

## 3.4 MONITOREO ACÚSTICO PASIVO (MAP)

**Martín Boullhesen<sup>1,2</sup> & Mauricio S. Akmentins<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA), CONICET — Universidad Nacional de Jujuy, CCT Salta-Jujuy, San Salvador de Jujuy, Argentina.*

<sup>2</sup> *Instituto de Investigaciones de Biodiversidad Argentina (PIDBA), Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.*

Los recientes avances en la tecnología de grabadores digitales automatizados (GDA), han permitido que el **Monitoreo Acústico Pasivo** (MAP) gane relevancia como metodología empleada en estudios a corto y largo plazo en ecosistemas terrestres. Sin embargo, continúa existiendo un sesgo en el uso de esta tecnología hacia el Hemisferio Norte<sup>(1)</sup>. El relevamiento de la riqueza de especies de anfibios anuros mediante MAP ha mostrado ser igual o más eficiente que otros métodos estandarizados<sup>(2,3,4)</sup>, pudiendo realizar relevamientos simultáneos en múltiples localidades, cubriendo así grandes extensiones geográficas<sup>(5)</sup>. El uso de MAP puede brindar valiosa información acerca de los patrones temporales de la reproducción en distintos grupos de anuros, desde la fenología acústica diaria y estacional de una sola especie hasta los patrones reproductivos de un ensamble de especies<sup>(6-10)</sup>. Además, puede ser implementado para evaluar distintas respuestas de las especies de anuros a las condiciones climáticas donde habitan<sup>(11)</sup>, lo cual ha cobrado gran relevancia para el estudio de los posibles efectos de la crisis climática global sobre las comunidades acústicas<sup>(12)</sup>.

Quizás uno de los usos más relevantes del MAP es en programas de búsqueda y monitoreo de especies de anuros amenazadas y/o con hábitos de vida crípticos<sup>(13-15)</sup>. El cual se vuelve mucho más efectivo mediante la incorporación de software de reconocimiento automatizado de cantos<sup>(16-20)</sup>.

Una cuestión para tener en cuenta es la enorme cantidad de datos que generan los GDAs, lo cual debe considerarse a la hora del diseño experimental, debido a que se debe contar con la suficiente capacidad de almacenamiento y de procesamiento de datos, más si esto último se realiza de forma manual.

### **Programación/Horarios de los Grabadores Digitales Automatizados**

Según Shirose y colaboradores<sup>(21)</sup> la mayoría de las especies de anuros se detectan durante los primeros 3 minutos de grabación. Esta pauta ha sido empleada posteriormente en estudios de ambientes terrestres utilizando grabadores digitales automatizados o GDAs<sup>(22-24)</sup>. Otros estudios emplearon tiempos de grabaciones más extensos (5 a 15 minutos) donde aumentaron la probabilidad de detección de especies de anuros<sup>(13,18,25)</sup>. En el caso de monitoreos de comunidades de anuros o para la detección de especies que vocalizan esporádicamente se puede emplear una programación de 3 minutos por hora, ya sea continuos o bien 1 minuto cada 19 minutos, obteniendo un total de 72 minutos/día. En caso de monitoreos a largo plazo o para relevar especies que son vocalmente muy activas, con cantos cortos y/o corto periodo de inter canto, se puede utilizar programas más cortos de 1 minuto por hora durante las 24 hs del día<sup>(6-9)</sup>, a fin de optimizar la probabilidad de

detección de las especies objetivo, el consumo de baterías y la capacidad de almacenamiento.

### Tasa de Muestreo (Sampling Rate) y Almacenamiento

La tasa de muestreo o sampling rate es la cantidad de muestras que registra el conversor análogo-digital (grabador) de una señal de sonido en un período de tiempo. La tasa de muestreo se mide en Hertz (Hz) y debe ser al menos el doble de la frecuencia fundamental del sonido que se va a registrar, esto se conoce como Frecuencia de Nyquist<sup>(26)</sup>. Es muy importante conocer el sistema de estudio donde se va a grabar (por ejemplo: frecuencia de cantos de las especies de anuros) para evitar sonidos fantasmas o Aliasing<sup>(26)</sup>. Dado que las frecuencias dominantes del canto de anuncio de las especies de anuros registradas en Argentina se encuentran por debajo de los 6000 Hz<sup>(27)</sup>, con una tasa de muestreo de hasta 16000 Hz se garantiza cubrir el rango de frecuencias de las especies a registrar en un ensamble de especies en caso de un monitoreo de diversidad. Por ejemplo, si *Rhinella arenarum* canta con una frecuencia dominante de 1250 Hz<sup>(28)</sup>, la tasa de muestreo debe ser de al menos 4000 Hz con el fin de abarcar la estructura completa de canto de la especie y evitar sonidos fantasmas. A tener en cuenta que, cuanto mayor sea la tasa de muestreo que se elija, mayor será la diversidad de sonidos ambientales que registrará la grabación. Pero a su vez, los archivos de sonido serán más pesados, ocupando un mayor espacio en la tarjeta de memoria. Los formatos de almacenamiento vienen incluidos en los GDAs y por lo general son: .WAC .WAV y .mp3 son los más frecuentes. Es preferible grabar en formato descomprimido (.WAV) con el fin de obtener así una mejor calidad de sonido<sup>(29)</sup>. La desventaja de este formato descomprimido es que los archivos de audio son más pesados.

### Cuantización

Es la digitalización de las señales de sonido en el conversor análogo-digital (grabador)<sup>(26)</sup>. La señal está codificada en bits. Cuantos más bits sean empleados para la codificación de la señal mejor calidad de sonido se obtendrá. Aconsejamos grabar en 24 bits. Tener en cuenta que, cuanto más resolución se desee obtener, más pesados serán los archivos de sonido generados.

### Filtros

Las grabaciones se pueden filtrar con el objetivo de eliminar sonidos no deseados. Muchos sistemas de grabación automáticos tienen incluidas opcio-

nes de filtrado. Se las pueden encontrar como: high band pass filter= filtra sonidos por debajo de los 200 Hz o 1000 Hz; low band pass filter= filtra sonidos por encima de los 10000 Hz. Además, los distintos programas que se utilizan para analizar las grabaciones tienen herramientas de filtrado (ver apartado **Programas**).

### **Ganancia de Decibeles**

Los decibeles (dB) son la unidad de medida de la amplitud de una señal de sonido. El investigador/a puede optar por amplificar las señales de sonido que registra el grabador, para aumentar la proporción señal ruido. Esto se puede hacer mediante la herramienta dB gain (ver en las opciones de configuración de cada una de las unidades de grabación).

### **Micrófonos**

El tipo de micrófono y cantidad de micrófonos incorporado al GDA dependerá del modelo y del objetivo del estudio. Se puede optar por micrófonos direccionales del tipo supercardioide en caso de necesitar obtener grabaciones de alta calidad o utilizar micrófonos multidireccionales que permiten obtener mayor diversidad de fuentes de sonido con una menor resolución.

Cuando dos micrófonos están disponibles en el sistema de grabación (pueden ser incorporados al GDA o externos) las grabaciones se pueden realizar en formato estéreo. Para el relevamiento de la diversidad de anuros, recomendamos el formato MONO, considerando orientar el micrófono hacia donde se encuentre el sitio reproductivo de las especies objetivo. Tener en cuenta que el formato estéreo duplica el tamaño del archivo de sonido.

### **Diseño Espacial**

La instalación de los grabadores digitales automatizados estará supeditado al objetivo del estudio. Sin embargo, es muy importante tener en cuenta algunos detalles antes de instalarlos. Hay que tener en cuenta el alcance efectivo de los micrófonos conectados o incluidos en el sistema, ya que en función de las características de los micrófonos se colocarán a la altura y distancia que maximicen la efectividad del registro sonoro. Otra variable a considerar es el tipo de ambiente y las especies objetivo. Se pueden colocar en grillas equidistantes (separadas entre sí por al menos la distancia efectiva de grabación de cada GDA), de manera aleatoria, o bien a lo largo de una transecta.

Los grabadores se pueden dejar instalados de manera permanente<sup>(5)</sup> o bien, cambiarlos de lugar a intervalos regulares de tiempo. Esto dependerá del objetivo del estudio, la duración de las baterías y la capacidad de almacenamiento de los GDAs utilizados. La mínima distancia entre grabadores debe ser de 250 m. Teniendo en cuenta que las señales de la mayoría de los anuros decaen a partir de los 250 m en un rango de entre 1 y 5 kHz<sup>(30)</sup>.

En caso de querer cubrir completamente la fenología vocalización de una especie o un ensamble de especies, es aconsejable dejar al menos un GDA fijo que cubra los 365 días del año. En caso de conocer las fechas aproximadas de inicio y fin de la temporada de actividad de los anfibios de una región (en particular en las regiones donde la época de lluvias está acotada a una época específica del año), se puede optar por comenzar las grabaciones con un mes de antelación y extenderlas hasta un mes después de la finalización a fin de asegurar obtener un registro completo de la actividad de vocalización de o las especies objetivo. Sugerimos que, con el fin de obtener un mínimo de información para un estudio de patrones de vocalización específico de anuros dejar instalados los GDAs durante al menos 30 días por sitio.

### Datos asociados

Por ser animales ectotermos, la temperatura es uno de los parámetros ambientales que más influye en la fisiología y el comportamiento de los anfibios<sup>(31)</sup>. Debido a que la mayoría de las especies vocalizan en un amplio rango de temperaturas, las características del canto pueden variar entre individuos<sup>(32)</sup>. Los caracteres temporales de las vocalizaciones, como ser la duración o la tasa de canto (número de cantos emitidos en un período de tiempo determinado), son los más afectados por la temperatura ambiente<sup>(33)</sup>. Es por ello que todo registro bioacústico debe estar complementado por el dato asociado de la temperatura del aire en caso de especies terrestres y/o arborícolas y de la temperatura del agua en caso de especies que vocalicen parcial o totalmente sumergidas<sup>(34)</sup>.

En caso de construir el GDA es aconsejable agregar un registrador automatizado (data logger) de la temperatura ambiente y en caso de adquirir modelos comerciales hay que tener en cuenta que algunos incluyen el registro asociado de temperatura ambiente a cada grabación (ver apartado **Grabadores Digitales Automatizados**). El registro de las variables asociadas debe ser a los mismos de tiempo al cual se haya programado el GDA para realizar los registros bioacústicos (**Figura 3.4.1**).



**Figura 3.4.1.** Descarga de datos de un registrador automatizado HOBO® MX2301 de temperatura y humedad ambiente acoplado a un grabador Wildlife Acoustics® Song Meter SM4 durante un estudio de los paisajes sonoros del Parque Nacional Calilegua. Foto: M. Boullhesen.

Dependiendo del tipo de estudio, se pueden registrar otros datos asociados de extrema utilidad a la hora del análisis de los registros bioacústicos obtenidos. Tales como el porcentaje de humedad relativa ambiente (RH%), ya que la mayoría de los registradores automáticos de variables ambientales incluyen las variables de temperatura y RH%. Los anuros que componen un ensamble acústico, responden de manera diferencial a las variables climáticas<sup>(35,36)</sup>. Por lo tanto, es aconsejable registrar todos los datos asociados que se puedan a la grabación. Entre los datos se incluyen: precipitación acumulada, presión barométrica, intensidad de luz (fotoperiodo - luz), velocidad del viento, entre otros.

En caso de no contar con un pluviómetro manual o automatizado para registrar la precipitación acumulada, una forma alternativa de detectar precipitaciones es desde las mismas grabaciones por el sonido de las gotas golpeando la cubierta del GDA o el micrófono. Cabe destacar que sólo la lluvia de moderada a fuerte puede ser detectada por este método<sup>(7)</sup>. La detección de lluvia puede hacerse en forma manual (registrando la presencia/ausencia de lluvia en las grabaciones) en caso de sets de datos bioacústicos acotados o bien utilizar herramientas informáticas de reconocimiento automatizado para el preprocesamiento de datos como el paquete *hardRain* del entorno R<sup>(37,38)</sup>.

### Protección de los GDAs y micrófonos

Debido a que los GDAs son instalados a la intemperie por largos periodos de tiempo, es necesario tomar recaudos para su protección y así garantizar su correcto funcionamiento. Los factores ambientales que pueden afectar a los GDAs y a los micrófonos pueden ser abióticos o bióticos y el nivel de amenaza dependerá del tipo de ambiente en donde equipos son colocados.

El factor ambiental abiótico que afecta en mayor medida a los equipos electrónicos es la humedad, tanto la humedad relativa ambiente como las precipitaciones (**Figura 3.4.2**). El otro factor abiótico a considerar es la temperatura ambiente y en lo particular las temperaturas elevadas producto de la insolación directa. La forma más sencilla de proteger a los GDAs es colocarles por encima una superficie que haga de cubierta para evitar que los equipos se percutan por el efecto de la insolación o la lluvia. En caso de contar con un GDA con micrófono externo unido por un cable, se puede colocar la unidad dentro de un compartimiento estanco, lo que también los protege de la humedad ambiental. En el caso de los micrófonos externos, siempre conviene protegerlos de la lluvia directa con algún tipo de cobertura, lo que secundariamente permite detectar la caída de lluvia en las grabaciones.

El principal factor biótico para tener en cuenta a la hora de instalar un GDA, sobre todo si es por largos periodos de tiempo, son los artrópodos. Las hor-



**Figura 3.4.2.** Grabador AudioMoth v1.1.0 utilizado para el monitoreo de *Ceratophrys ornata* en una charca temporaria, colocado dentro de una bolsa plástica hermética para protegerlo de la humedad. Foto: G. Agostini, proyecto Gigante de las Pampas (Facebook e Instagram: @gigantedelaspampas)

migas y/o termitas pueden destruir los cierres herméticos de goma que mantienen estancos a los GDAs. Para evitar esto, se recomienda instalar el GDA sobre una superficie por la cual no puedan trepar o realizar inspecciones frecuentes de los equipos a fin de detectar posibles daños. Aunque menos frecuente, los GDAs pueden ser dañados por aves o por mamíferos, esto ocurre principalmente en los micrófonos y en los cables. Las coberturas pueden proteger a las pantallas de viento de los micrófonos de la destrucción causada por animales (**Figura 3.4.3**).

Debido a que los GDAs se despliegan durante largos periodos de tiempo, el continuo hecho de abrirlos para la descarga de datos o el reemplazo de baterías hace que el sistema para mantener su interior estanco falle e ingrese humedad. Se debe evitar introducir en la unidad materiales hidrófilos como silicagel, si bien son útiles para mantener secos los sistemas electrónicos en condiciones de almacenamiento, estos pueden generar la entrada de una mayor cantidad de humedad en condiciones de campo.

### Grabadores Digitales Automatizados

Existen instructivos disponibles sobre los componentes necesarios e instrucciones de cómo construir un GDA (<sup>39-41</sup>, <https://www.instructables.com/>



**Figura 3.4.3.** Protección contra los factores ambientales abióticos y bióticos de un grabador Wildlife Acoustics© Song Meter SM2 utilizado para la búsqueda acústica pasiva de *Gastrotheca christiani*. Foto: M. Boullhesen.



ARUPi-A-Low-Cost-Automated-Recording-Unit-for-Soun/). Por otra parte, en los últimos años se han desarrollado una serie de GDAs comerciales de costos y características variables. En la **Tabla 3.4.1** se presenta una lista de grabadores disponibles con sus características.

### Programas

Con las grabaciones obtenidas es necesario utilizar un programa para poder escucharlas y para la visualización de los caracteres temporales y espectrales. Estos programas a su vez son necesarios para el análisis y toma de datos de los registros bioacústicos. La elección del programa dependerá del objetivo del estudio. A continuación se detallan una lista de los programas más utilizados:

*Adobe Audition / Cool Edit Pro:* Este programa se recomienda si se instaló un grabador automatizado para realizar un monitoreo a largo plazo y sólo se busca detectar la presencia/ausencia de determinada especie mediante sus cantos. Permite un manejo de una gran cantidad de archivos de sonido, visualizando rápidamente los espectrogramas y oscilogramas. A su vez, permite obtener fácilmente los datos de los parámetros temporales y espectrales de los sonidos registrados

Link: <https://www.adobe.com/la/products/audition/free-trial-download.html>

**Nota:** Programa pago con suscripción.

*Raven Pro:* Es un programa especialmente desarrollado para la descripción de cantos (sonido). Permite realizar mediciones precisas de los parámetros espectrales y temporales de los sonidos de interés. Sin embargo, también puede ser utilizado en grabaciones obtenidas a través del MAP. Algunas consideraciones para el uso del Raven en el MAP: que la proporción señal ruido del canto sea buena (mayor o igual al 30%), esto será determinante para los análisis de los caracteres espectrales. Las grabaciones tienen que ser lo más limpias posibles, sin ruido de fondo y cuando la especie esté vocalizando sola (en lo posible). Incluye una herramienta de detección automática de patrones de sonidos y herramientas de filtrado de sonidos no deseados (por ejemplo: ruido de fondo).

Link: <https://ravensoundsoftware.com>

**Nota:** Raven Pro Versión 1.6 actualmente se encuentra sin cargo para Argentina.

GDA	Costo en U\$D	Dimensiones (largo / alto / fondo)	Peso (en g)	Duración Baterías	Estanco	Control Remoto	Tasa de muestreo (kHz)	Micrófono	Datos Asociados	GPS	dB Gain	Software
AudioMoth v1.1.0	74	48x58x18 mm	80	25 a 30 días. Requiere 3 pilas alcalinas tipo AA	Opcional Audio-moth IPX7 Case por 40 USD	No	0 a 384	un micrófono incluido	No posee	No incluido	No incluye	AudioMoth
AudioMoth v1.2.0	84	48x58x18 mm	80	25 a 30 días. Requiere 3 pilas alcalinas tipo AA	Opcional Audio-moth IPX7 Case por 40 USD	No	0 a 384	un micrófono incluido	No posee	No incluido	No incluye	AudioMoth
SM4	850	218x186x78 mm	730	hasta 400 horas. con pilas alcalinas (14000 mAh a 1,5 V cada una). Hasta 250 horas con pilas de NiMH de baja auto-descarga (LSD) (9500 mAh a 1,2 V cada una)	Sí	No	0 a 96	dos micrófonos externos incluidos	Temperatura	No incluido	Sí	SongScope, Kaleidoscope

**Tabla 3.4.1.** Lista de grabadores disponibles con sus características.

SM4 mini	500	123x168x36 mm	290	Hasta 240 horas con 4 pilas AA (o hasta 1200 horas con 6 baterías de litio en un paquete opcional).	Sí	Sí (vía Bluetooth)	0 a 96	un micrófono externo	Temperatura	No incluido	Sí	SongScope, Kaleidoscope
SM/micro	249	101x74x28 mm	195	hasta 200 horas con 3 pilas (AA, Alcalinas) o pilas recargables.	Sí	Sí (vía Bluetooth)	8 a 96	un micrófono externo	No posee	No incluido	Sí	SongScope, Kaleidoscope
SOLO	133			5 días utilizando batería sólida USB. 40 días utilizando batería externa sólida de 12 V.	Sí	No	0 a 192	un micrófono externo	No posee	No incluido		

*SongScope*: Recomendado para analizar grabaciones en MAP prolongados. Permite una visualización rápida de los espectrogramas y es recomendado para el monitoreo de especies (presencia/ausencia de cantos).

Link: <https://wildlifeacoustics.com>

**Nota:** Este programa es sin cargo.

*Kaleidoscope*: Es un programa empleado para la detección automática de patrones de sonidos específicos. Recomendado para un MAP prolongado. En el Kaleidoscope se pueden analizar miles de grabaciones de una manera rápida, precisa y eficiente. Sus herramientas de “clusters” y “classifiers” permiten al usuario agrupar cantos de especies según sus parámetros espectrales. Asimismo, el programa permite agrupar distintas vocalizaciones de una sola especie utilizando algoritmos de machine learning.

Recomendamos su uso para la detección automática de cantos en programas de monitoreo a largo plazo. No es recomendable clasificar distintas vocalizaciones de especies (distintos sonidos de interés) a la vez. Tampoco es recomendable para emplear el programa en grabaciones con muchas vocalizaciones simultáneas, o con mucho ruido de fondo, como suelen ser los coros explosivos de anuros.

Link: <https://wildlifeacoustics.com>

**Nota:** Este programa tiene un costo de suscripción anual.

*Avisoft*: Recomendado para analizar grabaciones en MAP prolongados y para el análisis de parámetros espectrales y temporales de sonidos. Este programa le proporcionará al investigador/a una gran cantidad de herramientas para la detección de cantos, análisis de caracteres espectrales y monitoreo rápido de señales acústicas.

Link: <https://avisoft.com/>

**Nota:** Este programa tiene un costo de suscripción anual.

*ARBIMON*: Es una plataforma web desarrollada para analizar miles de grabaciones de manera intuitiva y rápida. Es recomendada para un MAP prolongado. Facilita el análisis de una gran cantidad de grabaciones, empleando algoritmos de machine learning. El usuario puede entrenar sonidos (regiones de interés en el espectro) de especies particulares y luego buscarlos automáticamente en todo un set de datos. El flujo de trabajo consiste en cuatro

pasos: 1) visualización, 2) validación de especies, 3) generación de modelos, y 4) aplicación de modelos (clasificación).

Link: <https://www.sieve-analytics.com/arbimon>

**Nota:** Este programa tiene un costo de suscripción anual.

*Entorno R:* El entorno de programación R, ofrece una serie de paquetes muy útiles para el análisis de sonidos y la detección automatizada de unidades de interés. Puede ser empleado en un MAP. Los paquetes en el entorno R no son recomendables para el reconocimiento automatizado de sonidos. Usualmente, se los emplea para el análisis de grabaciones individuales y generación de figuras (espectrogramas, poder espectral, ondas de sonido) utilizados en las publicaciones y presentaciones. Entre los más usados se pueden encontrar: *seewave*<sup>(41)</sup>, *monitoR*<sup>(43)</sup>, *tuneR*<sup>(44)</sup>, *warbleR*<sup>(45)</sup> y *Rraven*<sup>(46)</sup>.

Link: <https://cran.r-project.org/>

**Nota:** Esta plataforma no tiene costo de suscripción.

*Koe:* Es una plataforma virtual donde los usuarios pueden analizar las grabaciones. Recomendada para MAPs. Esta plataforma permite la visualización, segmentación, filtrado y exportado de unidades acústicas, y análisis de parámetros espectrales (sintaxis). Está enfocado para analizar las vocalizaciones de animales.

Link: <https://koe.io.ac.nz/>

**Nota:** Es un programa gratuito.

## Bibliografía

1. Sugai, L.S.M.; Silva, T.S.F.; Ribeiro J.W. Jr. & Llusia, D. 2019. Terrestrial passive acoustic monitoring: review and perspectives. *BioScience* 69:15-25.
2. Acevedo, M.A. & Villanueva-Rivera, L.J. 2006. From the field: Using automated digital recording systems as effective tools for the monitoring of birds and amphibians. *Wildlife Society Bulletin* 34: 211-214.
3. Madalozzo, B.; Santos, T.G.; Santos, M.B.; Both, C. & Cechin, S. 2017. Biodiversity assessment: selecting sampling techniques to access anuran diversity in grassland ecosystems. *Wildlife Research* 44: 78-91.
4. Boullhesen, M.; Vaira, M.; Barquez, R.M. & Akmentins, M.S. 2021. Evaluating the efficacy of visual encounter and automated acoustic survey methods in anuran assemblages of the Yungas Andean forests of Argentina. *Ecological Indicators* 127: 107750.
5. Aide, T.M.; Corrada-Bravo, C.; Campos-Cerqueira, M.; Milan, C.; Vega, G. & Alvarez, R. 2013. Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ* 1: 103.
6. Sanabria, E.A.; Quiroga, L.B. & Acosta, J.C. 2007. Actividad temporal de *Leptodactylus*

- mystacinus* (Anura: Leptodactylidae) en el departamento Valle Fértil, San Juan, Argentina. *Multequina* 16: 65-71.
7. Akmentins, M.; Pereyra, L.; Sanabria, E. & Vaira, M. 2015. Patterns of daily and seasonal calling activity of a direct developing frog of the subtropical Andean forests of Argentina. *Bioacoustics* 24: 89-99.
  8. Pereyra, L.C.; Akmentins, M.S.; Sanabria, E.A. & Vaira, M. 2016. Diurnal? Calling activity patterns reveal nocturnal habits in the aposematic toad *Melanophryniscus rubriventris*. *Canadian Journal of Zoology* 94: 497-503.
  9. Boullhesen, M.; Salica, M.J.; Pereyra, L. C. & Akmentins, M.S. 2019. Actividad vocal diaria y su relación con claves ambientales en un ensamble de anuros en las Yungas de Jujuy, Argentina. *Cuadernos de Herpetología* 33: 59-70.
  10. Ulloa, J.S.; Aubin, T.; Llusia, D.; Courtois, É.A.; Fouquet, A.; Gaucher, P. & Sueur, J. 2019. Explosive breeding in tropical anurans: environmental triggers, community composition and acoustic structure. *BMC Ecology* 19: 1-17.
  11. Ospina, O.E.; Villanueva-Rivera, L.J.; Corrada-Bravo, C.J. & Aide, T.M. 2013. Variable response of anuran calling activity to daily precipitation and temperature: implications for climate change. *Ecosphere* 4: 1-12.
  12. Krause, B. & Farina, A. 2016. Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity. *Biological Conservation* 195: 245-254.
  13. Williams, P.J.; Engbrecht, N.J.; Robb, J.R.; Terrell, V.C.K. & Lannoo, M.J. 2013. Surveying a threatened amphibian species through a narrow detection window. *Copeia* 2013: 552-56.
  14. Willacy, R.J.; Mahony, M. & Newell, D.A. 2015. If a frog calls in the forest: Bioacoustic monitoring reveals the breeding phenology of the endangered Richmond Range mountain frog (*Philoria richmondensis*). *Austral Ecology* 40: 625-633.
  15. Measey, G.J.; Stevenson, B.C.; Scott, T.; Altwegg, R. & Borchers, D.L. 2017. Counting chirps: Acoustic monitoring of cryptic frogs. *Journal of Applied Ecology* 54: 894-902.
  16. Waddle, J.H.; Thigpen, T.F. & Glorioso, B.M. 2009. Efficacy of automatic vocalization recognition software for anuran monitoring. *Herpetological Conservation and Biology* 4:384-388.
  17. Estrella, A.; Nicolalde, D.A. & Escobar, C. 2018. Detection range estimation of frog calls in Ecoacoustics long recordings. *Revista Pontificia Universidad Católica del Ecuador* 106: 157-178.
  18. Pérez-Granados, C.; Schuchmann, K.-L.; Ramoni-Perazzi, P. & Marques, M.I. 2020. Calling behaviour of *Elachistocleis matogrosso* (Anura, Microhylidae) is associated with habitat temperature and rainfall. *Bioacoustics* 29: 670-683.
  19. Terneux, A.E.; Nicolalde, D.; Nicolalde, D. & Merino-Viteri, A. 2019. Presence-absence estimation in audio recordings of tropical frog communities. *arXiv* 1901.02495.
  20. Emmett, C.; Hending, D.; Davis, D.; McCabe, G. & Bray, T.C. 2020. Hearing Ghosts: Acoustic survey protocol and vocalization characterization for lemur leaf frogs. *Herpetological Review* 51: 24-29.
  21. Shirose, L.J.; Bishop, C.A.; Green, D.M.; MacDonald, C.J.; Brooks, R.J. & Helferty, N.J. 1997. Validation tests of an amphibian call count survey technique in Ontario, Canada. *Herpetologica* 53: 312-320.
  22. 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: 2655-2674.
  23. Márquez, R.; Llusia, D. & Beltrán, J. F. 2014. Aplicación de la bioacústica al seguimiento de anfibios. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española* 25: 52-58.
  24. Plenderleith, T.L.; Stratford, D.; Lollback, G.W.; Chapple, D.G.; Reina, R.D. & Hero, J.M. 2018. Calling phenology of a diverse amphibian assemblage in response to meteorological conditions. *International Journal of Biometeorology* 62: 873-882.
  25. Sugai, L.S.M.; Desjonquères, C.; Silva, T.S.F. & Llusia, D. 2020. A roadmap for survey designs in terrestrial acoustic monitoring. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 6: 220-235.
  26. Angulo, A.; Rueda-Almonacid, J.V.; Rodríguez-Mahecha, J.V. & La Marca, E. 2006. Técnicas de Inventario y Monitoreo para los Anfibios de la Región Tropical Andina. Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo N° 2. Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá.

27. Stranek, R.; de Olmedo, E.V. & Carrizo, G.R. 1993. Catálogo de Voces de Anfibios Argentinos. Parte 1. Editorial L.O.L.A., Buenos Aires.
28. Salas, N.E.; Zavattieri, M.V.; Di Tadam, I.E.; Martino, A.L. & Bridarolli, M.E. 1998. Bioacustical and etho-ecological features in amphibian communities of southern Córdoba province (Argentina). *Cuadernos de Herpetología* 12: 37-46.
29. Steelman, C.K. & Dorcas, M.E. 2010. Anuran calling survey optimization: developing and testing predictive models of anuran calling activity. *Journal of Herpetology* 44: 61-68.
30. MacLaren, A.R., Crump, P.S., Royle, J.A., Forstner, M.R., 2018. Observer-free experimental evaluation of habitat and distance effects on the detection of anuran and bird vocalizations. *Ecology and Evolution* 8: 12991-13003.
31. Hillman, S.S. 2009. Ecological and Environmental Physiology of Amphibians. Oxford University Press, Oxford.
32. Dias, T.M.; Prado, C.P. & Bastos, R.P. 2017. Nightly calling patterns in a Neotropical gladiator frog. *Acta Ethologica* 20: 207-214.
33. Narins, P.M.; Feng, A.S.; Fay, R.R. & Popper, A.N. 2007. Hearing and Sound Communication in Amphibians. Springer, New York.
34. Köhler, J.; Jansen, M.; Rodríguez, A.; Kok, P.J.R.; Toledo, L.F.; Emmrich, M.; Glaw, F.; Haddad, C.; Liver Rödel, M. & Vences, M. 2017. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa* 4251: 1-124.
35. Saenz, D.; Fitzgerald, L.A.; Baum, K.A. & Conner, R.N. 2006. Abiotic correlates of anuran calling phenology: the importance of rain, temperature, and season. *Herpetological Monographs* 20: 64-82.
36. Wells, K.D. 2017. The Ecology and Behavior of Amphibians. University of Chicago Press, Chicago.
37. Metcalf, O.C.; Lees, A.C.; Barlow, J.; Marsden, S.J. & Devenish, C. 2020. hardRain: An R package for quick, automated rainfall detection in ecoacoustic datasets using a threshold-based approach. *Ecological Indicators* 109: 105793.
38. RStudio Team. 2015. RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio Inc, Boston, MA.
39. Peterson, C.R. & Dorcas, M.E. 1994. Automated data acquisition: 47-57. *Err*: Heyer, W.R.; McDiarmid, R.W.; Donnelly, M. & Hayek, L. (eds.). Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington D.C.
40. Barichivich, W.J. 2003. Appendix IV: Guidelines for building and operating remote field recorders: 87-96. *En*: Dodd Jr., C.K.(ed.). Monitoring Amphibians in Great Smoky Mountains National Park. U.S. Geological Survey Circular no. 1258. U.S. Geological Survey. Tallahassee.
41. Garrido Sanchis, A.; Bertolelli, L.; Hofer, A.M.; Alvarez, M.Y. & Munasinghe, K. 2020. The frogphone: a novel device for real-time frog call monitoring. *Methods in Ecology and Evolution* 11: 222-228
42. Sueur, J.; Aubin T. & Simonis, C. 2008. seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics* 18: 213-226.
43. Hafner, S. & Katz, J. 2018. monitoR: Acoustic template detection in R. R package version 1.0.7 <http://www.uvm.edu/rsenn/vtcfwru/R/?Page=monitoR/monitoR.htm>.
44. Ligges, U.; Krey, S.; Mersmann, O. & Schnackenberg, S. 2018. tuneR: Analysis of music and speech. <https://CRAN.R-project.org/package=tuneR>.
45. Araya-Salas, M. & Smith-Vidaurre, G. 2017. warbleR: an r package to streamline analysis of animal acoustic signals. *Methods in Ecology and Evolution* 8: 184-191.
46. Araya-Salas, M. 2017. Raven: connecting R and Raven bioacoustic software. R package version 1.0.2.