la hora o el día.

A mi buzo del varadero humor Mark, gracias por tu amor, por tu luz, por alegrar mis días, por acompañarme, ayudarme y motivarme a ser mejor persona y profesional. Gracias por siempre escuchar y soportar como me quejo y estar conmigo en todo este estrés del papeleo. Los meses de espera fueron más ligeros con tu compañía.

A la mejor amiga del mundo Adriana y a su familia, en serio muchas gracias por crecer junto a mí, escucharme y hacerme reír tanto que hasta olvido porque me sentía mal. Por darme tanto amor, comida deliciosa, consejos y compañía. Hoy, siempre e incluso con la pandemia. Espero mi chilajo.

A mis amigos de toda la vida Adrián, Tere, Lupita, Emilio, Erick, Nicole y Blanca por su compañía durante toda esta etapa, por sus consejos y su amistad inextinguible. Este logro también es de ustedes.

A mis más grandes amigos que la Biología y la facultad me dieron la oportunidad de conocer: Pau, Camilo, Karina, Jonatan, Kenia, Enya, Berna, Job, Brandon, Osvaldo, Gama, Erándeni, Roo, Torito, Eréndira, Jess, Eli, Zyanya, Paquito y Chucho sin ustedes la carrera y mi vida no serían lo mismo. Gracias por brindarme su amistad, por tantas risas y locuras. Por hacer de las clases y las prácticas de campo algo tan divertido y lo mejor y más bonito que recordaré por siempre.

A todos los profesores que me inspiran y contagian a ser una gran bióloga como ustedes: Oscar Flores, Martín S. Vilchis, Omar Hernández, Arturo Olvera, Francisco Sour, Mónica Salmerón y Maru Muñiz Díaz de León.

A mis suaves lomititos Salem, Sheldon y Gigito, por su tan suavcito y peludito amor que me da tanta paz siempre. Por acompañarme y hacerme tan feliz. A Bono que aunque ya no está conmigo para celebrar este triunfo, estuvo en cada etapa desde la secundaria hasta ahora.

A todas las personas que conocí en Atlaltipa y en La Isla Isabel, por darme muchos de los más grandes consejos de vida y por recordarme que la ciencia debe ser compartida con todos. Me brindaron experiencias y me ayudaron a descubrir lo que más me gusta.

Y a todas las personas que pasaron y marcaron en mi vida el gusto y amor por la naturaleza, que han me han ayudado ser mejor día a día.

*"Together we can face challenges as deep as
the ocean and high as the sky"*

Resumen

La bioacústica es un área poco explorada en la herpetología, a pesar de que los anuros, son un grupo cantor por naturaleza. Las mayores bibliotecas acústicas del mundo se enfocan en sonidos de otros grupos como las aves y mamíferos marinos. Los objetivos de este trabajo fueron ejemplificar la importancia de la creación de una colección de cantos de anuros para México y registrar mi trabajo durante el servicio social. Realicé una revisión bibliográfica de los principales estudios que se han hecho a nivel mundial con audios de anuros. Adicionalmente, realicé una recopilación del número de audios en las principales bibliotecas del mundo, especificando la cantidad de sonidos de anuros y reptiles depositadas en ellas. Durante mi estancia en el servicio social realicé la revisión de 3415 grabaciones, las cuales fueron analizadas y marcadas utilizando el programa Raven Pro 1.6. La revisión bibliográfica la realicé utilizando las plataformas de Google Scholar, Scopus y Researchgate, con las palabras clave *Anura+ Acoustics*, *Bioacoustics+ Anuran* y *Anura+Call+Recording*. De acuerdo con los resultados arrojados, muestro las tendencias actuales en publicaciones con base en grabaciones sistematizadas, en las áreas como la sistemática, ecología, conservación y evolución. También, muestro cuáles son los países donde se han realizado más investigaciones en esta área. Con mi trabajo durante el servicio social se agregaron 373 grabaciones con sonidos de anuros ya marcadas a la fonoteca del Museo de Zoología Alfonso L. Herrera. En estas grabaciones están representadas cuatro especies y 3 géneros. El uso de la bioacústica como herramienta del estudio de los anuros mexicanos, es un nuevo nicho de oportunidades para el estudio de la biodiversidad del país. En México más del 50% de las especies son endémicas, por lo que la fonoteca ayudará a resolver problemas taxonómicos y a conocer la respuesta de las especies a los cambios globales. Los anfibios son el grupo de vertebrados más amenazado y en riesgo, ya que más del 40% de sus especies se encuentran en riesgo. La creación de la fonoteca de anuros es un hito para la conservación e investigación de las especies mexicanas.

La importancia de una Biblioteca de Cantos de Anuros en el Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, UNAM.

Introducción

La bioacústica es una rama de la zoología relacionada con la etología y se enfoca a estudiar la comunicación animal, la cual se define como la transferencia cooperativa de información de un emisor a un receptor y puede ser visual, química, táctil y acústica (Vitt & Caldwell, 2014). Específicamente, bioacústica estudia la producción y recepción del sonido en los animales, la forma en que se comunican, los órganos de audición-producción de sonidos y los procesos fisiológicos o neurológicos implicados en ello (Pavan & Pavia, 2008). Las señales acústicas pueden ser recibidas a diferentes distancias, lo que nos permite una detección discreta y observación de sus productores. Las técnicas bioacústicas están establecidas para aves, insectos, anuros, murciélagos y ballenas (Obrist et al. 2010). Su desarrollo data de aproximadamente 1950, cuando los métodos prácticos de registro y análisis se volvieron fácilmente disponibles para la comunidad científica (Ranft, 2004). Es hasta la década de los setentas en que se han realizado trabajos integrativos, gracias al desarrollo de la tecnología tanto para grabar sonido de manera digital y capacidad de cómputo para analizarlo (Pavan & Pavia, 2008).

La bioacústica se ha visto beneficiada por los avances tecnológicos, ya que abren paso a nuevos enfoques para el censo y recolección de sonidos de la naturaleza a escala mundial. Por ejemplo, a través de hardware especializado es posible grabar y almacenar enormes cantidades de información, un perfecto ejemplo son los Sistemas de Grabación Automática. Los datos adquiridos se pueden transmitir, procesar y analizar usando herramientas computacionales. En conjunto estas prometedoras herramientas bioacústicas brindan la capacidad de ampliar la escala espacio-temporal de los muestreos biológicos y de realizar diversos análisis que permiten el manejo de vastas cantidades de información (Caycedo-Rosales et al. 2016).

Todos los organismos se encuentran en una interacción constante con individuos de su misma especie y de otras. La producción de sonidos tiene diferentes funciones biológicas. Entre ellas la defensa de sus territorios, la atracción de pareja, la evasión de depredadores, la orientación, la búsqueda de su alimento (Blumstein et al. 2011). Estas interacciones son parte de su comportamiento social y son indispensables para su supervivencia, ya que forma parte de la selección sexual (Horn & McGregor, 2013). Por ejemplo, la frecuencia de una vocalización está correlacionada con el tamaño de quien lo produce, los organismos más grandes son favorecidos en la reproducción (Ryan, 2013).

Los organismos que producen sonidos son muy diversos. Dentro de los anfibios y reptiles encontramos muchos ejemplos de esta diversidad. Son los anuros el grupo

herpetológico más representativo. Ellos producen señales complejas producidas mediante el paso del flujo del aire a través de las cuerdas vocales e intensificadas por los sacos vocales (Vitt & Caldwell, 2014). Las vocalizaciones de los anuros han recibido mucha atención en los estudios de ecología, fisiología y fenología. También proporcionan caracteres informativos para identificar y delimitar especies (Köhler et al. 2017).

La comunicación acústica también está presente en los reptiles. Por ejemplo, algunas tortugas de las familias Testudinidae, Trionychidae y Emydidae, emiten sonidos en su apareamiento, al igual que la tuátara (Colafrancesco & Gridi-Papp, 2016). En serpientes la producción de sonidos es a partir de roces de su cuerpo, movimientos de su cola o silbidos (Young, 2003). Estos se pueden encontrar en la familia Viperidae y en algunos miembros de Elapidae. En lagartijas la familia Gekkonidae, produce sonidos (Hibbitts, et al. 2007). Los cocodrilos tienen un sistema vocal muy elaborado, producen sonidos desde que están dentro del huevo (Britton 2001), hasta la defensa de la pareja sexual (Todd 2007).

El estudio de la bioacústica al utilizar grabaciones promete ser menos costoso e invasivo que otros tipos de muestreos. Es fundamental tener toda esa información contenida en un repositorio. En México existen bibliotecas de sonido enfocadas a diversos organismos como aves y mamíferos. Sin embargo, no existía ninguna biblioteca especializada en la herpetofauna, ni mucho menos especializada en anfibios. La Fonoteca Digital de Sonidos de Anuros es un parteaguas en la bioacústica y las colecciones científicas del país. La presente tesina justificará la importancia de la creación de una biblioteca de sonido de anuros en México, así como las bases para su creación y curación. La creación de esta colección es de suma importancia ya que es un medio de fácil acceso. Al ser de carácter digital la fonoteca estará disponible para personas de todas partes del mundo, permitirá preservar, conocer y representar a las especies de anuros mexicanos.

Antecedentes

El sonido

El sonido es una perturbación en un medio como el aire, la cual es capaz de viajar hasta el oído y crea la sensación de la audición (Mackenzie, 1963). Un cuerpo productor de sonidos es siempre un cuerpo vibratorio, en contacto con algún medio que transmite la energía, ya que en un espacio vacío no existen los sonidos (Blake, 2017). No todos los cuerpos vibratorios producen sonidos, solo aquellos que cumplan con las propiedades físicas necesarias (Efron, 1965).

Los seres humanos tenemos un rango de frecuencia de audición, en el cual antropocéntricamente llamamos “sonido audible”, sin embargo, muchos otros animales poseen intervalos mucho más amplios. El sonido audible para los humanos, está compuesto por todas aquellas vibraciones que van desde los 20 Hz a los 20,000 Hz, los

hercios o *hertz* son unidades de frecuencia y nos indican el número de ciclos por segundo de una onda (impactos que recibirá la membrana timpánica por segundo) (Pierce, 2019). Los sonidos que están por debajo de este rango son llamados infrasonidos, los cuales son capaces de viajar grandes distancias, un ejemplo de esto son el producido por los elefantes y las ballenas. Por otro lado los sonidos superiores al espectro humano son llamados ultrasonidos, este es el que es usado por los delfines y murciélagos principalmente (Obrist et al. 2010).

Los animales producen sonidos para comunicarse, algunos ejemplos son invertebrados como crustáceos, arácnidos e insectos. Por otra parte, todos los vertebrados: peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, tienen al menos una especie que produce sonidos específicos (Sugai & Llusia, 2019). En el caso de los anuros, los sonidos se producen al pasar el aire a través de las cuerdas vocales. Este sonido se amplifica a través del resonar en sus sacos vocales (Colafrancesco & Gridi-Papp, 2016). Los sacos vocales son los responsables de que la tasa de vocalizaciones de los sapos y ranas sea rápida, si no existieran estas estructuras los anuros tardarían más tiempo en llevar de aire sus pulmones y sus vocalizaciones serían débiles y poco sonoras (Vitt & Caldwell, 2014 y Colafrancesco & Gridi-Papp, 2016).

Las vocalizaciones de los anuros son muy útiles para su estudio ya que son diversas, conspicuas y de gran peso en la selección sexual (Ryan, 1991). La producción de vocalizaciones está presente en machos y hembras (Wells, 2007). En general los machos cantan en coros donde buscan sobresalir y ser escogidos por la hembra (Wells, 1977; Cocroft & Ryan, 1995). Algunas hembras realizan cantos en respuesta a los machos (Emerson & Boyd 1999). Las hembras del género *Alytes* son las mejor estudiadas en cuanto a esta práctica (Heinzmann, 1970; Márquez & Verrell 1991; Bosch, 2002; Bosch & Márquez, 2005). Otro ejemplo son la hembras de *Hypsiboas boans* y *Leptodactylus pentadactylus* (Vitt & Caldwell, 2014). Una misma especie puede presentar más de una sola variación dentro de un tipo de canto (Wogel, et al. 2004, Villaça et al. 2011). Además, algunas especies tienen complejos sistemas de cantos (Toledo, et al. 2015a). Se tienen reportes de especies con la capacidad de graduar el sonido (Grafe, 1995; Wells & Schwartz, 2007) o asemejar sus sonidos a otros animales como aves y mamíferos (Feng, et al. 2002).

Las características de los cantos de los anuros han causado interés desde la antigüedad. El primer sistema de clasificación fue por Borgert (1960). Él les dio una significancia biológica y ecológica a las vocalizaciones de anuros (Bogert, 1960). A partir de él se han generado múltiples sistemas que buscan clasificar la diversidad de cantos en los anuros (Littlejohn, 1977; Wells & Greer, 1981; Gerhardt, 1994; Duellman & Trueb, 1994; Wells, 2007; Vitt & Caldwell, 2014). Los sistemas de clasificación de cantos se dividen entre los semánticos y los sintácticos. Los sistemas semánticos se basan en la necesidad de entender el comportamiento o la relación de la comunicación y el entorno (Wells 1977; Toledo et al. 2015a). Mientras que, las clasificaciones sintácticas se centran en la estructura de los cantos (Thompson et al. 1994; Ragge & Reynolds 1998).

La clasificación semántica más reciente es la propuesta por Toledo y colaboradores (2015a), quienes proponen 13 distintos tipos de cantos. Estos a su vez se subdividen en tres categorías de acuerdo con el contexto social el cual puede ser reproductivo, agresivo o en defensa (Toledo et al. 2015a). Por otra parte, la clasificación sintáctica más actual es la presentada por Emmrich y colaboradores (2020), quienes proponen 8 tipos distintos de cantos, con base en las características del canto en notas y pulsos (Emmrich et al. 2020). Esto solo es una muestra de lo complejo que es el sistema de comunicación entre los anuros. Los sistemas de clasificación de los cantos de anuros son de gran ayuda para estandarizar su aplicación. Esto que ha permitido el uso de las vocalizaciones en más áreas de la biología (Köhler et al. 2017).

Colecciones biológicas

La función básica de las colecciones biológicas y los museos de historia natural es entender la vida en la Tierra documentando la biodiversidad, su distribución y los cambios globales (Suarez & Tsutsui, 2004; Robbirt et al.2011). Entre sus objetivos y aportaciones se encuentran: el apoyo a la salud pública y las aportaciones a la agricultura (Blatt, 2001; de Oliveira et al. 2020). También destacan sus investigaciones sobre contaminantes ambientales, pérdida de biodiversidad o hábitat e invasiones biológicas (Pyke & Ehrlich, 2009). Las colecciones biológicas funcionan como un recurso de investigación y educación (Suarez & Tsutsui, 2004; Monfils et al. 2017) Las colecciones son los guardianes de la información primaria de la biodiversidad (Vollmar et al. 2010). En las colecciones se documenta a un espécimen (o ejemplar) bajo un espacio geográfico, un tiempo y un espacio biológico (Lane, 1996). De este espécimen se obtiene información con la que se publican artículos científicos (Vollmar et al. 2010). Algunos de esos artículos no tendrán una vigencia más allá de diez años, sin embargo, el espécimen conservará su valor y utilidad durante más tiempo, siempre y cuando esté resguardado de la manera correcta (Winker, 2004). La información recolectada de los ejemplares es el conjunto de datos asociados, los cuales van desde cuestiones básicas como la taxonomía y localización hasta cuestiones más amplias como cuestiones de su ecología y conservación (Shaffer et al. 1998;).

Las colecciones biológicas actuales están incompletas, debido a que no representan el presente de las regiones impactadas por el desarrollo humano (Winker, 2004). Es necesario continuar incrementando el acervo de las colecciones al incluir nuevos tipos de muestras que se adecúen a las nuevas necesidades científicas y de la sociedad. Estos trabajos pueden ser investigaciones sobre contaminantes, respuestas al cambio climático, diversidad genética, genómica, enfermedades emergentes y la distribución de los organismos en relación a la perturbación del hábitat (Suarez & Tsutsui, 2004). Las colecciones biológicas contienen una vasta información que puede ser utilizada para visualizar el impacto humano en el antropoceno (Shaffer et al. 1998, Heberling & Bonnie, 2017).Un ejemplo es la acumulación de metales pesados o la acumulación de carbono atmosférico en los organismos depositados en las colecciones tiempo atrás (Meineke et al. 2019).

Las nuevas formas de colecciones consisten en muestras de tejidos, fotografías, audios y videos. Este tipo de colecciones tienen la misma importancia que los repositorios tradicionales (Winker, 2004 y Toledo et al. 2015b). El monitoreo ambiental es una extensión de la recolecta de ejemplares ya que hay datos que solamente pueden ser extraídos con ayuda de los especímenes en físico. Por ende las nuevas formas de colecciones digitales son un complemento más al conocimiento de la biodiversidad (Meineke et al. 2019). Este complemento es obtenido mediante los archivos audiovisuales es información que no puede ser conservada en los ejemplares muertos ni en las secuencias genéticas (Toledo et al. 2015b).

Al depositar los archivos audiovisuales en una biblioteca o museo, se debe seguir el mismo protocolo que con las colecciones de ejemplares. Es decir georreferenciar correctamente los datos y resguardarlos para el futuro (Toledo et al. 2015b). En esta nueva etapa es vital expandir la accesibilidad de los datos de las colecciones haciendo uso del internet. De esta manera se formarán redes de trabajo entre museos e investigadores para realizar acciones en beneficio de las futuras necesidades de la sociedad. A la vez que se incrementa la velocidad en la que la información puede ser transferida (Winker, 2004 y Meineke et al. 2019).

Las grabaciones de sonidos y la bioacústica

Un espécimen en una colección bioacústica es una grabación de un animal o un grupo de animales asociados a metadatos (lugar, fecha, tipo de vegetación, condiciones ambientales, por mencionar algunos), que pueden tener una duración de tiempo variable entre segundos a minutos. Estas grabaciones tienen cortes o marcajes los cuales generalmente se resguardan por duplicados (Gaunt et al. 2005). La rápida tasa de pérdida de especies agrava la crisis de biodiversidad. Esta crisis vuelve urgente la necesidad de documentar de una forma igualmente rápida la diversidad (Lewis, 2006; Ceballos, et al. 2010; Bishop, et al. 2012).

La grabación de sonidos es una gran herramienta para documentar la diversidad rápidamente (Obrist et al. 2010). En los años 40 se utilizaba una cinta magnética para realizar grabaciones, las cuales tenían una durabilidad de entre diez y cuarenta años. Muchas de las grabaciones realizadas en esta época se perdieron antes del proceso de digitalización. Además las primeras grabaciones se analizaban de forma totalmente auditiva, sin contar con la ayuda de espectrogramas (Marler & Slabberkoorn, 2004 y Gaunt et al. 2005).

Existen muchos equipos y técnicas diferentes para realizar grabaciones, a grandes rasgos las grabaciones de sonidos naturales se diferencian entre automatizadas o focales. Las grabaciones focales son aquellas en las que el investigador debe estar presente junto al ejemplar, mientras que en las automatizadas no (Köhler, et al. 2017). Las grabaciones de sonidos automatizadas abren nuevas oportunidades para la investigación ecológica, y la conservación. Este tipo de estudios no son invasivos y pueden ser usados en medios terrestres y ecosistemas acuáticos. Son utilizados para generar inventarios acústicos, medir cambios en la abundancia, priorizar áreas de conservación, detectar especies

críticas, y obtener patrones de fenología y distribución (Sugai & Llusia, 2019). Actualmente es una tarea relativamente sencilla gracias a los avances tecnológicos que existen para grabar, resguardar y analizar los audios.

Además de los usos ya planteados, el monitoreo acústico tiene un importante rol en para las futuras generaciones. Sugai y Llusia (2019), sugieren que las grabaciones acústicas pueden ser consideradas cápsulas del tiempo de las comunidades acústicas del planeta, mostrando cómo eran en el pasado, su estructura y su dinámica, incluso, estos autores proponen el término fósil acústico, para las grabaciones de especies extintas. Actualmente ya se tienen registros de grabaciones de especies posiblemente extintas; por ejemplo, la *Rhinoderma rufum* (Ranita Chilena de Darwin), la cual se encuentra en el repositorio de FonoZoo. La digitalización de la información ha permitido avanzar a pasos agigantados a la bioacústica, ya que la forma de almacenar, trabajar y conservar la información es más sencilla, esto ya sea en museos o en bibliotecas acústicas (Sugai & Llusia, 2019).

Las grabaciones de los sonidos se llevan a cabo con un micrófono o hidrófono y una grabadora digital, dependiendo del organismo y medio en que se trabaje. Los micrófonos pueden ser direccionales o parábolas. Las grabaciones requieren de un software especializado para visualizar, escuchar y analizar las señales (Obrist et al. 2010). Existen diversos tipos de micrófonos, los cuales funcionan como un transductor mecánico que convierte las ondas del sonido en señales eléctricas (Obrist et al. 2010). Los más utilizados para los trabajos de bioacústica son los micrófonos electrodinámicos y los micrófonos de capacitancia. La diferencia entre ellos es la polarización del voltaje a través de una membrana, en el caso del de capacitancia, mientras que el otro lo hace electromagnéticamente. Este tipo de micrófonos son muy usados debido a que son fáciles de calibrar y son direccionales, por lo que es más sencillo aislar el sonido deseado (Christensen-Dalsgaard, 2008).

Las grabaciones de sonidos son analizadas y editadas con diversos softwares, en donde existen opciones comerciales como: *Adobe Audition*, *ARBIMON*, *AudioMoth*, *Avisoft*, *BatSound*, *Frontier-Labs*, *Raven*, *SeaPro*, *Seewave*, *SM4MDEEP*, *Song-Scope*, *Wildlife-Acoustic* y *X-Bat*. También existen software de acceso libre como *AUDACITY*, *AURITA*, *HNSAT*, y *SOLO* (Obrist et al. 2010; Sugai & Llusia, 2019). El análisis de las grabaciones, en general, se lleva a cabo observando las características de las señales acústicas de forma gráfica a través de un espectrograma. Con él es posible medir, entender y observar la estructura de ese sonido; esto se ha utilizado desde la época analógica y ha ido mejorando con los avances tecnológicos (Pavan & Pavia, 2008).

Las bibliotecas de sonidos

Las grabaciones de sonido de animales son una herramienta que ha estado presente desde hace ya más de cien años. En la Alemania de 1889 se realizó la primera grabación de un canto de un ave paseriforme en cautiverio *Copsychus malabaricus* (Shama culiblanco) por Ludwing Koch (Ranft, 2001). Por otra parte, en 1900 se realizó la primera grabación de un ave en vida silvestre, la cual fue un *Turdus philomelos* (Zorzal Común) en

Inglaterra por Cherry Kearton (Ranft, 2004). La primera grabación bioacústica en los Estados Unidos se realizó en 1892 con primates en cautiverio y en 1929 la primera con aves en vida silvestre (Garner 1892; Boswall & Couzens 1982). Para la región Neotropical, fue hasta 1940, en Panamá donde se realizó la primera grabación de sonidos de animales. Sin embargo, todas esas grabaciones eran realizadas de una forma no sistemática y no eran resguardadas en ningún reservorio o colección pública (Marler & Slabberkoorn, 2004; Ranft, 2004).

La grabación sistemática de los sonidos de animales comenzó en 1950 por Kellogg y Allen en Estados Unidos. Ellos formaron las bases de lo que hoy es la Biblioteca Macaulay de Sonidos de la Naturaleza de la Universidad de Cornell, este es uno de los mayores reservorios del mundo. Además, ellos propusieron los principios y bases para que una colección de sonidos sea adecuada, así como las políticas de la realización de las colectas (Ranft, 2004). Los principales usos de una biblioteca de sonidos son la ciencia, la conservación de la naturaleza, educación y el entretenimiento (Gaunt et al. 2005; Obrist et al. 2010; Kreuzer & Dreesmann, 2017).

Es importante recalcar que la mayoría del acervo de grabaciones de sonido de la naturaleza ha sido recabada en los últimos cincuenta años. La mayoría de estos acervos están enfocados en aves. Se han dejado de lado a otros organismos que también producen sonidos como los insectos, anuros y mamíferos. La cantidad de grabaciones de audio como acervo de la biodiversidad siguen siendo insuficientes en comparación con una colección zoológica tradicional de organismos. Las mayores bibliotecas de sonidos del mundo se muestran en **Tabla 1**, donde Brasil tiene la mayor colección de archivos sonoros de latinoamericana.

Tabla 1. Principales bibliotecas de sonido del mundo muestran el número total de grabaciones de sonidos de la naturaleza de cada colección. La gran mayoría de estas bibliotecas tienen un gran porcentaje de sus grabaciones en formato digital de libre acceso. Obtenida de Ranft, 2004 y actualizada con datos del 2019. El número de grabaciones totales fueron actualizados de acuerdo con las página web para las colecciones 1-7 (Australian National Wildlife Collection, 2019; British Library, 2019; FonoZoo, 2019; Instituto Alexander Von Humboldt, 2019; Museu de Zoologia Adão José Cardoso, 2019; Museum Für Naturkunde, n.d.; The Cornell Lab of Ornithology, 2019a); por comunicación personal del 8-11 gracias a los curadores Gaunt, S.⁸ y Nickerson, M y Webber, T⁹.

| Biblioteca | País | Fundación | Número de grabaciones |
|---|-------------|------------------|------------------------------|
| Biblioteca de Sonidos de la Naturaleza Macaulay ¹ | EEUU | 1956 | 850,916 |
| Archivo de sonidos de la Naturaleza de la Universidad de Humboldt ² | Alemania | 1952 | 120,000 |
| La Biblioteca Británica de Archivos de Sonidos³ | Reino Unido | 1969 | 90,000 |
| Colección Nacional de Vida Silvestre Australiana⁴ | Australia | 1961 | 60,000 |
| Fonoteca Zoológica⁵ | España | 2002 | 55,000 |

| | | | |
|--|----------|------|--------|
| Laboratorio de Bioacústica Borrer⁸ | EEUU | 1948 | 49,275 |
| Archivo Sonoro Neotropical Jacques Viellard⁶ | Brasil | 1978 | 46668 |
| Museo de Historia Natural de Florida⁹ | EEUU | 1973 | 31,000 |
| Colección de Sonidos Ambientales del Instituto Alexander Von Humboldt⁷ | Colombia | 1998 | 22,127 |

En el siglo pasado, el acervo de las grabaciones de sonidos era proporcionado por donaciones individuales realizadas por científicos. Todas ellas llegaban a las bibliotecas en diferentes formatos, los cuales fueron cambiando conforme las tecnologías de grabación y almacenamiento fueron mejorando. Estos formatos se transformaron pasando desde cilindros de cera, cintas, mini-disc, y discos hasta los formatos digitales usados hoy en día (Ranft, 2004). Todo este avance tecnológico ha beneficiado la forma en que se conservan las grabaciones, así como la manera en que pueden ser compartidas. A partir del surgimiento de las primeras computadoras, en los años setenta, 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). En el pasado, las grabaciones solo podían ser pedidas y usadas por las personas directamente en la biblioteca de resguardo, mientras que hoy en día muchas de las colecciones cuentan con catálogos digitales en línea, siendo de libre y rápido acceso.

El libre acceso de una colección de sonidos beneficia a estudiantes, investigadores, a personas que trabajan en el ecoturismo e incluso a las personas nativas de la localidad de estudio a poder identificar especies mediante el sonido, en lugares en donde el contacto visual con el organismo es limitado o imposible. También proporcionan un acercamiento a la naturaleza en urbes y ciudades grandes (Gaunt et al. 2005).

Bibliotecas de sonido en México

En México hay varias instituciones que resguardan sonidos de especies mexicanas. Como se puede observar en la **Tabla 2**, una de las bibliotecas con una mayor cantidad de grabaciones es la Biblioteca de Sonidos de Aves del Instituto de Ecología A.C. en Veracruz (INECOL). La cual fue fundada en los años 80's y hasta hace muy poco tiempo era la fonoteca más grande del país, con sus 6000 grabaciones. La biblioteca del INECOL es especializada en ornitología, sin embargo, acepta cualquier otro sonido de la naturaleza para incluirlo en la biblioteca (Comunicación personal González-García, 2020). Fundada en el 2002, la Colección de Sonidos Naturales de la Colección de Aves es hoy en día la biblioteca con el mayor acervo del país. Esta colección está dentro del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y cuenta con 7000 grabaciones (Comunicación personal Gordillo-Martínez, 2020).

Otras bibliotecas de sonidos importantes en el país resguardan grabaciones producidas por otras especies. En cuanto a sonidos producidos por insectos, estos están

resguardados en las colecciones de las siguientes instituciones: Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tamaulipas (ITCV); Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) (Bazúa-Durán, 2004). La colección del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR) cuenta con una colección de cantos de aves y sonidos de mamíferos marinos (Comunicación personal Sosa-López, 2020).

Mientras que, los sonidos producidos por mamíferos, tienen un acervo en la Universidad Autónoma de Baja California (UABCS), en el Departamento de Biología Marina; Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN); Centro de Investigación Científica y de Educación Superior Ensenada (CICESE); Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y en la Facultad de Ciencias de la UNAM (Bazúa-Durán, 2004).

Tabla 2. Bibliotecas de sonido más importantes de México. Datos obtenidos mediante comunicación personal con los curadores González-García F.¹ Gordillo-Martínez A.²

| Biblioteca | Fundación | Número de grabaciones |
|---|------------------|------------------------------|
| Biblioteca de Sonidos de las Aves de México. INECOL¹ | 1984 | 6000 |
| Colección de Sonidos Naturales de la Colección de Aves del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” UNAM² | 2002 | 7000 |

Colecciones de sonidos de anuros y otros sonidos herpetológicos

Para los anuros, no existía ningún acervo especializado en México, ya que la mayoría de los documentados se encuentran depositados en colecciones de aves o de sonidos en general. Esto es sorprendente ya que a pesar de la gran riqueza de anuros con la que contamos, esta área sigue siendo poco explorada. El tener una colección de archivos de sonidos permite el monitoreo de las poblaciones (Depraetere et al. 2012) , realizar estudios evolutivos (Castellano, et al. 2002), taxonómicos (Köhler et al. 2017), de comportamiento animal (Llusia et al. 2013), entre otros que se discutirán más adelante.

Con los crecientes problemas del cambio climático y los efectos del antropoceno, las acciones de conservación *ex situ* son cada vez más urgentes. Entre ellas el depositar y guardar en archivos de sonido digitales y análogos en los museos. Esto permite expandir el conocimiento y comprometerse con la conservación de la biodiversidad (Dena et al. 2019). Por ejemplo el *Campephilus principalis* (Carpintero Real), se creía extinto en

1935, sin embargo fue redescubierto en el 2004 gracias a las grabaciones de sus llamados (Gaunt et al. 2005)

En las nueve mayores colecciones de audios del mundo, expuestas anteriormente, podemos encontrar grabaciones de anuros e incluso una sección especializada en reptiles. Como se observa en **Tabla 3**, la colección “Fonoteca Zoológica” (FonoZoo) es el mayor resguardo de audios de anuros; sin embargo, comparando el total de registros de cada biblioteca acústica no es sustanciosa la cantidad de vocalizaciones de anuros resguardadas, ya que todas estas bibliotecas están enfocadas en aves.

Tabla 3. Registros de grabaciones para los grupos Anura y Reptilia. En las colecciones más grandes del mundo hasta el año 2019. Los registros fueron obtenidos de las páginas web de cada biblioteca para 1-6 (Australian National Wildlife Collection, 2019; British Library, 2019; FonoZoo, 2019; Instituto Alexander Von Humboldt, 2019; Museu de Zoologia Adão José Cardoso, 2019; Museum of Biological Diversity Borror Laboratory of Bioacoustics, 2015); para 7-9 fueron solicitados los datos a los curadores de las colecciones, Medler⁷, Frommolt⁸ y Webber,⁹.

| Biblioteca | Registros de anuros | Registros de reptiles |
|--|----------------------------|------------------------------|
| Biblioteca Macaulay de Sonidos de la Naturaleza⁷ | 13,000 | 75 |
| Archivo de sonidos de la Naturaleza de la Universidad de Humboldt⁸ | 1,769 | 62 |
| La Biblioteca Británica de Archivos de Sonidos¹ | 1,091 | 5 |
| Colección Nacional de Vida Silvestre Australiana² | 9,379 | 0 |
| Fonoteca Zoológica³ | 14,306 | 97 |
| Laboratorio de Bioacústica Borror⁴ | 718 | 24 |
| Archivo Sonoro Neotropical Jacques Viellard⁵ | 5150 | 20 |
| Museo Natural de Historia de Florida⁹ | 438 | 118 |
| Colección de Sonidos Ambientales del Instituto Alexander Von Humboldt⁶ | 50 | 0 |

De acuerdo con Dena y colaboradores 2019, la gran mayoría de los herpetólogos no depositan sus grabaciones de sonidos en una colección. En el mejor de los casos poseen colecciones audiovisuales personales. Lo que significa un problema de muchas aristas, al no estar en una colección científica, estos datos no tienen una copia de seguridad que los resguarde adecuadamente. Otro problema es que al ser privados no tienen un acercamiento social ni académico (Dena et al. 2019).

Por ejemplo en Brasil, el país más diverso a nivel mundial en anfibios (Frost, 2021), los herpetólogos no resguardan la mayoría de los audios. Entre el 2000 y el 2017 contaban con 431 trabajos en los que se utilizaron grabaciones de anuros. De estos trabajos solo el 25% reportaban haber guardado las grabaciones en alguna biblioteca

pública. El resto no tienen especificados el número de grabaciones utilizadas o el número de organismos grabados y mucho menos dónde están esas grabaciones (Dena et al. 2019). Se estima que al menos el 79.04% de las grabaciones utilizadas en esos trabajos no están catalogadas y que únicamente el 20.96% de todos los anuros brasileños están catalogados actualmente en una biblioteca sonora pública. El no depositar correctamente estos registros significa tan sólo para Brasil una pérdida de 6,020,939.58 dólares estadounidenses. De acuerdo con estimaciones obtenidas al sumar el sueldo de investigadores, los apoyos de organizaciones no gubernamentales y las becas de los estudiantes de posgrado (Dena et al. 2019).

Las razones por las que los herpetólogos no catalogan correctamente las grabaciones son variadas, de acuerdo con una serie de entrevistas realizadas en el XI Congreso Latinoamericano de Herpetología, los principales motivos por lo que esta información se pierde son: falta de tiempo para realizar el acomodo correcto de los datos (45%), no saber cómo depositarlos en una colección pública (19.6%) y creer que no es necesario hacerlo (19.6%). Otra razón aparente es que, no es común que las revistas exijan que el material bioacústico esté catalogado en una colección científica así como si es un requisito con el material de secuencias genéticas o especímenes (Dena et al. 2019).

Planteamiento del problema

Las bibliotecas de sonidos de la naturaleza son un acervo de material de fácil alcance que puede ser utilizado de distintas formas. Desde el punto de vista científico, es posible usarlas para realizar diversos estudios. Para la sociedad en general puede ser un medio para realizar ciencia ciudadana y divulgación de la biodiversidad. En México, existen algunas plataformas de sonidos de la naturaleza, como las bibliotecas de cantos de aves. Sin embargo, no existe ninguna biblioteca de sonidos especializada en herpetología y mucho menos una biblioteca de cantos de anuros.

A nivel mundial existen 8273 especies de anfibios, de los cuales 7,299 especies corresponden a Anura, 760 especies Caudata y 214 especies a Gymnophiona (Frost et al., 2021). En México está representado el 5.23% de la diversidad mundial de anfibios, con 407 especies, de las cuales más del 50% son endémicas. Esto nos coloca dentro de los países más diversos, solo después de Brasil, Colombia, Ecuador y Perú, en cuanto a Latinoamérica. De las más de 400 especies de anfibios mexicanos, 242 son anuros, lo cual representa 20.37% de las familias de sapos y ranas a nivel mundial, con 145 especies endémicas (Frost et al. 2021, Parra-Olea et al. 2014), por lo que la creación de una Biblioteca de Cantos de Anura representaría una innovación y contribuiría a la preservación de esta gran biodiversidad.

Justificación

Las bibliotecas digitales de sonidos son herramientas poco exploradas y enfocadas principalmente a los cantos de las aves. Para México la creación de esta plataforma dedicada a los anuros es un parteaguas en la herpetología y la bioacústica. Es vital generar un medio que difunda la plataforma, así como su impacto científico y en la sociedad en general. Esto, por medio de ejemplos de los posibles trabajos que se impulsarán y podrán ser realizados en un futuro, por investigadores. De la misma forma, se abordarán el por qué una biblioteca de sonidos es importante para la sociedad mexicana en general.

Objetivo general

Fundamentar la importancia de la creación de una biblioteca de cantos de anuros de México, así como establecer las bases del proceso de la curación de la biblioteca.

Objetivos particulares

1. Describir algunas de las posibles aplicaciones científicas de una biblioteca de cantos de anuros.
2. Recaltar la utilidad de la creación y difusión de la página web de la biblioteca de cantos, para contribuir con la divulgación del conocimiento científico a la sociedad en general.
3. Registrar el avance de la curación de cantos realizado durante los semestres 2019-2 y 2020-1.

Metodología

Búsqueda bibliográfica

Con el fin de ejemplificar la utilidad de la bioacústica de anuros realicé una búsqueda bibliográfica en las plataformas Google Scholar, Scopus y Research Gate. Se utilizaron las palabras clave: *Anura+Acoustics*, *Bioacoustics+Anuran*, *Anura+Call+Recording*. Seleccioné los artículos en los cuales se hayan utilizado en la técnica de grabaciones de anuros sin importar el área de estudio: ecología, evolución, monitoreo, entre otros. Utilizando Scopus realicé con base en la búsqueda bibliográfica un análisis de los países en donde más se han realizado trabajos de este tipo, así como la cantidad de artículos

publicados. Además, realicé una búsqueda de bibliografía de este tipo en México, usando Google Scholar y BidiUNAM.

Marcaje de cantos

Comencé la base de datos en Excel, donde se incluyó todos los archivos recolectados por el Laboratorio de Herpetología del Museo Alfonso L. Herrera. También se incluyó las grabaciones donadas por otros investigadores. El trabajo realizado durante mi servicio social corresponde a una fracción de esos audios, revisé 3415 archivos correspondientes al año 2016. En dicha base se incluyeron todos los datos necesarios para una colecta científica. Los datos de georreferencia, fecha y colector y toda la información del archivo: equipo con el que fue colectado, grabadora, micrófono, tipo de archivo, duración y tasa de muestreo.

Utilizando el programa Raven Pro 1.6 analicé de forma visual y auditiva cada uno de los archivos. Realicé el marcaje del tiempo exacto en donde el anuro realizó una vocalización. El resto de los archivos que no contenían cantos fueron incluidos igualmente en la base de datos. En estos especifique qué es lo que contenía cada uno, es decir, el canto de aves, insectos u otros sonidos ambientales o antropogénicos. Para las grabaciones que contenían cantos de anuros se identificó la especie o especies presentes. La identificación se realizó comprando las frecuencias de las grabaciones ambientales con una guía con grabaciones de las especies registradas previamente de forma focal. En esta base se incluye el nombre de la especie o el género y la calidad del sonido presente en el audio. El cual se determinó con base en el ruido ambiental presente en la grabación es decir el ruido de fondo. Este puede ser producido por otros animales o por la lluvia.

Resultados

De acuerdo con la búsqueda bibliográfica, las grabaciones sistematizadas de anuros poseen diversos usos para la comunidad científica, así como para la sociedad en general. A continuación, se describen y ejemplifican estas aplicaciones.

Sistemática y biogeografía

Los cantos de advertencia de cada especie son únicos en la selección sexual. Por ello el uso de los caracteres bioacústicos para delimitar especies de anuros es una buena herramienta. Como las vocalizaciones de los anuros no son aprendidas, se asume que presentan un componente genético muy grande (Gingras et al. 2013). Cuando las especies son evolutivamente más distantes, se espera tengan vocalizaciones diferentes que las especies más cercanas. Aunque no todas las especies de anuros difieren en una medida a veces audible por los seres humanos. El canto de una misma especie puede variar dentro de los individuos. Esto puede ser por factores como el tamaño corporal, la temperatura y el lugar en donde se encuentra (Forti et al. 2017).

No existe una sola técnica para realizar un inventario bioacústico. La técnica a seguir dependerá del propósito de la investigación y el grupo con el que se esté trabajando (Obrist et al. 2010). En el caso de las grabaciones que serán útiles para investigaciones sobre la sistemática se deben tomar ciertos datos adicionales. Entre ellos se debe describir a gran detalle los audios, es decir sus características cualitativas, escribir las onomatopeyas, el número, tipo y estructura de las notas presentes, tono, frecuencia, duración del canto y la presencia o ausencia de armonías. De igual forma, es importante recalcar que todas las grabaciones de una base de datos que van a ser usadas para el mismo estudio, deben ser grabadas bajo las mismas condiciones, ya que al variar eso, vuelve difícil interpretarlas (Köhler et al. 2017).

Los rastros acústicos han sido poco utilizados en la sistemática de anfibios, sin embargo, estos datos poseen caracteres continuos y discretos. Estos caracteres son de gran valor y utilidad para afinar la sistemática a través de trabajos integrativos (evidencias moleculares, anatómicas y rastros acústicos) (Forti et al. 2017). De esta forma las grabaciones acústicas son un buen complemento para las filogenias, sobre todo de especies simpátricas y crípticas. Como regla general, los cantos de las especies en simpatría muestran diferencias más confiables que las de especies alopátricas. Ya que en condiciones simpátricas, es poco probable que dos especies tengan cantos idénticos, debido a las presiones de selección a las que están expuestas, ya que promueven las divergencias acústicas (Köhler et al. 2017).

Las propiedades acústicas muestran variación y plasticidad, debido a las presiones propias del ambiente en el que se encuentran los individuos. Por ejemplo el ruido de fondo, la estructura física del hábitat y la interacción con otros individuos causa importantes cambios en el comportamiento, lo que posiblemente traiga consigo variaciones acústicas y divergencia de especies; en algunos grupos se ha observado que se requiere de aproximadamente 6.5 millones de años para ver la diversificación de rastros acústicos (Forti et al. 2017). El marcaje de cantos en especies simpátricas provee las condiciones perfectas para el uso de la taxonomía bioacústica; cómo se puede observar en la Figura 1, los cantos de especies simpátricas son muy diferentes entre sí, a pesar de que la variación genética sea baja o alta.

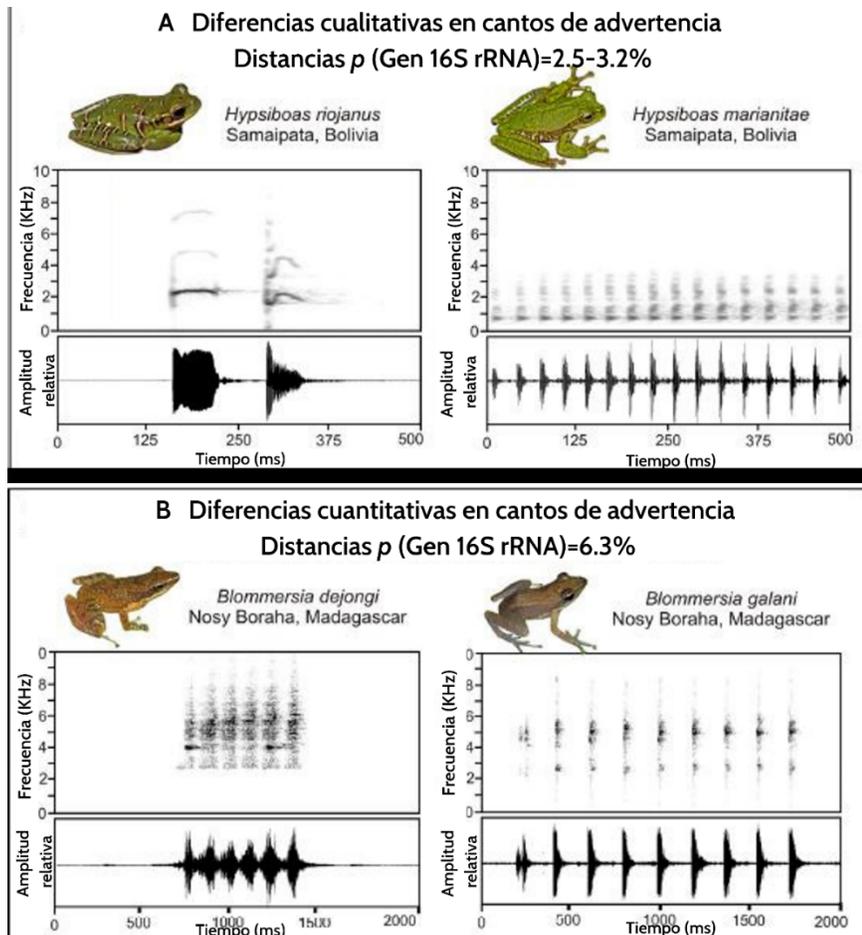


Figura 1. Ejemplos de espectrogramas y oscilogramas con diferencias cualitativas en el canto de dos géneros de anuros distintos, figura tomada de Köhler et al. 2017. Las especies simpátricas entre sí. En la figura A, se puede observar dos especies con un bajo nivel de divergencia genética, de acuerdo con el gen 16S rRNA. En esta especie se observan diferencias cualitativas del canto, mientras que en la figura B, se observan dos especies con una alta divergencia y se observan diferencias cuantitativas del canto. Para ambos casos el canto de las especies difiere en cuanto la amplitud relativa y la frecuencia.

En algunos trabajos se ha hablado de que las diferencias entre caracteres sexuales de especies cercanas en diferentes áreas geográficas no son concordantes con las distancias genéticas, postulando que se trata de un evento azaroso o por deriva génica. Sin embargo, para el caso de los cantos de advertencia, existen diversos estudios en los que se ha encontrado concordancia genética y acústica para las especies de la región Neotropical como para la región europea. Como se observa en la Figura 2 en el caso de la topología de la filogenia del género *Dendropsophus* los arreglos filogenéticos sugieren un cambio gradual en el número de las notas entre las especies cercanas, lo que corresponde a una condición plesiomórfica para los cantos simples y apomórficas en el caso de los complejos (Forti et al. 2017).

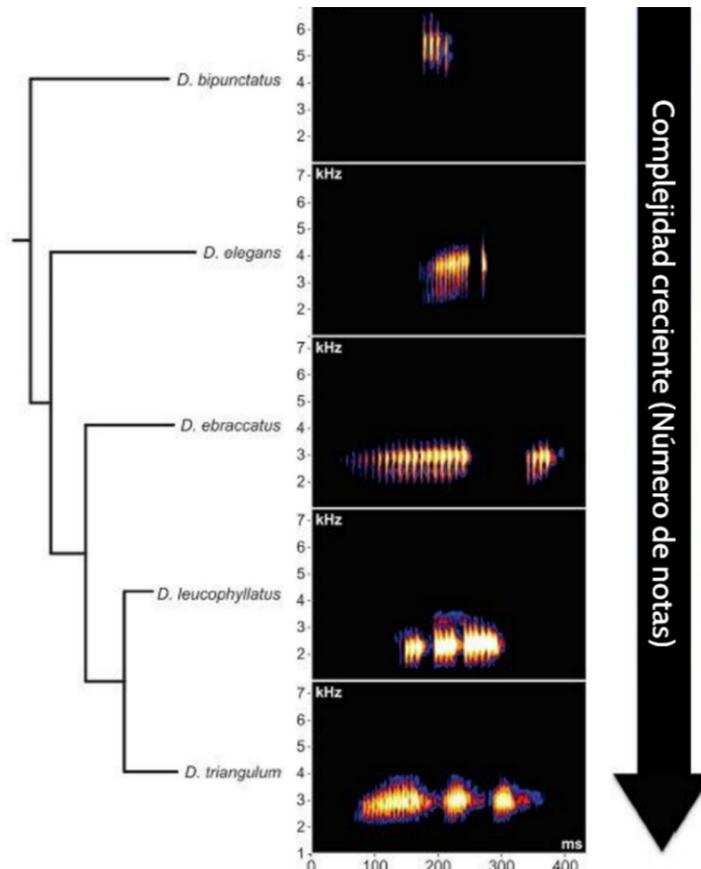


Figura 2. Representación filogenética de los espectrogramas de cinco especies del género *Dendropsophus*, figura tomada y modificada de Forti et al. 2017. En los cuales se puede observar el aumento en el número de notas en la topología de la filogenia. Siendo *D. leucophyllatus* y *D. triangulum* las especies hermanas que presentan el canto más complejo, al tener tres notas a diferencia de *D. bipunctatus* la cual únicamente presenta una.

Como ya se ha hablado anteriormente, las grabaciones de cantos de advertencia han sido muy utilizadas como complemento de estudios filogenéticos. Otro ejemplo de ello es el estudio realizado por Amézquita (2009), en dicho trabajo se realizó un estudio multivariado usando caracteres cualitativos y cuantitativos (coloración forma, genes y cantos) de ocho poblaciones de *Allobates femoralis* una rana amazónica. Previamente ya se contaba con un registro de que los cantos de advertencia mediaban el reconocimiento de las parejas de esta especie y ellos confirmaron una pronunciada variación geográfica en todos los rasgos fenotípicos. Las variables acústicas que utilizaron fueron: duración del canto y nota e intervalo entre notas. Estos rasgos están fuertemente diferenciados entre la población y es correlacionado significativamente con la divergencia genética, por lo que sugiere un rol de flujo genético en la divergencia alopátrica de los rasgos acústicos (Amézquita et al. 2009).

Por otro lado, también existen estudios en donde se usa la bioacústica en investigación a gran escala, a diferencia de los anteriores ya mencionados que son de

clados particulares. Un ejemplo de esto es el trabajo de Gingras (2013), en donde realizó un estudio filogenético con 90 especies de cuatro clados distintos: *Bufo*, *Hyllinae*, *Leptodactylus* y *Rana*, donde estimó su distancia filogenética a través de cinco parámetros acústicos de bajo nivel, aplicables a todos esos clados distintos, como lo es la frecuencia dominante. Con este trabajo, los autores documentan una tendencia general a que las especies mayormente relacionadas exhiban caracteres acústicos más similares, apoyando la hipótesis de que los cantos están conformados por restricciones filogenéticas (Gingras et al. 2013).

Ecología y conservación

El monitoreo de vida silvestre se ha innovado y transformando gracias a los avances tecnológicos, siendo una herramienta muy útil para rastrear los cambios en un ecosistema. El monitoreo acústico pasivo (PAM por sus siglas en inglés), es un método que ha ido ganando terreno en los estudios ecológicos. En los 90 's se escribían aproximadamente 2.8 artículos de esta índole al año, mientras que para los 2010' s el promedio es entre 28 a 62 por año (Sugai et al. 2019). Es una herramienta a largo plazo con un costo-beneficio alto, más en trabajos terrestres aún es poco usado. Las grabaciones automatizadas son altamente informativas, en cuanto a identificar especies, obtener abundancia o estimar poblaciones, dinámicas de comunidades, patrones de actividad, rutas de movimiento y rango de hogar (Sugai et al. 2019).

El PAM es tan útil como el usar cámaras trampa, de acuerdo con la literatura los grupos con los que se ha usado más esta técnica son un 50% murciélagos, 20% aves y un 12% anuros. En cuanto a anuros, en Estados Unidos entre 1992 y el 2015 se llevó a cabo el Programa de Monitoreo de Anfibios de Norte América (NAAMP en inglés), Figura 3, el cual fue un trabajo en conjunto con 26 colaboradores entre agencia estatales, universidades y organizaciones no gubernamentales. Este es el trabajo de monitoreo bioacústico más extenso que se ha realizado hasta ahora, en él se ha monitoreado las poblaciones del este y centro de EEUU (Sugai et al. 2019).

El PAM es utilizado para medir la biodiversidad, esta medida puede ser obtenida de tres formas (Sugai et al. 2019), ya sea por la identificación manual de las especies con los audios recabados, lo cual es un método que requiere de expertos para clasificarlos. De acuerdo con la literatura, un profesional requiere de al menos dos minutos para identificar una especie con un audio. Generar un sistema inteligente que vuelva más sencilla esta tarea, puede simplificar y aumentar la velocidad con la que se analizan las grabaciones colectadas en campo (Luque et al. 2018). La segunda forma es a través de la identificación automatizada de las especies por medio de algoritmos, sin embargo esta técnica requiere de una base de datos sólida. Esta técnica se ha desarrollado de manera exitosa con murciélagos (Sugai et al. 2019). Sin embargo, en anuros representa un área que aún se encuentra en desarrollo. Los primeros trabajos de identificación automática para anuros, se basan en la técnica de fragmentar los audios en sílabas, algunos trabajos son los de Lee et al. (2006); quienes innovaron con esta técnica, con el monitoreo, de anfibios y grillos, con una exactitud del 98% (Lee et al. 2006). Después Noda et al. (2016), probaron tres diferentes algoritmos con tres bases de datos distintas con grabaciones de

anuros: *AmphibiaWeb*, Guía de Sonidos de Anfibios de Cuba y Guía de Cantos de Ranas del Sur de Brasil y Cuba. Ellos concluyeron que la técnica de separar en sílabas es efectiva con los algoritmos, obteniendo una eficiencia del 98.8% (Noda et al. 2016).

Otro ejemplo es la clasificación realizada por Han et al. (2011), con anuros australianos de la familia Microhylidae, ellos utilizaron la técnica de separación en sílabas, la cual les proporcionó las características necesarias para calcular la entropía de Shannon y la de Renyi, las cuales convierten los audios en parámetros numéricos medibles; ellos obtienen con esta técnica una eficiencia del 98% (Han et al. 2011). Continuando con la técnica de la separación en sílabas y el uso de algoritmos, Luque et al. (2018), proponen la creación de una Red de Sensores Acústicos Inalámbricos (WASN por sus siglas en inglés), las cuales permiten un muestreo más exhaustivo, que integre en una sola terminal el trabajo de varios sensores, al mismo tiempo que estos son recolectados, utilizando diversos algoritmos para reducir el tamaño de espacio que se requiere para salvaguardar esas grabaciones, las cuales después son analizadas con ayuda de funciones de MATLAB, por lo que esto supone ser una clasificación métrica del espectro de los cantos de anuros (Luque et al. 2018).

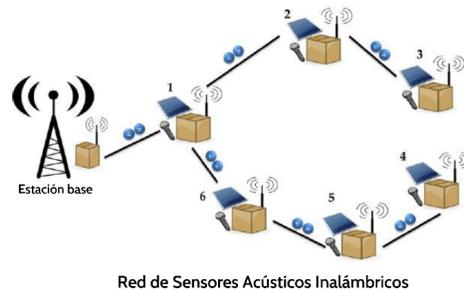


Figura 4. Esquema de la arquitectura de la Red de Sensores Acústicos Inalámbricos (WASN), figura tomada y modificada de Luque et al. 2018. En esta se observa el principio del funcionamiento de una red de sensores interconectados a una estación base terminal.

Por otra parte, la tercera forma de medir la diversidad es utilizando índices acústicos (Zhao et al. 2019). Existen varios índices acústicos, los cuales se han desarrollado en ornitología, entre ellos están: como el índice de entropía acústica (H) (Sueur et al. 2008); el índice de diversidad acústica (ADI) (Villanueva-Rivera et al. 2011), el índice de igualdad acústica (AEI) (Villanueva-Rivera et al. 2011), el índice bioacústico (BIO) (Boelman et al. 2007), riqueza acústica (AR) (Depraetere et al. 2012), el índice de complejidad acústica (ACI) (Pieretti et al. 2011) y el índice de diferencia normalizada de paisaje sonoro (NDSI) (Kasten et al. 2012).

Además, se han desarrollado índices para medir el impacto de la contaminación auditiva en áreas naturales. Entre ellos destacan el índice de poder (POW) y el de ruido de fondo (BGN) (Burivalova et al. 2018). Así como sus modificaciones índice de poder

(EXAG) e índice de ruido de fondo (CORE), además de dos índices nuevos TAIL y LOUD, los cuales han sido propuestos para ser usados en ambientes tropicales como lo es la selva alta (Ordoñez-Flores, 2019). De entre todos ellos, hasta ahora solamente se ha utilizado en la bioacústica de anuros el ACI (Lozano et al. 2014), por lo que este campo de trabajo es un área prácticamente nueva.

Para la fenología, el estudio periódico de los ciclos de vida de los organismos y su relación con variaciones estacionales y climáticas (Demarée, 2009) consecuencia de los cambios globales, como el aumento de temperatura, los monitoreos acústicos son una gran herramienta (Llusia et al. 2013). Con ellos es posible entender qué es lo que está pasando con las poblaciones o qué es lo que puede ocurrir si la temperatura aumenta más. Los organismos ectotermos, como lo son los anuros, son muy dependientes de la temperatura para realizar óptimamente sus funciones fisiológicas. También son el grupo de vertebrados más amenazados por el antropoceno (Houlahan, et al., 2000; Biek, et al. 2002 y Collins, 2010). Es posible citar algunos trabajos de fenología en los que no se usan las técnicas del PAM, como el de While & Uller, (2014), quienes realizaron un meta-análisis de 59 poblaciones de anuros de diferentes latitudes, con datos de entre 1950 y 2014 de la fenología de su reproducción. Sin embargo, este trabajo se vio limitado por el número reducido de datos, además de que no expresaba diversidad este trabajo ya que en general se tenía un sesgo hacia dos especies, mostrando únicamente un 35% de cambios significativos en la fenología reproductiva (While & Uller, 2014). Este trabajo pudo complementarse o aumentar su significancia biológica si se hubiera muestreado con PAM.

El uso del PAM, en este tipo de estudios nos acerca un poco más a comprender la biología de las especies a través de los cambios globales. A modo de ejemplo, el estudio realizado por Llusia et al. (2013), muestra el gran alcance de estas técnicas con un muestreo exhaustivo; utilizan grabaciones de los años 2006 a 2009 de tres especies de anuros en dos poblaciones de la Península Ibérica con diferencias de temperatura, analizando 49,550 grabaciones, que abarca 2095 días de estudio en diez sitios. Ellos buscaron si existe un límite de la temperatura para iniciar la temporada de apareamiento o si hay cambios en la fenología de este, lo cual es la pregunta base de muchas investigaciones debido al calentamiento global. Ellos encontraron que las especies estudiadas presentan una gran plasticidad en su rango térmico en cuanto a la producción de sonido, por lo que hay otros factores además de la temperatura que contribuyen al inicio de la temporada de apareamiento, por lo que las predicciones basadas en límites térmicos ya son un tanto conservadoras, por lo que se requiere estudios con otros parámetros que reflejen mejor la fenología (Llusia et al. 2013).

Los trabajos más recientes, como es el de Schalk & Saenz (2016), utilizan el PAM, combinado con los parámetros de temperatura, cantidad de lluvia y fotoperiodo, para examinar la fenología de los cantos de un ensamble de anuros de Gran Chaco, Bolivia. Ellos, encontraron que el fotoperiodo, es el parámetro más correlacionado positiva y significativamente con nueve de las diez especies de anuros tropicales analizadas (Schalk & Saenz, 2016). Otros trabajos, incluyen además del fotoperiodo variables como la humedad, la velocidad del viento, para modelar la fenología de los cantos (Steelman & Dorcas, 2010; Yoo & Jang, 2012 y Fuentes de la Rosa, 2019).

Tendencias y datos

De acuerdo con los datos obtenidos de Scopus, para las búsquedas de *Anura+acoustic*, *Bioacoustics+anuran* y *Anura+call+recording*, hasta ahora existen alrededor de 845 artículos relacionados al tema de la acústica en anuros, desde diferentes perspectivas. Los primeros registros de estas técnicas fueron en 1964 de acuerdo con la búsqueda *Anura+Acoustics*, sin embargo, si hablamos de *Bioacoustics*, los primeros registros son realmente recientes, menores a treinta años. Como se puede observar en la **Tabla 4**, existe una marcada tendencia de los países que realizan investigaciones con acústica de anuros en el mundo. Entre ellos se encuentran Estados Unidos, Brasil y Alemania, como los tres países con un número mayor de investigaciones de esta índole.

Tabla 4. Búsqueda de información a través de la plataforma Scopus. Realizada para tres arreglos de palabras clave con relación a la bioacústica de anuros. En la que se señala el número de artículos disponibles a la fecha, el número de artículos de acceso libre, el periodo de tiempo en el que se han escrito y los diez países con mayor número de artículos publicados.

| Búsqueda | <i>Anura+Acoustics</i> | | <i>Bioacoustics+Anuran</i> | | <i>Anura+Call+Recording</i> | |
|------------------|------------------------|-----|----------------------------|----|-----------------------------|----|
| Artículos | 845 | | 129 | | 127 | |
| Acceso libre | 191 | | 34 | | 29 | |
| Fecha | 1964-2019 | | 1992-2019 | | 1973-2019 | |
| Países/Artículos | EEUU | 363 | Brasil | 40 | EEUU | 56 |
| | Brasil | 138 | EEUU | 33 | Alemania | 20 |
| | Alemania | 90 | Alemania | 13 | Brasil | 19 |
| | Panamá | 56 | España | 11 | Australia | 10 |
| | Australia | 55 | Austria | 9 | Chile | 8 |
| | China | 43 | Chile | 9 | España | 8 |
| | España | 40 | Argentina | 8 | China | 7 |
| | Chile | 36 | Colombia | 8 | Argentina | 5 |
| | Austria | 34 | Australia | 7 | Canadá | 5 |
| | Francia | 29 | Panamá | 6 | Panamá | 5 |

La Fonoteca de Sonidos de Anfibios

La creación de esta colección es un trabajo colaborativo y amplio. La toma de muestras comenzó en el 2009 y continúa actualmente. Hasta el momento la colección cuenta con aproximadamente 15000 grabaciones de sonido o registros. La mayoría de estos registros fueron obtenidos mediante sistemas de grabación automática. Se utilizaron grabadoras Song-Meter modelo SM2 (Firmware 3.1.0; Wildlife Acoustics, Inc.), SM4 (Firmware 2.22A; Wildlife Acoustics, Inc.), ambas con de dos canales y dos micrófonos omnidireccionales (Wildlife Acoustics, 2020). También, se utilizaron grabadoras Swift (Center for Conservation Acoustics, Cornell Lab), la cual cuenta con un micrófono omnidireccional (The Cornell Lab of Ornithology, 2020). La fonoteca también cuenta con 500 registros directos, es decir, el organismo fue grabado *in vivo*.

La mayoría de las grabaciones fueron realizadas en el estado de Chiapas en la comunidad de Nahá, la cual es parte de la Selva Lacandona. Sin embargo, se busca que en un futuro las grabaciones contengan especies de todo el país. Todas las grabaciones se realizaron en formato no comprimido WAV., la tasa de muestreo fue de 48 kHz y un tamaño de muestra de 16 bits. Se utilizaron estos parámetros con el fin de obtener la mayor cantidad de información sin utilizar demasiado espacio en las memorias SD de las grabadoras. Las grabaciones automatizadas se programaron en un horario a partir de las 17:00 horas hasta las 09:00 horas, grabando cada 5 min al inicio de cada hora. Con la ayuda de una estación meteorológica programada de la misma forma que las grabadoras se obtuvo la temperatura exacta.

En un inicio, los archivos de las grabaciones fueron revisados y depurados a mano, con la finalidad de eliminar archivos repetidos. Posteriormente se creó una base de datos con los metadatos de cada archivo, para esto se utilizó el programa Access (Microsoft, 2019a). Esta base de datos contenía la información y ubicación de cada uno de los archivos. Una vez que los metadatos fueron ordenados se comenzó con el análisis de las grabaciones automatizadas. Este análisis aún sigue en proceso; durante mi estancia en el servicio social yo analicé 3415 grabaciones de audio. Todos los archivos de esta fonoteca se tienen resguardados por duplicados en diferentes discos duros. Los archivos fueron transformados a formato MP3 por ser más ligero, para poder presentarlos en la página web de la fonoteca. Sin embargo, si algún investigador solicita los datos para trabajar con ellos le serán proporcionados en formato WAV.

El análisis de estas 3415 grabaciones lo realicé utilizando el programa *Raven Pro 1.6*. (The Cornell Lab of Ornithology, 2019b), con el cual de forma manual observe el espectrograma de cada grabación. Mediante esto realicé una segunda depuración de archivos, donde separé los archivos que contenían sonidos de los que únicamente eran ruido blanco. En cuanto a los archivos con sonidos la forma de análisis fue manual ya que escuché cada uno de ellos. En estas grabaciones además de biofonías encontré, sonidos como geofonías y antropofonías. Las grabaciones con biofonías, es decir sonidos producidos por organismos, las analicé de forma manual. Dentro de estas grabaciones yo busqué aquellas que contenían sonidos de anuros. Este análisis lo realicé comparando los espectrogramas de las grabaciones automatizadas con el de las grabaciones de forma

manual *in situ*. Esta comparación la realicé de forma observacional, al comparar que las frecuencias y amplitudes fueran lo más similares posibles. Para la determinación de especies en las grabaciones automatizadas utilicé dos criterios. Estos criterios fueron que el sonido fuera similar al de la grabación manual y que las amplitudes de las frecuencias no fueran diferentes.

Utilicé *Excel* (Microsoft, 2019b) para realizar la base de datos de la Fonoteca de Sonidos de Anfibios. En esta base de datos se le asignó un número de catálogo a cada una de las grabaciones. Este número quedó representado con el siguiente acrónimo MZFC-HEC más el número de colecta, por ejemplo: *MZFC-HEC300*. Los caracteres que esta base incluye son los siguientes: datos de georreferencia (coordenadas y ubicación espacial). Datos de la colecta (fecha y hora, colector, grabadora, formato, micrófono, tasa de muestro y duración). La caracterización del hábitat (tipo de vegetación, hábitat, temperatura y condiciones ambientales). Datos del sonido de anuros (la especie o género, certeza en la determinación, calidad y el marcaje donde se escuchan las biofonías).

El marcaje de las grabaciones es el tiempo dentro del audio en donde se escucha el canto o llamada del anuro. Realicé el marcaje de 373 grabaciones con audios de anuros, es decir el 11% de los audios analizados contenían sonidos de anuros. Este marcaje lo realicé con *Raven Pro 1.6*.(The Cornell Lab of Ornithology, 2019b). El tiempo presente de la biofonía en el audio fue expresado en segundos, por ejemplo: *281.580-290.147*. Dentro de las 373 grabaciones con anuros, encontré cuatro especies diferentes y una sin identificar, donde *Craugastor* sp. es la especie con mayor cantidad de audios obtenidos, como se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Especies encontradas durante el marcaje de cantos. Realizadas en el servicio social, los semestres 2019-2, 2020-1.

| Espece | Grabaciones con cantos |
|---------------------------------|------------------------|
| <i>Agalychnis moreletii</i> | 12 |
| <i>Agalychnis callidryas</i> | 12 |
| <i>Dendropsophus ebraccatus</i> | 150 |
| <i>Craugastor</i> sp. | 206 |
| Sin identificación | 8 |

Discusión y conclusión

El área de la bioacústica en anuros es relativamente nueva y poco explorada tanto en equipo y técnicas para su estudio. De acuerdo con la búsqueda bibliográfica, como se puede observar en la **Tabla 4**, los países que cuentan con el mayor número de publicaciones indexadas de este tema son Estados Unidos, Brasil y Alemania. Analizándolos detenidamente, en Estados Unidos se han realizado numerosos trabajos en la bioacústica de anuros, ya que cuenta con al menos tres grandes repositorios de

sonidos de esta índole, como se puede apreciar en la **Tabla 4**. Además de esto, EE.UU. está dentro de los primeros quince países con mayor riqueza de anuros; inclusive cuenta con el mayor proyecto de monitoreo de anfibios a través del uso de grabaciones sistemáticas, del que se tiene registro (Sugai & Llusia, 2019). Por otra parte, Brasil es el país con la mayor biodiversidad de anfibios, ya que cuenta aproximadamente con 1100 especies de anfibios de las cuales 1058 corresponden a anuros, sin embargo, en comparación con EE. UU., esta únicamente cuenta con solo un repositorio de audios herpetológicos. Retomando el estudio de Dena et al. (2019) es muy probable que no se tengan representadas a todas sus especies en esas colecciones, ya que la mayoría de las grabaciones de anuros son de carácter privado ya que los herpetólogos de Brasil, mencionan que no creen que sea necesario depositarlos (Dena et al. 2019). El caso de Alemania es muy particular, a diferencia de Estados Unidos y Brasil, no es un país con alta biodiversidad de anfibios, ya que poseen alrededor de 21 especies, ninguna de ellas es endémica, dentro de las cuales solamente 15 son anuros. A pesar de no ser un país con una representación importante de este grupo de vertebrados, sobresale a nivel mundial con investigaciones de esta índole.

Por otra parte, en cuanto a las tendencias de las bibliotecas de sonidos, como se puede observar en la **Tabla 4** los países que cuentan con mayor número de grabaciones de anuros son FonoZoo en España y la Biblioteca de Sonidos de Macaulay en Estados Unidos. Sin embargo, España, al igual que Alemania, no es un país con una gran biodiversidad de anfibios, ya que posee alrededor de 38 especies de anfibios, con únicamente 28 de anuros. Es muy importante resaltar estos datos, ya que se esperaría que los países con una mayor diversidad de anfibios tuvieran repositorios mucho más extensos, únicamente por el hecho de tener más especies. Por ejemplo, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú, son los países que encabezan la lista de los más diversos en cuanto a batracios, sin embargo, ninguno de ellos encabeza la lista de los países con las mejores fonotecas; mientras que solo Brasil y Colombia, poseen colecciones de sonidos de la naturaleza, pero poco representativas en el caso de los cantos de ranas. Esta situación representa un problema, ya que, tanto en países con mayores publicaciones como en los países con las bibliotecas sonoras más extensas, se encuentran principalmente en países desarrollados. Por estos motivos, me parece que es importante formular proyectos e iniciativas para documentar mediante audios la gran diversidad de anuros de Centroamérica y Sudamérica.

En México, la bioacústica de anuros es una rama prácticamente nueva, como mencioné anteriormente no existía ninguna biblioteca de sonidos especializada en anuros en todo el país. La creación de la colección para el Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” es un hecho que abre las puertas a la investigación en esta área. Son muy pocos los trabajos realizados con bioacústica de anuros en nuestro país, entre ellos se encuentra la tesis de Figueroa Huitrón, (2015) la cual caracterizó los cantos de las especies de anuros presentes en Nahá Chiapas. Otro ejemplo es el trabajo de con *Eleutherodactylus grandis*, la rana endémica del pedregal de San Ángel, por Serrano (2016). Así como la tesis de licenciatura de Fuentes de la Rosa, (2019) realizado el

análisis de los patrones fenológicos asociados a los cantos de los anuros presentes en Nahá Chiapas.

El territorio mexicano cuenta con una enorme diversidad de anfibios, así como un gran nivel de endemismos, alrededor del 50% de las especies solo se encuentran en nuestro territorio. Poseemos alrededor de 243 especies de anuros, (Parra-Olea et al. 2014). Por lo que la biblioteca de cantos de anuros de nuestro país, requiere un trabajo sistemático a largo plazo para representar la mayor parte de nuestra riqueza de especies. Esta base de datos es muy necesaria para poder realizar trabajos de cualquier índole en bioacústica.

La fonoteca de anuros de México, proveerá más herramientas para la taxonomía de grupos difíciles, como es el caso de los complejos grupos con polimorfismo fenotípico (Streicher et al. 2014), como lo son los géneros *Craugastor*, *Eleutherodactylus*. También brindará ayuda con otros géneros con taxonomía históricamente problemática, como lo son *Quilticohyla*, *Ptychohyla* y *Smilisca*. Además de las especies de distribución simpátrica, ya que al integrar las características de los cantos a los estudios evolutivos como un carácter más, además de los caracteres genéticos y los aspectos morfológicos, los trabajos tendrían un mayor apoyo para discernir entre especies. En otros países, ya se utilizan las características intrínsecas de los cantos (tono, notas, frecuencias) como parte de los caracteres para determinar una especie, por lo que, utilizarlo con las especies mexicanas ayudaría a incrementar el conocimiento de la diversidad de especies presentes en nuestro país.

Otros trabajos que podremos realizar gracias a la biblioteca de sonidos son los de monitoreo de las poblaciones de anuros. Este monitoreo, es un trabajo muy redituable, ya que, con un correcto uso del equipo, por ejemplo, grabadoras estáticas, se pueden realizar trabajos durante mucho tiempo. La inversión inicial de este equipo se verá reflejada en la cantidad de trabajos que se pueden realizar a partir de esta. Así mismo, se podrán realizar trabajos en zonas donde el acceso a la comunidad es complicado, también para realizar estudios de los cambios de las comunidades de un sitio o estudios de la fenología de las especies mexicanas. Es una herramienta a largo plazo con un gran costo-beneficio.

Esta primera fonoteca de anuros en México será de acceso libre, lo cual es de suma importancia, cualquier persona, ya sea desde la comunidad científica o el público en general podrá tener acceso a la información. Está comprobado que el acceso libre de datos y artículos fomenta la ciencia ciudadana, la cual es la base de la conservación (Burgess, et al. 2017). La gran libertad de difusión se ve reflejada en la capacidad de llegar a otras plataformas no científicas, como lo son las redes sociales, como Twitter o Facebook, logrando un acercamiento real a las personas con la difusión y divulgación. En el ámbito científico, el mantener estos datos libres, fomenta a la investigación (McKiernan, et al. 2016). Al contrario de las colecciones privadas, en las cuales, inclusive el material recolectado es olvidado y no usado por nadie. Aún hace falta un gran trabajo de por medio, pero un futuro se podrán tener aplicaciones para los teléfonos celulares, como las que ya existen para aves por ejemplo *Merlin Bird Id*, o como la aplicación de sonidos de la

naturaleza *Pure Nature*, con la cual, además de crear una conciencia ambiental, se podrá acercar a las personas a la ciencia y la conservación de las especies de anuros de nuestro país, abriendo nuevas oportunidades como el turismo ecológico, como el que ya se realiza con la observación de aves.

Dentro del trabajo realizado durante el servicio social, el 11% de las grabaciones revisadas contenían cantos de anuros. Estas primeras 3415 grabaciones sólo son una pequeña muestra de los datos que ya se tienen colectados, además de los que se continúan generando. Por lo que es necesario, realizar mucho más trabajo básico de depuración y marcaje de estos cantos. La construcción de esta fonoteca es la base para realizar cualquier trabajo de bioacústica con las especies mexicanas. En un futuro, cuando la cantidad de cantos sea mayor, además de que se incluyan grabaciones realizadas con otros tipos de micrófonos, como los parabólicos, se podrá comenzar a trabajar en la creación de los algoritmos necesarios para poder realizar la identificación de especies de una forma más rápida. De acuerdo con el tipo de grabaciones que posee la biblioteca hasta ahora, se pueden realizar trabajos de fenología, por el número de grabaciones acumuladas de una comunidad en específico y los metadatos asociados a estas grabaciones, los cuales contienen información climática.

En este trabajo, se buscó visibilizar la importancia de poseer un repositorio de cantos de anuros, mostrando las tendencias de la investigación a nivel mundial, recalcando la necesidad de poseer un repositorio en México, debido a la gran cantidad de especies endémicas que poseemos, a su vez del elevado ritmo de la pérdida de la biodiversidad a la que nos enfrentamos actualmente y las pocas políticas que protegen a los anfibios mexicanos. La biblioteca de sonidos de anuros del Museo de Zoología Alfonso L. Herrera, permitirá un nuevo enfoque en los estudios de la herpetología en México, llenando el vacío en el área de la bioacústica de anuros que posee nuestro país.

Referencias

- American Museum of Natural History. (2019). *Amphibian Species Of The World*.
<http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/>
- Amézquita, A., Lima, A. P., Jehle, R., Castellanos, L., Ramos, Ó., Crawford, A. J., Gasser, H., & Hödl, W. (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. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2009.01324.x>
- Australian National Wildlife Collection. (2019). *Our Wildlife Sound Archive*. Our Archive of Wildlife Sound Recordings Is the Most Comprehensive Library of Its Kind in Australia and Is among the Largest in the World.
<https://www.csiro.au/en/Research/Collections/ANWC/About-ANWC/Our-wildlife-sound-archive>
- 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.

- Bazúa-Durán, C. (2004). APPENDIX: Recording and Archiving Animal Sound in México. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 76(2), 455–465.
- Biek, R., Funk, W. C., Maxell, B. A., & Mills, L. S. (2002). What is missing in amphibian decline research: insights from ecological sensitivity analysis. *Conservation Biology*, 16(3), 728–734.
- Bishop, P. J., Angulo, A., Lewis, J. ., Moore, R. ., Rabb, G. B., & Garcia-Moreno, J. (2012). The Amphibian Extinction Crisis - what will it take to put the action into the Amphibian Conservation Action Plan? S.A.P.I.EN.S [Online], August.
- Blake, W. (2017) *Mechanics of Flow-Induced Sound and Vibration: General Concepts and Elementary Sources*. India: Elsevier
- Blatt, R. J. R. (2001). Banking biological collections: Data warehousing, data mining, and data dilemmas in genomics and global health policy. *Community Genetics*, 3(4), 204–211. <https://doi.org/10.1159/000051140>
- Blumstein, D. T., Mennill, D. J., Clemins, P., Girod, L., Yao, K., Patricelli, G., Deppe, J. L., Krakauer, A. H., Clark, C., Cortopassi, K. A., Hanser, S. F., Mccowan, B., Ali, A. M., & Kirschel, A. N. G. (2011). Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: Applications, technological considerations and prospectus. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 758–767. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01993.x>
- Boelman, N. T., Asner, G. P., Hart, P. J., & Martin, R. E. (2007). Multi-trophic invasion resistance in Hawaii: Bioacoustics, field surveys, and airborne remote sensing. *Ecological Applications*, 17(8), 2137–2144. <https://doi.org/10.1890/07-0004.1>
- Boyd, S. K., & Emerson, S. B. (1999). Mating vocalizations of female frogs: Control and evolutionary mechanisms. *Brain Behavior and Evolution*, 53(4), 187–197.
- British Library. (2019). *British Library Sounds*. Environment & Nature. <https://sounds.bl.uk/>
- Britton, A. R. C. (2001). Review and classification of call types of juvenile crocodylians and factors affecting distress calls. In G. C. Grigg, F. Seebacher, & C. E. Franklin (Eds.), *Crocodylian biology and evolution* (pp. 364–377). Chipping Norton, England: Surrey Beatty & Sons.
- Bogert CM (1960) The influence of sound on the behavior of amphibians and reptiles. In: Lanyon WW, Tavalga WW (eds) *Animal sound and communication*. Lubrecht and Cramer Ltd., Port Jervis, pp 137–320
- Bosch, J. (2002). The functionality of female reciprocal calls in the Iberian midwife toad (*Alytes cisternasii*): Female-female acoustic competition? *Naturwissenschaften*, 89(12), 575–578. <https://doi.org/10.1007/s00114-002-0378-z>
- Bosch, J., & Márquez, R. (2005). Female preference intensities on different call characteristics and symmetry of preference above and below the mean in the Iberian midwife toad *Alytes cisternasii*. *Ethology*, 111(3), 323–333. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2004.01058.x>
- Boswall J and Couzens D. 1982. Fifty Years of Bird Sound Publication in North America: 1931-1981. *American Birds* 36: 924-943.
- Burgess, H. K., DeBey, L. B., Froehlich, H. E., Schmidt, N., Theobald, E. J., Ettinger, A. K., HilleRisLambers, J., Tewksbury, J., & Parrish, J. K. (2017). The science of citizen science: Exploring barriers to use as a primary research tool. *Biological Conservation*, 208, 113–120.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.014>

- Burivalova, Z., Towsey, M., Boucher, T., Trusking, A., Apelis, C., Roe, P., & Game, E. T. (2018). Using soundscapes to detect variable degrees of human influence on tropical forests in Papua New Guinea. *Conservation Biology*, 32(1), 205–215. <https://doi.org/10.1111/cobi.12968>
- Castellano, S., Tontini, L., Giacoma, C., Lattes, A., & Balletto, E. (2002). The evolution of release and advertisement calls in green toads (*Bufo viridis* complex). *Biological Journal of the Linnean Society*, 77(3), 379–391. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8312.2002.00118.x>
- Caycedo-Rosales, P. C., Ruiz-Muñoz, J. F., & Orozco-Alzate, M. (2016). Reconocimiento automatizado de señales bioacústicas: Una revisión de métodos y aplicaciones. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18), 171–195. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.9.18.10>
- Ceballos, G., García, A., & Ehrlich, P. R. (2010). The Sixth Extinction Crisis Loss of Animal Populations and Species. *Journal of Cosmology*, 8(November 2009), 1821–1831.
- Colafrancesco K. & Gridi-Papp M. (2016) *Vocal Sound Production and Acoustic Communication in Amphibians and Reptile* en Editores Suthers, R.; Fitch, W.T; Fay, R.R & Popper A. *Vertbrate Sound Production and Acoustic Communication (51_80)* Switzerland: Springer.
- Collins, J. P. (2010). Amphibian decline and extinction: what we know and what we need to learn. *Diseases of aquatic organisms*, 92(2-3), 93-99.
- Christensen-Dalsgaard, J. (2008). Amphibian Bioacoustics. In V. M. Havelock D., Kuwano S. (Ed.), *Handbook of Signal Processing in Acoustics* (pp. 1861–1885). https://doi.org/10.1007/978-0-387-30441-0_102
- Croft, R. B., & Ryan, M. J. (1995). Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs. *Animal Behaviour*, 49(2), 283–303. <https://doi.org/10.1006/anbe.1995.0043>
- de Oliveira, J., Gaiani, M., Velasquez, D., Savini, V., Ayala, J. M., Da Rosa, J. A., Vilela de Azeredo-Oliveira, M. T., & Chaboli Alevi, K. C. (2020). The importance of biological collections for public health: The case of the Triatominae collection of the Museum of the Institute of Agricultural Zoology “Francisco Fernández Yépez”, Venezuela. *Revista Chilena De Entomología*, 46(2), 357–375. <https://doi.org/10.35249/rche.46.2.20.24>
- Demarée, G. R. (2009). *Origins of the Word “Phenology.”* 90(34), 2009. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2009EO340004>
- Dena, S., Rebouças, R., Augusto-Alves, G., Zornosa-Torres, C., Pontes, M. R., & Toledo, L. F. (2019). How much are we losing in not depositing anuran sound recordings in scientific collections? *Bioacoustics*, 00(00), 1–12. <https://doi.org/10.1080/09524622.2019.1633567>
- Depraetere, M., Pavoine, S., Jiguet, F., Gasc, A., Duvail, S., & Sueur, J. (2012). Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland. *Ecological Indicators*, 13(1), 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.006>
- Duellman WE, Trueb L (1994) *Biology of Amphibians*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London
- Efron, A. (1965). *El mundo del sonido* (J. Jauregui (ed.)). Bell.
- Emmrich, M., Vences, M., Ernst, R., Köhler, J., Barej, M. F., Glaw, F., Jansen, M., & Rödel, M.-O.

- (2020). A guild classification system proposed for anuran advertisement calls. *Zoosystematics and Evolution*, 96(2), 515–525. <https://doi.org/10.3897/zse.96.38770>
- Feng, A. S., Narins, P. M., & Xu, C. H. (2002). Vocal acrobatics in a Chinese frog, *Amolops tormotus*. *Naturwissenschaften*, 89(8), 352–356. <https://doi.org/10.1007/s00114-002-0335-x>
- Figueroa Huitrón, R. (2015). *Monitoreo bioacústico de las poblaciones de anuros de la Reserva de la Biosfera Nahá, Chiapas, México* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2015/noviembre/0738377/Index.html>
- FonoZoo. (2019). *Estadísticas*. Búsqueda de Grabaciones. http://www.fonozoo.com/fnz_estadisticas.php
- Forti, L. R., Lingnau, R., Encarnação, L. C., Bertoluci, J., & Toledo, L. F. (2017). Can treefrog phylogeographical clades and species' phylogenetic topologies be recovered by bioacoustical analyses? *PLoS ONE*, 12(2), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169911>
- Frost, Darrel R. 2021. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.1 (Date of access). Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. doi.org/10.5531/db.vz.0001
- 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* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2019/septiembre/0795780/Index.html>
- Garner RL. 1892. *The Speech of Monkeys*. London: William Heinemann.
- Gaunt, S. L. L., Nelson, D. A., Dantzker, M. S., Budney, G. F., & Bradbury, J. W. (2005). New Directions for Bioacoustics Collections. *The Auk*, 122(3), 984–987. [https://doi.org/10.1642/0004-8038\(2005\)122\[0984:ndfbc\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1642/0004-8038(2005)122[0984:ndfbc]2.0.co;2)
- Gerhardt HC (1994) The evolution of vocalization in frogs and toads. *Annu Rev Syst* 25:293–324
- Gingras, B., Mohandesan, E., Boko, D., & Fitch, W. T. (2013). Phylogenetic signal in the acoustic parameters of the advertisement calls of four clades of anurans. *BMC Evolutionary Biology*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2148-13-134>
- Grafe, T. U. (1995). Graded Aggressive Calls in the African Painted Reed Frog *Hyperolius marmoratus* (Hyperoliidae). *Ethology*, 101(1), 67–81. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1995.tb00346.x>
- Han, N. C., Muniandy, S. V., & Dayou, J. (2011). Acoustic classification of Australian anurans based on hybrid spectral-entropy approach. *Applied Acoustics*, 72(9), 639–645. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.02.002>
- Heberling, J. M., & Isaac, B. L. (2017). Herbarium specimens as exaptations: New uses for old collections. *American Journal of Botany*, 104(7), 963–965. <https://doi.org/10.3732/ajb.1700125>
- Heinzmann, U. (1970). Untersuchungen zur Bio-Akustik und Ökologie der Geburtshelferkröte, *Alytes o. obstetricans* (Laur.). *Oecologia*, 5(1), 19–55. <https://doi.org/10.1007/BF00345974>
- Hibbitts, T. J., Whiting, M. J., & Stuart-Fox, D. M. (2007). Shouting the odds: Vocalization signals

- status in a lizard. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 61(8), 1169–1176.
<https://doi.org/10.1007/s00265-006-0330-x>
- Horn, A. G. & McGregor P.K.(2013). *Influence and information in communication networks* en Editor: Stegman, U. *Animal Communication Theory: information and influence* 43-60.University of Aberden: Cambridge University Press
- Houlahan, J. E., Findlay, C. S., Schmidt, B. R., Meyer, A. H., & Kuzmin, S. L. (2000). Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature*, 404(6779), 752-755.
- Instituto Alexander Von Humboldt. (2019). *Colección de Sonidos Ambientales*. Catalogador de Información Biológica-lavH. <http://i2d.humboldt.org.co/ceiba/resource.do?r=bancosonidos>
- Kasten, E. P., Gage, S. H., Fox, J., & Joo, W. (2012). The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: An archive for studying soundscape ecology. *Ecological Informatics*, 12, 50–67. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2012.08.001>
- Kreuzer, P., & Dreesmann, D. (2017). Museum behind the scenes—an inquiry-based learning unit with biological collections in the classroom. *Journal of Biological Education*, 51(3), 261–272. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1217906>
- Köhler, J., Jansen, M., Rodríguez, A., Kok, P. J. R., Toledo, L. F., Emmrich, M., Glaw, F., Haddad, C. F. B., Rödel, M. O., & Vences, M. (2017). The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. In *Zootaxa* (Vol. 4251, Issue 1). <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4251.1.1>
- Lane, M. A. (1996). Roles of Natural History. *Annals of the Missouri Botanical Garden Botanical Garden*, 83(4), 536–545.
- Lee, C. H., Chou, C. H., Han, C. C., & Huang, R. Z. (2006). Automatic recognition of animal vocalizations using averaged MFCC and linear discriminant analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(2), 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.07.004>
- Lewis, O. T. (2006). Climate change, species-area curves and the extinction crisis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1465), 163–171. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1712>
- Littlejohn MJ (1977) Long-range acoustic communication in anurans: an integrated and evolutionary approach. In: Tylor DH, Guttman SI (eds) *The reproductive biology of amphibians*. Plenum Press, New York, pp 263–294
- Llusia, D., Márquez, R., Beltrán, J. F., Benítez, M., & do Amaral, J. P. (2013). Calling behaviour under climate change: Geographical and seasonal variation of calling temperatures in ectotherms. *Global Change Biology*, 19(9), 2655–2674. <https://doi.org/10.1111/gcb.12267>
- Lozano, A., Farina, A., & Márquez, R. (2014). ACI (Acoustic Complexity Index): Nueva herramienta para el estudio del canto de anuros. *Quehacer Científico En Chiapas*, 9(2), 17–27. [http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2014-jul-dic/ACI\(Acoustic_Complexity_Index\).pdf](http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2014-jul-dic/ACI(Acoustic_Complexity_Index).pdf)
- Luque, A., Gómez-Bellido, J., Carrasco, A., & Barbancho, J. (2018). Optimal representation of anuran call spectrum in environmental monitoring systems using wireless sensor networks. *Sensors (Switzerland)*, 18(6). <https://doi.org/10.3390/s18061803>

- Mackenzie, A. E. E. (1963). *Sound* (University Cambridge Press (ed.); Second). The Syndics of The Cambridge University Press.
- Marquez, R., & Verrell, P. (1991). The courtship and mating of the Iberian midwife toad *Alytes cisternasii* (Amphibia: Anura: Discoglossidae). *Journal of Zoology*, 225(1), 125–139. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1991.tb03806.x>
- Marler, P. & H. Slabbekoorn. 2004. *Nature's music: the science of birdsong*, Italy. Elsevier Academic Press 1-38.
- McKiernan, E. C., Bourne, P. E., Brown, C. T., Buck, S., Kenall, A., Lin, J., McDougall, D., Nosek, B. A., Ram, K., Soderberg, C. K., Spies, J. R., Thaney, K., Updegrove, A., Woo, K. H., & Yarkoni, T. (2016). How open science helps researchers succeed. *ELife*, 5(JULY), 1–19. <https://doi.org/10.7554/eLife.16800>
- Meineke, E. K., Davies, T. J., Daru, B. H., & Davis, C. C. (2019). Biological collections for understanding biodiversity in the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1763). <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0386>
- Microsoft (2019). Access (Versión 16.0) Office 2019. Redmond Washington
- Microsoft (2019). Excel (Versión 19.0) Office 2019. Redmond Washington
- Monfils, A. K., Powers, K. E., Marshall, C. J., Martine, C. T., Smith, J. F., & Prather, L. A. (2017). Natural History Collections: Teaching about Biodiversity Across Time, Space, and Digital Platforms. *Southeastern Naturalist*, 16, 47–57. <https://doi.org/10.1656/058.016.0sp1008>
- Museu de Zoologia Adão José Cardoso. (2019). *Audiovisual collections*. Collections, about Us. <https://www2.ib.unicamp.br/fnjv/>
- Museum Für Naturkunde. (n.d.). *Tierstimmenarchivs*. About the Animal Sound Archive. Retrieved September 2, 2019, from <https://www.tierstimmenarchiv.de/>
- Museum of Biological Diversity Borror Laboratory of Bioacoustics. (2015). *The Borror Lab Archive*. Online Catalog. <https://blb.osu.edu/online-catalog>
- Noda, J. J., Travieso, C. M., & Sánchez-Rodríguez, D. (2016). Methodology for automatic bioacoustic classification of anurans based on feature fusion. *Expert Systems with Applications*, 50, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.12.020>
- Obrist, M. K., Pavan, G., Animale, B., & Pavia, U. (2010). Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. In D. V. J. Eymann, J. Degreef, C. Häuser, J.C. Monje, Y. Samyn (Ed.), *Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring*. (Issue February 2017, pp. 68–99). Abc Taxa.
- Ordoñez-Flores, S. (2019). *Patrones temporales en el paisaje acústico del Area de Protección de Flora y Fauna Nahá, Chiapas; México* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2019/agosto/0793686/Index.html>
- Parra-Olea, G., Flores-Villela, O., & Mendoza-Almeralla, C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 460–466. <https://doi.org/10.7550/rmb.32027>
- Pavan, B. G., & Pavia, U. (2008). Short field course on bioacoustics. *Bioacoustics The International*

Journal Of Animal Sound And Its Recording, September, 1–15.

- Pierce, A. (2019) *Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications*. Switzerland: Springer
- Pieretti, N., Farina, A., & Morri, D. (2011). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators, 11*(3), 868–873. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.11.005>
- Pyke, G. H., & Ehrlich, P. R. (2010). Biological collections and ecological/environmental research: A review, some observations and a look to the future. *Biological Reviews, 85*(2), 247–266. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2009.00098.x>
- Ragge DR, Reynolds WJ (1998) *The songs of grasshoppers and crickets of western Europe*. Harley Books, Colchester, 596 pp.
- Ranft R. (2001). Capturing and preserving the sounds of nature. In: Linehan A. (Ed), *Aural history: essays on recorded sound*. London: The British Library, p. 65-78.
- Ranft, R. (2004). Natural sound archives: Past, present and future. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias, 76*(2), 455–465.
- Robbirt, K. M., Davy, A. J., Hutchings, M. J., & Roberts, D. L. (2011). Validation of biological collections as a source of phenological data for use in climate change studies: A case study with the orchid *Ophrys sphegodes*. *Journal of Ecology, 99*(1), 235–241. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01727.x>
- Ryan, M. (2013) *The importance of integrative biology to sexual selection and communication* en Editor: Stegman, U. *Animal Communication Theory: information and influence* 233-256. University of Aberden: Cambridge University Press
- Shaffer, H. B., Fisher, R. N., & Davidson, C. (1998). The role of natural history collections in documenting species declines. *Trends in Ecology and Evolution, 13*(1), 27–30. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(97\)01177-4](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(97)01177-4)
- Schalk, C. M., & Saenz, D. (2016). Environmental drivers of anuran calling phenology in a seasonal Neotropical ecosystem. *Austral Ecology, 41*(1), 16–27. <https://doi.org/10.1111/aec.12281>
- Serrano, J. M. (2016). The advertisement call of the endemic frog from the Pedregal in Mexico City. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 87*(2), 535–539. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.03.003>
- Stelman, C. K., & Dorcas, M. E. (2010). Anuran Calling Survey Optimization: Developing and Testing Predictive Models of Anuran Calling Activity. *Journal of Herpetology, 44*(1), 61–68. <https://doi.org/10.1670/08-329.1>
- Streicher, J. W., García-Vázquez, U. O., Ponce-Campos, P., Flores-Villela, O., Campbell, J. A., & Smith, E. N. (2014). Evolutionary relationships amongst polymorphic direct-developing frogs in the *Craugastor rhodopis* Species group (Anura: Craugastoridae). *Systematics and Biodiversity, 12*(1), 1–22. <https://doi.org/10.1080/14772000.2014.882428>
- Suarez, A.V. & N.D. Tsutsui. (2004). The value of museum collections for research and society. *BioScience 54*(1):66-74.

- Sueur, J., Aubin, T., & Simonis, C. (2008). Equipment review: Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18(2), 213–226. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753600>
- Sugai, L. S. M., & Llusia, D. (2019). Bioacoustic time capsules: Using acoustic monitoring to document biodiversity. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.021>
- Sugai, L. S. M., Silva, T. S. F., Ribeiro, J. W., & Llusia, D. (2019). Terrestrial Passive Acoustic Monitoring: Review and Perspectives. *BioScience*, 69(1), 5–11. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy147>
- The Cornell Lab of Ornithology. (2019a). *Macaulay Library*. Audio Archives. <https://www.macaulaylibrary.org/>
- The Cornell Lab of Ornithology. (2019b). *Raven Pro 1.6*. Ithaca, New York.
- The Cornell Lab of Ornithology. (2020). Swift – Frequently Asked Questions. Center for Conservation Bioacoustics. <https://www.birds.cornell.edu/ccb/swift-frequently-asked-questions/>
- Toledo, L. F., Martins, I. A., Bruschi, D. P., Passos, M. A., Alexandre, C., & Haddad, C. F. B. (2015a). The anuran calling repertoire in the light of social context. *Acta Ethologica*, 18(2), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s10211-014-0194-4>
- Toledo, L. F., Tipp, C., & Márquez, R. (2015b). The value of audiovisual archives. *Science*, 347(6221), 484. <https://doi.org/10.1126/science.347.6221.484-b>
- Thompson NS, LeDoux K, Moody K (1994) A system for describing bird song units. *Bioacoustics* 5: 267–279. <https://doi.org/10.1080/09524622.1994.9753257>
- Todd, N. P. M. (2007). Estimated source intensity and active space of the American alligator (*Alligator Mississippiensis*) vocal display. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(5), 2906. <https://doi.org/10.1121/1.2785811>
- USGS. (2015). *North American Amphibian Monitoring Program*. NAAMP Protocol. https://www.usgs.gov/centers/pwrc/science/north-american-amphibian-monitoring-program?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Vilaça TRA, Silva JRS, Solé M (2011) *Vocalization and territorial behaviour of Phyllomedusa ordestina Caramaschi, 2006* (Anura:Hylidae) from southern Bahia, Brazil. *J Nat Hist* 45(29–30):1823–1834
- Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., Doucette, J., & Pekin, B. (2011). A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape Ecology*, 26(9), 1233–1246. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9636-9>
- Vitt, L. J., & Caldwell, J. P. (2014). *Amphibians and Reptiles Herpetology* (Elsevier (ed.); Fourth).
- Vollmar, A., Macklin, J. A., & Ford, L. (2010). Natural History Specimen Digitization: Challenges and Concerns. *Biodiversity Informatics*, 7(2), 93–112. <https://doi.org/10.17161/bi.v7i2.3992>
- Wells, K. D. (1977). The social behaviour of anuran amphibians. *Animal Behaviour*, 25(PART 3), 666–693. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(77\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0003-3472(77)90118-X)

- Wells, K.D. (2007). *The Ecology and Behaviour of Amphibians*, Primera ed.; University of Chicago Press: Chicago, 1162p.
- Wells KD, Greer BJ (1981) Vocal response to conspecific calls in a Neotropical hylid frog, *Hyla ebraccata*. *Copeia* 3:615–624
- Wells K.D., Schwartz J.J. (2007) The Behavioral Ecology of Anuran Communication. In: Narins P.M., Feng A.S., Fay R.R., Popper A.N. (eds) *Hearing and Sound Communication in Amphibians*. Springer Handbook of Auditory Research, vol 28. Springer, New York, NY .
https://doi.org/10.1007/978-0-387-47796-1_3
- While, G. M., & Uller, T. (2014). Quo vadis amphibia? Global warming and breeding phenology in frogs, toads and salamanders. *Ecography*, 37(10), 921–929.
<https://doi.org/10.1111/ecog.00521>
- Wildlife Acoustics. (2020). Song Meter SM4 Acoustic Recorder. Wildlife Acoustics.
<https://www.wildlifeacoustics.com/products/song-meter-sm4>
- Winker, K. (2004). Natural History Museums in a Postbiodiversity Era. *BioScience*, 54(5), 455–459.
[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054)
- Wogel, H., Abrunhosa, P. A., & Pombal, J. P. (2004). Vocalizations and aggressive behavior of *Phyllomedusa rohdei* (Anura: Hylidae). *Herpetological Review*, 35(3), 239–243.
- Yoo, E., & Jang, Y. (2012). Abiotic effects on calling phenology of three frog species in Korea. *Animal Cells and Systems*, 16(3), 260–267. <https://doi.org/10.1080/19768354.2011.625043>
- Young, B. A. (2003). Snake bioacoustics: Toward a richer understanding of the behavioral ecology of snakes. *Quarterly Review of Biology*, 78(3), 303–325. <https://doi.org/10.1086/377052>
- Zhao, Z., Xu, Z., Bellisario, K., Zeng, R., Li, N., Zhou, W., & Pijanowski, B. C. (2019). How well do acoustic indices measure biodiversity? Computational experiments to determine effect of sound unit shape, vocalization intensity, and frequency of vocalization occurrence on performance of acoustic indices. *Ecological Indicators*, 107(July), 105588.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105588>