

## Aplicación de la bioacústica al seguimiento de anfibios

Rafael Márquez<sup>1</sup>, Diego Llusia<sup>1,2</sup> & Juan Francisco Beltrán<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fonoteca Zoológica, Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid. C.e.: rmarquez@mncn.csic.es

<sup>2</sup> Département Systématique et Evolution, Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR 7205 CNRS, París.

<sup>3</sup> Departamento de Zoología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla

**Fecha de aceptación:** 22 de noviembre de 2014.

**Key words:** acoustic monitoring, anurans, temperature, populations.

Por lo general, es mucho más difícil ver una rana o un sapo que escuchar su canto. Ello hace que su detección por medio de los sonidos que emiten sea a veces el sistema más eficaz para determinar su presencia o para realizar su seguimiento con fines científicos o de conservación (Márquez *et al.*, 2011).

Los esfuerzos por hacer más rigurosos los seguimientos acústicos de poblaciones animales se iniciaron con escuchas directas en el campo o con la ejecución de transectos acústicos (Zimmerman, 1994; Rödel & Ernst, 2004), en los que los naturalistas escuchaban e identificaban las especies fonadoras en puntos precisos a intervalos regulares o a lo largo de recorridos lineales.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías de grabación (i.e. equipos automáticos que pueden tomar registros por períodos prolongados de tiempo) comenzaron a realizarse algunos estudios poblacionales (e.g., Peterson & Dorcas, 1994; Bridges & Dorcas, 2000). Estos primeros equipos de grabación eran contruidos *ad hoc* por los investigadores mediante diversas técnicas: desde el uso de cintas de cassette (Peterson & Dorcas, 1994) a las primeras grabadoras digitales asociadas a temporizadores (Acevedo & Villanueva-Rivera, 2006; Cambron & Bowker, 2006). Hoy en día existen ya proveedores que ofrecen equipos comerciales de seguimiento acústico con diferentes grados de sofisticación (i.e. grabación controlada por temporizador o grabación activada mediante

detección de cantos; almacenamiento de registros o envío de las grabaciones por sistemas inalámbricos, etc.; Obrist *et al.*, 2010; Aide *et al.*, 2013). La salida al mercado de estos equipos automáticos ha dado lugar a una enorme proliferación de los seguimientos acústicos y, por todas partes del mundo, agencias de conservación y herpetólogos están acumulando actualmente grandes cantidades de información sobre la actividad acústica y reproductiva de las poblaciones de anuros.

Sin embargo, hasta la fecha, la documentación (informes, artículos científicos, etc.) publicada a partir de resultados obtenidos con estas nuevas metodologías es aún muy escasa. Probablemente, ello es debido a que, por un lado, se requiere de varios años de seguimiento para que los estudios a largo plazo vean la luz, y por otro, a que las herramientas informáticas adecuadas para el procesado de los registros (detectores automáticos de sonidos) no están todavía disponibles, lo que ralentiza enormemente la fase de análisis. Este último condicionante es el verdadero cuello de botella que dificulta convertir este importante esfuerzo de seguimiento en información útil para la conservación y el conocimiento de los anuros y otros animales que se comunican mediante señales acústicas.

En este artículo se exponen brevemente algunos de los resultados más relevantes obtenidos en diversos proyectos de seguimiento acús-

tico de anuros, que se han llevado a cabo en la Península Ibérica en los últimos años, así como los principales retos para la consolidación de esta técnica de seguimiento en el futuro.

### Seguimientos acústicos en la Península Ibérica

Desde 2006 se viene realizando, en distintas localidades de España y Portugal, el seguimiento de la actividad acústica de una decena de poblaciones de anuros, en el marco de los proyectos de investigación TEMPURA (2006-2008), ACOURA (2009-2011) y TATANKA (2012-2014), financiados por los Ministerios de Ciencia e Innovación y de Economía y Competitividad del Gobierno de España. El objetivo general de este seguimiento es conocer los patrones temporales de actividad de estas poblaciones y su relación con diversos factores ambientales (temperatura, humedad, ruido ambiente, etc.), de modo que podamos entender mejor cómo las alteraciones provocadas por las actividades humanas en el clima o en el entorno sonoro pueden condicionar la comunicación acústica de las especies de estudio, un aspecto fundamental de la biología reproductiva de muchas especies de anuros. Estos proyectos representan algunos de los primeros estudios a largo plazo en los que se han empleado sistemas acústicos automáticos en poblaciones de anuros, obteniendo secuencias temporales relativamente largas en un ámbito geográfico amplio. En la actualidad, el seguimiento continúa en la mayoría de las poblaciones, a fin de mejorar la interpretación de los datos obtenidos y de observar patrones a escalas temporales mayores.

Las poblaciones de estudio seleccionadas están situadas en los extremos térmicos de la dis-

tribución de las cinco especies peninsulares pertenecientes a los géneros *Alytes* e *Hyla* (Figura 1) o se encuentran en zonas de elevada contaminación acústica de origen antrópico, según los objetivos específicos de las investigaciones. El protocolo de muestreo durante el seguimiento acústico se basa en la grabación del ambiente sonoro de las zonas de estudio durante tres minutos cada hora, las 24 horas del día (72 min / día), a lo largo del período reproductivo de las especies estudiadas; un muestreo que se ha mostrado adecuado para el seguimiento acústico de poblaciones de anuros en zonas templadas (Shirose *et al.*, 1997). En los primeros años los equipos utilizados eran de diseño propio (Cambren & Bowker, 2006; Márquez *et al.*, 2008) debido a la ausencia de sistemas comerciales, hoy en día ya disponibles, lo que condicionaba, entre otros aspectos, el período de autonomía de los equipos (aproximadamente cuatro semanas, frente a las 10-12 semanas actuales para este protocolo de muestreo). La ingente cantidad de grabaciones obtenida durante el seguimiento ha requerido un esfuerzo notable de análisis mediante un procedimiento semiautomático (Llusia, 2013), ante las todavía importantes carencias de los programas de reconocimiento de señales acústicas. Pese a que apenas se ha procesado una pequeña parte de los datos obtenidos durante el desarrollo de estos proyectos, el análisis está arrojando ya resultados interesantes.

Mediante la regulación de los períodos de actividad, las especies de anuros pueden reducir su exposición a temperaturas extremas y, de esta manera, mantener la temperatura corporal próxima a valores óptimos durante la realización de funciones básicas, como la reproducción. Los resultados del seguimiento acústico muestran que, en las poblaciones situadas en los extremos cálidos de su distribución, los períodos reproductivos comenzaron, en general, más temprana-

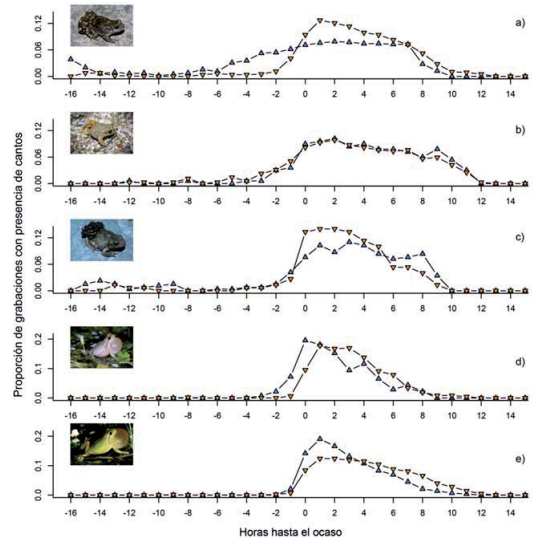


**Figura 1:** Localidades de estudio utilizadas en el seguimiento de la actividad acústica de cinco especies de anuros ibéricos (*Alytes obstetricans*, *Alytes cisternasii*, *Alytes dickhilleni*, *Hyla molleri* e *Hyla meridionalis*). Estas localidades se encuentran aproximadamente en los extremos térmicos (frío en azul y cálido en naranja) del área de distribución de estas especies en la Península Ibérica. Fotografías: Véase la sección de Agradecimientos.

no (2-12 semanas) y fueron más duraderos (7-112 días). Sin embargo, a pesar de que los ambientes térmicos de las poblaciones presentan notables diferencias entre sí, las especies mantuvieron patrones circadianos de actividad acústica muy similares. Como muestra la Figura 2, tras más de 1.500 días de seguimiento, no se encontraron diferencias geográficas en las horas de actividad de las especies de estudio. La hora de inicio de la actividad (1-2 horas antes de la puesta del sol) permaneció muy estable a lo largo del período reproductivo, mientras que, por el contrario, la duración de los coros fue muy variable (1-16 horas / noche). Estos patrones de actividad sugieren que las especies estuvieron expuestas a amplias fluctuaciones de temperatura durante su período reproductivo, lo que implicaría la presencia de otros mecanismos de adaptación térmica.

A través de una mirada más próxima a la relación entre la actividad acústica y las temperaturas ambientales, este seguimiento muestra que las especies mantuvieron su actividad acús-

tica en un amplio rango de temperaturas, superior a 15°C (Llusia *et al.*, 2013a). La temperatura a la que se registraron cantos de las especies de estudio fue distinta entre poblaciones (Figura 3) y entre años, tanto en las especies terrestres (*Alytes* spp.) como en las acuáticas (*Hyla* spp.), situándose entre los 8 y 22°C por debajo de la temperatura crítica máxima, y estando estrechamente asociada a la temperatura ambiental durante el período de reproducción. Esta variación intraespecífica en las temperaturas de canto podría implicar cierta plasticidad en los mecanismos de regulación térmica durante la actividad acústica, permitiendo a las especies hacer frente a ambientes cambiantes, como los derivados del efecto del actual cambio climático. Así,



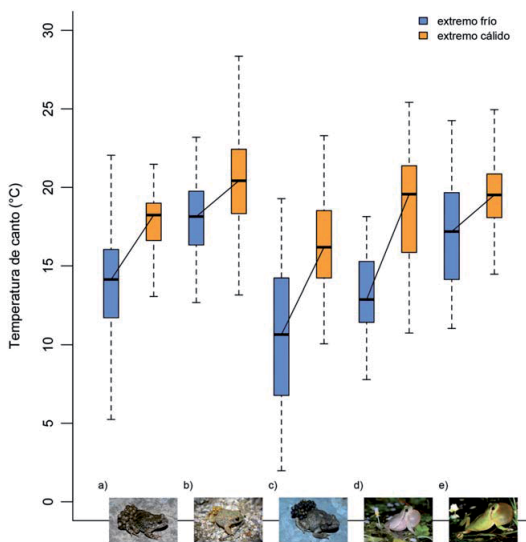
**Figura 2:** Variación geográfica del patrón diario de actividad acústica de cinco especies de anuros ibéricos: (a) *Alytes obstetricans*, (b) *Alytes cisternasii*, (c) *Alytes dickhilleni*, (d) *Hyla molleri* y (e) *Hyla meridionalis*. Los registros fueron obtenidos en poblaciones situadas en los extremos térmicos (frío en azul y cálido en naranja) del área de distribución de estas especies en la Península Ibérica, mediante grabaciones de 3 min/hora, 24 horas al día, durante un período reproductivo. El eje de abscisas representa el ciclo día-noche: ocaso (cero), día (valores negativos) y noche (valores positivos). Fotografías: Véase la sección de Agradecimientos.

los resultados sugieren que las tasas actuales de calentamiento global podrían no inhibir directamente el comportamiento de canto en estas especies, si bien se desconoce si pueden afectar a otros aspectos de la comunicación acústica dependientes de la temperatura, como las señales emitidas, su propagación o su recepción.

Además de la temperatura, existen otros factores que pueden condicionar la reproducción de las especies de anuros, ya sean climáticos (humedad relativa, presión atmosférica, etc.) o sociales (actividad de otros machos, tamaño de los coros, etc.), cuyo análisis puede ser abordado también mediante el seguimiento acústico de poblaciones. Los resultados del seguimiento de estas poblaciones indican que la formación de coros en las especies ibéricas del género *Hyla* y su duración diaria pueden no estar influenciadas por los mismos factores ambientales o sociales a lo largo de sus áreas de distribución (Llusia *et al.*, 2013b). Cuando las poblaciones están sujetas a condiciones climáticas diferenciadas, la toma de decisiones relacionada con la participación en los coros es determinada por distintos factores, lo que nos ayuda a desvelar algunas de las claves de este complejo fenómeno.

### Retos actuales y nuevas propuestas

La consolidación del seguimiento acústico como una técnica de muestreo solvente en ecología, biología de la conservación y otras disciplinas afines requiere en el futuro la superación de algunos retos importantes, aún no resueltos, que permitan un mayor rendimiento y versatilidad de estas técnicas. En este último apartado se detallan algunos de estos retos y las últimas propuestas para su superación, esbozando el camino que podría recorrer el seguimiento acústico en los próximos años.



**Figura 3:** Temperaturas de canto (i.e. temperaturas a las que las especies mostraron actividad acústica) de: (a) *Alytes obstetricans*, (b) *Alytes cisternasii*, (c) *Alytes dickhilleni*, (d) *Hyla molleri* y (e) *Hyla meridionalis*, en poblaciones situadas en los extremos térmicos (frío en azul y cálido en naranja) de su área de distribución en la Península Ibérica. Modificado de Llusia *et al.*, 2013a. Fotografías: Véase la sección de Agradecimientos.

1) Determinación del área de detección de los equipos de seguimiento. Una característica relevante del seguimiento acústico es la distancia a la que los equipos de grabación pueden detectar la actividad vocal de una especie determinada en un hábitat determinado. Calcular esta distancia y, por tanto, el área real de muestreo (área de detección) puede ser de gran utilidad para el diseño de los programas de seguimiento (e.g., número y posición de equipos a utilizar), así como para el análisis posterior de los datos (e.g., estimación de densidades poblacionales). La metodología para el cálculo de estas áreas ha sido desarrollada en detalle (Llusia *et al.*, 2011) y para su aplicación es necesario conocer la amplitud (nivel de presión sonora) de las vocalizaciones de las especies de estudio, dado que es muy variable entre especies y puede generar importantes diferencias en el área de

detección. Sin embargo, a día de hoy la información acerca de este parámetro sigue siendo muy escasa (i.e. sólo se conoce el nivel de presión sonora de varias decenas de especies de anuros, entre ellas algunas especies ibéricas del género *Alytes* e *Hyla*; Márquez *et al.*, 2005, 2006), lo que representa una importante limitación que puede restar precisión a estas estimaciones y, por tanto, al uso del seguimiento acústico.

2) Determinación de la posición espacial de las fuentes sonoras. El seguimiento acústico se basa en el registro del ambiente sonoro, es decir, el conjunto de sonidos producidos dentro del área de detección de los equipos de grabación, durante un período determinado. Dado que, en general, el área de detección puede llegar a ser muy amplio (p. ej., 0,007–0,068 km<sup>2</sup>, en algunas poblaciones de anuros ibéricos; Llusia *et al.*, 2011), el cálculo de la posición exacta de los individuos en el espacio incrementa la calidad de la información obtenida y permite establecer análisis a distintas escalas espaciales. Así, el uso combinado de equipos automáticos de grabación con otras técnicas de seguimiento pasivo, como sistemas de localización acústica (ALS; Borchers & Efford, 2008; Blumstein *et al.*, 2011), basados en múltiples canales de grabación, puede aumentar el potencial y la versatilidad de los estudios de seguimiento acústico en el futuro.

3) Reducción del coste de los equipos de grabación. El coste actual de estos equipos es todavía elevado, lo que condiciona de manera significativa el número de unidades instaladas en el campo y las posibilidades de aplicar distintos diseños de muestreo durante el seguimiento. Para resolver estas limitaciones se ha propuesto el uso de sistemas de bajo coste (LCRs; Farina *et al.*, 2014), que disponen de menos prestaciones, pero que permiten el uso de un gran número de equipos por unidad de área. De esta manera, se puede obtener infor-

mación a una escala espacial mucho menor, posibilitando nuevos análisis (e.g., distribución espacial, densidad poblacional, etc.).

4) Incremento de su fiabilidad y autonomía. A pesar de que ambos parámetros han sido mejorados muy notablemente en la última década con la aparición en el mercado de equipos comerciales de grabación automática, son todavía deseables algunos avances que permitan una reducción del consumo energético y fallos técnicos, así como un aumento de la calidad de los registros (e.g., mejor respuesta de frecuencia de los micrófonos). En los próximos años estarán disponibles nuevos sistemas, actualmente en desarrollo, dirigidos a incrementar sus prestaciones, lo que contribuirá probablemente a la consolidación de estas técnicas de seguimiento.

5) Disponibilidad de control remoto. Otro de los posibles cambios que podría experimentar el seguimiento acústico en un futuro cercano es el control de los equipos y el acceso a la información vía remota, como así ha ocurrido con otras técnicas de muestreo en ecología. Aunque aún son pocos los proyectos en marcha que utilizan acceso remoto, cabe citar el proyecto ARBIMON (Aide *et al.*, 2013), afincado en Puerto Rico, pionero en este campo y con una larga experiencia en el seguimiento acústico de anuros tropicales.

6) Automatización del análisis de los registros. Hoy en día el análisis de los registros es la parte más ineficiente del seguimiento acústico, la piedra de toque de estas nuevas metodologías. La enorme cantidad de horas de grabación obtenida durante el seguimiento requiere posteriormente lentos procesos de revisión con el objetivo de detectar e identificar las vocalizaciones de las especies de estudio a lo largo de las series temporales de grabación. La automatización de este proceso de análisis es por tanto el reto más importante y de mayor envergadura a

afrontar. Son numerosos los esfuerzos realizados en los últimos años para ofrecer herramientas de reconocimiento acústico automático, en su mayoría basadas en correlación de audio-espectrogramas, cadenas de Markov, entre otros métodos (e.g., Brandes *et al.*, 2006; Bardeli *et al.*, 2010). Sin embargo, los resultados están todavía lejos de lo esperado y no ofrecen una solución práctica para el análisis de los registros, debido fundamentalmente a la complejidad de las condiciones naturales en las que se desarrollan estos seguimientos. Una propuesta de consenso para superar las actuales limitaciones es la realización de un proceso semiautomático en tres pasos (Llusia *et al.*, 2013a). Innovadoras propuestas han sugerido también el análisis del paisaje sonoro en su conjunto mediante el cálculo de índices acústicos, que examinan la riqueza y disimilitud de las señales acústicas que estos paisajes contienen (índices acústicos de biodiversidad: H, D y AR; Sueur *et al.*, 2008; Depraetere *et al.*, 2012) o la variación en su amplitud a lo largo del tiempo (índice de complejidad acústica: ACI; Pieretti, 2011). Del éxito de estas y otras propuestas dependerá probablemente el alcance que pueda tener esta técnica en el futuro como herramienta para el estudio y la conservación de la biodiversidad.

### Un apunte final

Nadie discute que la conservación efectiva de las especies necesita estar fundamentada en información detallada sobre su biología reproductiva y la dinámica de sus poblaciones, pero conseguir esto no es una tarea fácil, o incluso puede ser particularmente difícil, en el caso de los anfibios, ya que una de las características de este grupo es que pueden presentar importantes fluctuaciones poblacionales, con variaciones interanuales muy notables en actividad repro-

ductora y reclutamiento, muy influenciadas por factores climáticos. Estas fluctuaciones naturales pueden ocultar tendencias a largo plazo y, por esta razón, no resulta fácil determinar en qué medida estos cambios que observamos se deben a “fenómenos naturales” o a escenarios de declive, relacionados o no con el cambio global.

En las páginas que preceden hemos querido compartir los avances logrados en estos años de seguimiento acústico de una docena de poblaciones de anuros ibéricos. Aunque se ha hecho un notable esfuerzo para analizar los datos recogidos, apenas se ha utilizado una quinta parte de los datos almacenados. Y éste es ahora mismo el “punto débil de la cadena” en el seguimiento acústico: el análisis e interpretación de los datos registrados. Con el desarrollo de nuevas técnicas automáticas de análisis y reconocimiento de señales cabe esperar que el prometedor futuro del seguimiento acústico se vaya consolidando y que esta metodología pase a ser una alternativa solvente con la que abordar algunas de las incógnitas que la conservación de poblaciones naturales nos plantea.

**AGRADECIMIENTOS:** Desde estas líneas queremos agradecer la colaboración en el seguimiento acústico de anuros de las siguientes personas e instituciones: M. Benítez, M. Chiroso, J.P. Sousa do Amaral, C. Moreira, R. Bowker, M. Cambron, X. Eekhout, y las Consejerías de Medio Ambiente de las Comunidades Autónomas de Andalucía, Asturias y Madrid. Los proyectos TEMPURA: (CGL2005-00092/BOS) y ACOURA (CGL2008-04814-C02) fueron financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Actualmente, continuamos los estudios de bioacústica de anuros con fondos del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España. (proyecto TATANKA, CGL2001/25062). Fotografías de I. Catalão (*Hyla meridionalis*, *Hyla molleri*), R.García-Roa (*Alytes cisternasii*), I. Martínez-Solano (*Alytes dickhilleni*) y D. Llusia (*Alytes obstetricans*).

## REFERENCIAS

- Acevedo, M.A. & Villanueva-Rivera, L.J. 2006. Using automated digital recording systems as effective tools for the monitoring of birds and amphibians. *Wildlife Society Bulletin*, 34: 211-214.
- 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: e103; doi 10.7717/peerj.103.
- Bardeli, R., Wolff, D., Kurth, F., Koch, M. & Frommolt, K.H. 2010. Detecting bird sounds in a complex acoustic environment and application to bioacoustic monitoring. *Pattern Recognition Letters*, 31: 1524-1534.
- Blumstein, D.T., Mennill, D.J., Clemins, P., Girod, L., 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: 758-767.
- Borchers, D.L. & Efford, M.G. 2008. Spatially explicit maximum likelihood methods for capture-recapture studies. *Biometrics*, 64: 377-385.
- Brandes, T.S., Naskrecki, P. & Figueroa, H.K. 2006. Using image processing to detect and classify narrow-band cricket and frog calls. *Journal of the Acoustical Society of America*, 120: 2950-2957.
- Bridges, A.S. & Dorcas, M.E. 2000. Temporal variation in anuran calling behavior: implications for surveys and Monitoring Programs. *Copeia*, 2000: 587-592.
- Cambron, M.E. & Bowker, R.G. 2006. An automated digital sound recording system: the Amphibulator. 592-600. In: Kellenberger, P. (ed.), *Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Multimedia*. IEEE Computer Society. San Diego.
- 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: 46-54.
- Farina, A., James, P., Bobryk, C., Pieretti, N., Lattanzi, E. & McWilliam, J. 2014. Low cost (audio) recording (LCR) for advancing soundscape ecology towards the conservation of sonic complexity and biodiversity in natural and urban landscapes. *Urban Ecosystems*, 1-22; doi:10.1007/s11252-014-0365-0.
- Llusia, D. 2013. *Comunicación acústica en anuros ibéricos. Influencia del clima, hábitat y ambiente sonoro*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.
- Llusia, D., Márquez, R. & Bowker, R.G. 2011. Terrestrial sound monitoring systems, a methodology for quantitative calibration. *Bioacoustics*, 20: 277-286.
- Llusia, D., Márquez, R., Beltrán, J.F., Benítez, M. & do Amaral, J.P. 2013a. Calling behaviour under climate change: geographic and seasonal variation of calling temperatures in ectotherms. *Global Change Biology*, 19: 2655-2674.
- Llusia, D., Márquez, R., Beltrán, J.F., Moreira, C. & do Amaral, J.P. 2013b. Environmental and social determinants of anuran lekking behavior: intraspecific variation in populations at thermal extremes. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 67: 493-511. doi: 10.1007/s00265-012-1469-2.
- Márquez, R., Moreira, C., Amaral, J.P., Pargana, J.M. & Crespo, E.G. 2005. Sound pressure level of advertisement calls of *Hyla meridionalis* and *Hyla arborea*. *Amphibia-Reptilia*, 26: 391-395.
- Márquez, R., Bosch, J. & Penna, M. 2006. Sound pressure level of advertisement calls of *Alytes cisternasi* and *Alytes obstetricans* (Anura, Discoglossidae). *Bioacoustics*, 16: 27-37.
- Márquez, R., Llusia, D., Beltrán, J.F., do Amaral, J.P. & Bowker, R.G. 2008. Anurans, the group of terrestrial vertebrates most vulnerable to climate change: a case study with acoustic monitoring in the Iberian Peninsula. *Bfñ Skripten*, 234: 43-52.
- Márquez, R., de la Riva, I., Gil, D., Sueur, J., Marques, P., Llusia, D., Eekhout, X., Pérez, M., González, L., Solís, G., Beltrán, J.F. & do Amaral, J.P. 2011. Los sonidos de los animales. Una firma de su identidad. *Quercus*, 299: 34-44.
- Obrist, M.K., Pavan, G., Sueur, J., Riede, K., Llusia, D. & Márquez, R. 2010. Bioacoustic approaches in biodiversity inventories. *Abc Taxa*, 8: 68-99.
- Peterson, C.R. & Dorcas, M.E. 1994. Automated data acquisition. 47-57. In: Heyer, W.R., Donnelly, M.A., McDiarmid, R.W., Hayek, L.C. & Foster, M.S. (eds.), *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution. Washington, D.C., USA.
- 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: 868-873.
- Rödel, M-O. & Ernst, R. 2004. Measuring and monitoring amphibian diversity in tropical forests. I. An evaluation of methods with recommendations for standardization. *Ecotropica*, 10: 1-14.
- 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.
- Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O. & Duvail, S. 2008. Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PLoS ONE*, 3: 1-9.
- Zimmerman, B.L. 1994. Audio strip transects. 92-97. In: Heyer, W.R., Donnelly, M.A., McDiarmid, R.W., Hayek, L.C. & Foster, M.S. (eds.), *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution. Washington, D.C., USA.