

Comparación de sistemas de detección ultrasónica para actividad relativa de murciélagos insectívoros

Antonio Santos-Moreno^{1*} y Cristian Kraker-Castañeda^{1,2}

Abstract

We compared three acoustic systems for monitoring ultrasound (UltraMic200K, Rome, Italy; Echo Meter EM3, Concord, USA; and Anabat™ SD2, Brisbane, Australia) in order to infer relative activity of insectivorous bats under similar conditions, which presumably could implicate bias, but is evidence of the difficulty of comparing data sets generated in the same area with different detectors. The detectors were placed together for five days in an oak forest ecotone in Santa Maria Tiltepec, municipality of San Pedro Topiltepec, Sierra Mixteca of Oaxaca, Mexico. For each device we obtained 15 hours of recordings. The Ultramic200k is the cheapest system, although the space required for storing the files is very superior to the other devices, and requires connection to an external energy source. The Echo Meter EM3 is a medium priced dispositive, with less memory demands, but recorded significantly fewer ultrasound files and required a full load of batteries per recording session. The Anabat™ SD2 has been more widely used, requires significantly less storage space than the other two devices, and operates with less energy; however, it is the most expensive of the detectors tested.

Key words: Anabat™ SD2, Echo Meter EM3, relative activity, UltraMic200k.

Resumen

Se compararon tres sistemas de detección de ultrasonido (UltraMic200K, Roma, Italia; Echo Meter EM3, Concord, EE.UU. y Anabat™ SD2, Brisbane, Australia), para inferir la actividad relativa de murciélagos insectívoros, como evidencia de la dificultad para comparar conjuntos de datos generados con distintos dispositivos en una misma área de estudio. Los detectores se colocaron bajo condiciones de muestreo estandarizadas durante cinco días en un ecotono de bosque de encino en Santa María Tiltepec, municipio de San Pedro Topiltepec, Sierra Mixteca de Oaxaca, México. Para cada dispositivo se obtuvieron 15 horas de grabaciones. El Ultramic200k es el sistema más económico, aunque el espacio requerido para el almacenamiento de los archivos es muy superior a los otros, y requiere una fuente de energía externa. El Echo Meter EM3 tiene un precio intermedio, los archivos de sonido que genera tienen

¹Laboratorio de Ecología Animal. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, 71230. E-mail: asantasm90@hotmail.com (AS-M).

²Departamento de Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Panamericana y Periférico Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México, 29290. E-mail: ckraker@ecosur.edu.mx (CK-C).

*Corresponding author

menor demanda de memoria, sin embargo registra un número significativamente menor de archivos de ultrasonido, y requiere una carga completa de baterías por sesión de grabación. El Anabat™ SD2 ha sido más ampliamente utilizado, requiere menor espacio de almacenamiento y energía que los otros dos dispositivos, pero es el más caro de los detectores analizados en este estudio.

Palabras clave: actividad relativa, Anabat™ SD2, Echo Meter EM3, UltraMic200k.

Introducción

Los murciélagos utilizan la emisión de señales ultrasónicas en un amplio intervalo de frecuencias (desde los 10 a los 200 kHz; Fenton 2002), principalmente para obtener información de los objetos reflejados por el eco, comportamiento conocido como ecolocalización (Schnitzler y Kalko 2001). Actualmente existen detectores y micrófonos ultrasónicos para el estudio de los murciélagos (Pech-Canche *et al.* 2010). Estos dispositivos incorporan distintos mecanismos para transformar los ultrasonidos en frecuencias audibles para el humano (hasta aproximadamente 20 kHz; Fenton 2002) y para extraer el contenido espectral de los mismos (Parsons *et al.* 2000), lo que permite entre otras cosas, la distinción de especies y el estudio de patrones de actividad (Adams *et al.* 2012).

Debido a que los murciélagos individuales no pueden ser contados con métodos acústicos, su actividad relativa puede ser cuantificada a través del número de pases por un intervalo de tiempo estandarizado (Fenton 1970; Miller 2001). Este método permite estimar la intensidad de la actividad en un punto de muestreo más que la abundancia, aunque ambas variables están correlacionadas (Wickramasinghe *et al.* 2003). Las herramientas de detección acústica han variado con el tiempo, de manera que en la actualidad se tienen modelos básicos con diferentes capacidades y limitantes técnicas (Limpens y McCracken 2000; Parsons *et al.* 2000; Adams *et al.* 2012), por lo que es importante estimar la variación en el rendimiento de los sistemas de grabación y su impacto en los resultados de detección (Adams *et al.* 2012).

Como resultado de algunas valoraciones hechas en el monitoreo de quirópteros, se considera que deben reunir características tales como eficiencia en el equipamiento (cantidad y calidad) y recursos financieros (Danielsen *et al.* 2000), que permitan la obtención de información ecológica y biológica adecuada. Además, se debe considerar que la información recopilada responda a necesidades específicas del grupo en estudio, haciendo necesaria una evaluación de las opciones de equipo disponibles en el mercado.

En México, los estudios de ecolocalización que se han efectuado en años recientes muestran la gran cantidad de opciones de equipo disponibles en el mercado y estas herramientas están ocupando un papel preponderante en evaluaciones ecológicas (e. g. efecto de la urbanización, fragmentación y transformación de hábitats; Estrada *et al.* 2003; Avila-Flores y Fenton 2005; MacSwiney *et al.* 2009; Williams-Guillén y Perfecto 2011). Recientemente en el monitoreo para proyectos de alto impacto como parques eólicos, para los cuáles no se cuenta con protocolos estandarizados. Con base en la actividad relativa de murciélagos insectívoros se comparó el resultado de tres detectores con distinto tipo de muestreo del ultrasonido (Ultramic200k, Roma, Italia; Echo Meter EM3, Concord, EE.UU.; y Anabat™ SD2, Brisbane, Australia), con la finalidad

de evidenciar la dificultad para comparar conjuntos de datos en una misma área de estudio, valorar la efectividad y accesibilidad de estos dispositivos en los programas de monitoreo de murciélagos.

Material y Métodos

El sitio de grabación se encuentra en un pequeño cerro inmerso en el pueblo de Santa María Tiltepec (17.465278° N, -97.355556° W, altitud 2,080 m), en el municipio de San Pedro Topiltepec, Sierra Mixteca de Oaxaca, México. El muestreo acústico se realizó durante cinco noches consecutivas en octubre de 2012, por un periodo de tres horas, en un ambiente transicional de cultivos de maíz y bosque de encino. Se utilizó un sistema Echo Meter Active Ultrasonic Bat Detector/Recorder (EM3), el cuál utiliza la tecnología de grabación “full spectrum” de 16-bit y graba los archivos en un tarjeta SDHC incorporada, un UltraMic200K (UltraMic) con tasa de muestreo de 200 kHz/s y resolución de 16-bit que solamente graba los archivos en dispositivos externos (en este caso una tableta digital marca Acer), y un AnaBat™ SD2 (Anabat) con tecnología de cero-cruzamiento o “zero-crossing” que graba los archivos en un “Compact Flash” incorporado.

Los detectores se colocaron en una mesa a un metro sobre el nivel del suelo, con una distancia aproximada de 10 cm entre cada uno, y una orientación de 45° S, pues se sabe que estas variables tienen un efecto directo en la cantidad y calidad de las grabaciones (Weller y Zabel 2002; Adams *et al.* 2012). Los dispositivos se programaron de la siguiente forma: 1) para el EM3 con los parámetros de fabricación (“default parameters”) y duración de bloques de un min, generando archivos en formato *.wac, 2) para el UltraMic en opción de archivos múltiples y duración de un min., que genera archivos en formato *.wav y 3) para el Anabat con división de frecuencia de ocho y sensibilidad de siete, que genera archivos en formato nativo de Anabat.

Las grabaciones obtenidas en campo se revisaron e identificó la presencia de dos o más pulsos sucesivos, definiéndose como secuencias de llamados de ecolocalización (Williams-Guillén y Perfecto 2011), para el posterior reconocimiento general de especies o grupos basados en intervalos de frecuencia (de baja o alta frecuencia, fijando como límite arbitrario 40 kHz). Para la visualización de los espectrogramas se utilizaron los programas acústicos Song Scope 4.1.3A, SeaWave Sound Emission Analyzer Wave 2.0 y AnalookW ver. 3.8s.

Para describir la tasa de detección de cada dispositivo se utilizó el índice de actividad relativa (AI), que considera la presencia/ausencia de llamados en intervalos de un minuto (Miller 2001). Además se comparó el número promedio de bloques de un minuto con evidencia de actividad de murciélagos registrados por sesión de muestreo entre dispositivos por medio de un análisis de varianza (ANDEVA), previamente establecida la normalidad en la distribución de los datos, y cuando éste mostró diferencias significativas, se aplicó la prueba comparativa múltiple de Tukey-Kramer.

Resultados

Se obtuvieron en total 45 horas de grabación, 15 h por cada detector ultrasónico. Durante el monitoreo acústico, se registró el mayor número de archivos con el detector Anabat, seguido en igual número de archivos por los detectores EM3 y UltraMic (Tabla

1). Los valores obtenidos del índice de actividad relativa (AI) fueron distintos entre los dispositivos, destacando el número de secuencias registradas con el detector UltraMic, seguido de Anabat y EM3, respectivamente (Tabla 1).

	EM3	UltraMic	Anabat
No. de archivos	900	900	3243
AI	151.8	177.4	164.8
s	12.9	3.1	10.4

Tabla 1. Datos generados con los sistemas de detección ultrasónica en Santa María Tiltepec, Oaxaca. Se presenta el número de archivos explorados, índice de actividad relativa (AI) y su desviación estándar (s).

El análisis estadístico efectuado con los datos de secuencias de ecolocalización con los tres dispositivos señalan diferencias estadísticamente significativas en el registro de llamados ($F = 8.168$, $GL = 2$, $P = 0.0048$), y con base a la prueba de Tukey-Kramer se reconoció la diferencia en el promedio de actividad relativa registrada entre el EM3 y el UltraMic ($q = 5.871$, $P < 0.05$). En este caso el EM3 grabó un número promedio menor de bloques con evidencia de ecolocalización. En la Figura 1 se presentan los valores promedio por sistema de detección junto con sus intervalos de confianza del 95%.

Los archivos generados con el UltraMic en bloques de un minuto tuvieron un tamaño de 22.9 MB, y el promedio por sesión de grabación de tres horas fue de 3.9 GB. Con el detector EM3, los archivos obtenidos variaron de tamaño entre 366 KB a 9,860 KB por min, y el promedio por sesión fue de 384.8 MB; mientras que con el detector Anabat las grabaciones oscilaron entre 1 Kb y 22 Kb, y el promedio por sesión fue de 5.5 MB.

En cuanto a la identidad de las especies grabadas, con base a una muestra de los archivos generados con el Anabat, se identificó a *Lasiurus cinereus* ($n = 20$, frecuencia máxima = 25.2 ± 1.2 y frecuencia mínima = 22.4 ± 0.4), especie previamente capturada en el área. Así mismo se reconocieron sonotipos del género *Myotis* (pulsos de frecuencia modulada, de banda ancha, por arriba de 40 kHz).

Discusión

La funcionalidad de los distintos sistemas de detección acústica empleados en el estudio de murciélagos, puede estar influenciada por factores climáticos, físicos, estructurales y ensamble de especies (Adams *et al.* 2012); en esta ocasión se pudo determinar que bajo condiciones similares de muestreo en tiempos simultáneos, la respuesta de cada equipo es diferente, observándose ciertas limitantes en la detección.

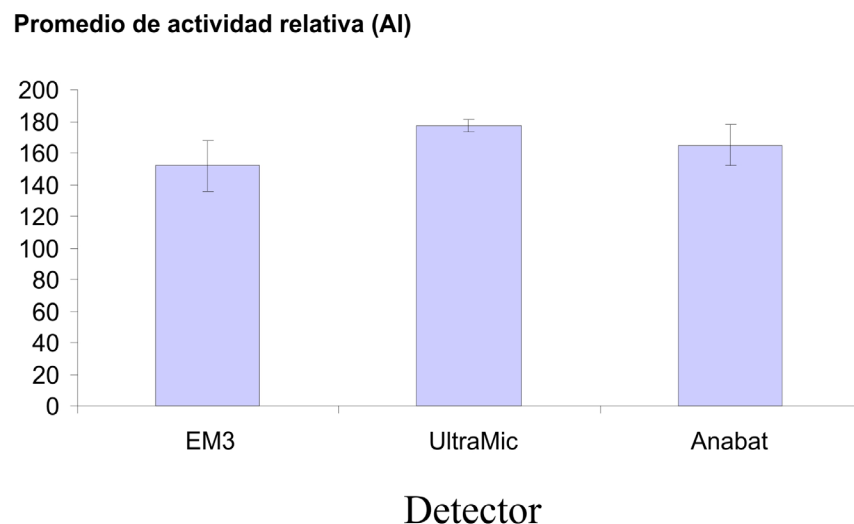
En este estudio los resultados obtenidos con el EM3 mostraron un promedio significativamente menor de detecciones de ultrasonido de murciélagos. Al utilizar simultáneamente este dispositivo con otros detectores (*i.e.* Anabat) se pudo comprobar que pasan desapercibidos algunos pulsos de ecolocalización; por otro lado el consumo de energía del EM3 es un factor a tomar en consideración, especialmente en estudios intensivos de largo plazo, ya que requiere de una gran cantidad de energía, y durante este monitoreo fue requerido un juego completo de baterías por sesión de grabación (3 h), lo que es una desventaja, ya que eleva los costos empleados en el monitoreo, el cuál se trata sea lo más eficiente posible (tiempo y costo, Wildlife Acoustics; Danielsen *et al.* 2000).

El micrófono UltraMic percibió el mayor promedio de archivos con evidencia de secuencias de ultrasonido. La duración de las sesiones con este dispositivo depende de la energía de la fuente externa a la cual está conectada, siendo una limitante. No

es conveniente su uso en monitoreos pasivos, sin embargo, debido a su portabilidad este puede ser de utilidad en monitoreos activos utilizando un equipo digital ligero. Este micrófono es útil para el registro de datos en estudios enfocados a la evaluación ecológica de ensamblajes de especies de murciélagos insectívoros, y tiene la ventaja de bajo costo y la posibilidad de observar las detecciones en tiempo real con un dispositivo adecuado.

De los tres detectores comparados, el Anabat, aunque es el más costoso (Titley Scientific), es el que ha sido más ampliamente utilizado (e.g. O'Farrell y Miller 1997; O'Farrell *et al.* 1999; O'Farrell y Miller 1999; Ochoa *et al.* 2000; Miller 2003; García-García *et al.* 2010). Esto ha permitido mejorar muchas de sus características; es efectivo en la captación de la actividad relativa de los murciélagos insectívoros, sin embargo presenta limitantes para la caracterización de especies debido a su respuesta más eficiente a los pulsos más intensos. De acuerdo con Adams *et al.* (2012), el sistema Anabat SD2 detecta un número menor de señales al ser puesto a prueba junto con otros dispositivos (Avisoft UltrasoundGate 116 CM16/COMPA, Batrecorder 2.0, Batlogger y Song Meter SM2BAT); para dicho estudio se consideró la emisión de sonidos artificiales a cuatro frecuencias (25, 55, 85 y 115 kHz), intervalos de 5 ms, y distintos ángulos entre la fuente y los detectores (0°, 45° y 90°). A pesar de esto en EE.UU. y recientemente en México, este sistema ha tenido un uso relativamente intensivo, y en la región se han generado una importante cantidad de bibliotecas acústicas (e.g., O'Farrell y Miller 1997; 1999; O'Farrell *et al.* 1999; Ochoa *et al.* 2000; Miller 2003; García-García *et al.* 2010), lo que permite la identificación cualitativa de las especies por comparación directa con ellas (O'Farrell *et al.* 1999).

Figura 1. Promedio de actividad relativa de murciélagos insectívoros registrada con tres sistemas de detección ultrasónica en Santa María Tiltepec, Oaxaca. Las líneas verticales corresponden a los intervalos de confianza de 95% para la media



Es necesario tomar en cuenta que la probabilidad de detectar los llamados de ecolocalización de los murciélagos es afectada por la intensidad de la señal, así como la direccionalidad y respuesta a las distintas frecuencias. Por ejemplo, la respuesta a las frecuencias bajas de alta intensidad y las frecuencias altas de baja intensidad varía entre

dispositivos; la detección aparentemente es más afectada por la frecuencia que domina la señal y la distancia a la fuente emisora (Adams *et al.* 2012). En nuestro caso solamente se evaluó la actividad relativa de murciélagos, pero sí dentro de los objetivos del estudio se encuentra la identificación de las especies, el problema es aún más complejo y la elección del detector debe considerar esta necesidad, así como el efecto de la variación en las condiciones climáticas como la humedad, la temperatura, y velocidad del viento en la calidad y cantidad de datos que se generan con distintos dispositivos de detección.

La capacidad para detectar los llamados de ecolocalización de los murciélagos está influenciada por la selección adecuada de los detectores y características del tipo de micrófono, direccionalidad, tasa de re muestreo y la tecnología de registro (Adams *et al.* 2012). Actualmente se fabrican distintos sistemas de detección de ultrasonidos, muchos de ellos accesibles y que pueden ser considerados para el monitoreo de murciélagos. Es necesario valorar sus características y asegurarse que provean la información necesaria para evaluar en forma adecuada el estado de conservación de las especies que pasan desapercibidas por los métodos convencionales de captura.

Así mismo, es importante considerar las características del software para visualización y análisis asociado a cada dispositivo, aunque en la actualidad los formatos de audio que se utilizan son compatibles con varios de los paquetes disponibles. Para decidir qué sistema de detección ultrasónica adquirir es necesario tomar en cuenta la finalidad del estudio, así como tomar en cuenta el balance entre costos, capacidades y limitaciones.

Agradecimientos

El Instituto Politécnico Nacional de México proporcionó el apoyo económico para la realización del proyecto (proyectos SIP-20110395 y SIP-20120962). Agradecemos especialmente la amable invitación de P. Cortés-Calva para participar en este número especial, así como sus sugerencias y correcciones de los revisores anónimos que permitieron mejorar significativamente este manuscrito. R. Barragán Lara, G. Antonio Castellanos, M. Á. García García y C. Benítez Díaz brindaron una invaluable ayuda en el trabajo de campo.

Literatura citada

- ADAMS, A. M., M. K. JANTZEN, R. M. HAMILTON, Y M. B. FENTON. 2012. Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution* 3:992-998
- AVILA-FLORES, R., Y B. FENTON. 2005. Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of Mammalogy* 86:1193-1204.
- DANIELSEN, F., D. S. BALETE, M. O. K. POULSEN, M. ENGHOF, C. M. NOZAWA, Y A. E. JENSEN. 2000. A simple system for monitoring biodiversity in protected areas of a developing country. *Biodiversity and Conservation* 9:1671-1705.
- ESTRADA, A., C. JIMÉNEZ, A. RIVERA, Y E. FUENTES. 2003. General bat activity measured with an ultrasound detector in a fragmented landscape in Los Tuxtlas, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation* 27:1-9.
- FENTON, M. B. 1970. A technique for monitoring bat activity with results obtained from different environments in southern Ontario. *Canadian Journal of Zoology* 48:847-851.

- FENTON, M. B.** 2002. Bat natural history and echolocation. Pp. 2-6 in *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis* (Brigham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. J. G. A. Limpens, eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.
- FLAQUER, C., I. TORRE, Y A. ARRIZABALAGA.** 2007. Comparison of sampling methods for inventory of bat communities. *Journal of Mammalogy* 88:526–533.
- GARCÍA-GARCÍA, J. L., A. SANTOS-MORENO, A. E. HERNÁNDEZ-CRUZ, Y M. PÉREZ-LUSTRE.** 2009. Murciélagos de La Ventosa, Oaxaca: comparación entre el método de muestreo convencional y el muestreo acústico. *Naturaleza y Desarrollo* 7:19-29.
- LIMPENS, H. J. G. A., Y G. F. McCracken.** 2000. Choosing a bat detector: theoretical and practical aspects. Pp. 28-37 in *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis* (Brigham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. J. G. A. Limpens, eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.
- MACSWINEY, M. C., B. BOLÍVAR, F. M. CLARKE, Y P. A. RACEY.** 2009. Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica* 11:139-147.
- MILLER, B. W.** 2001. A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. *Acta Chiropterologica* 3:93-105.
- MILLER B. W.** 2003. *Community Ecology of the Non-Phyllostomid Bats of Northwestern Belize, with a Landscape Level Assessment of the Bats of Belize.* Tesis de Doctorado. Universidad de Kent. Canterbury, Reino Unido.
- OCHOA, J., M. J. O'FARRELL, Y B. W. MILLER.** 2000. Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela. *Acta Chiropterologica* 2:171-183.
- O'FARRELL, M. J., Y B. W. MILLER.** 1997. A new examination of echolocation calls of some Neotropical bats (Emballonuridae and Mormoopidae). *Journal of Mammalogy* 78:954-963.
- O'FARRELL, M. J., Y B. W. MILLER.** 1999. Use of vocal signatures for the inventory of free-flying neotropical bats. *Biotropica* 31:507-516.
- O'FARRELL, M. J., B. W. MILLER, Y W. L. GANNON.** 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the Anabat detector. *Journal of Mammalogy* 80:11-23.
- PARSONS, S., A. M. BOONMAN, Y M. K. OBRIST.** 2000. Advantages and disadvantages of techniques for transforming and analyzing chiropteran echolocation calls. *Journal of Mammalogy* 81:927-938.
- PECH-CANCHE, J. M., C. MAC SWINEY, Y E. ESTRELLA.** 2010. Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya* 1:227-234.
- SCHNITZLER, H., Y E. K. V. KALKO.** 2001. Echolocation by insect-eating bats. *Bioscience* 51:557-569.
- WELLER, T. J., Y C. J. ZABEL.** 2002. Variation in bat detections due to detector orientation in a forest. *Wildlife Society Bulletin* 30:922-930.
- WICKRAMASINGHE, L. P., S. HARRIS, G. JONES, Y N. VAUGHAN.** 2003. Bat activity and species richness on organic and conventional farms: impact of agricultural intensification. *Journal of Applied Ecology* 40:984–993.

WILLIAMS-GUILLÉN, K., Y I. PERFECTO. 2011. Ensemble composition and activity levels of insectivorous bats in response to management intensification in coffee agroforestry systems. PLoS One 6:16502.

Sometido: 11 de enero de 2013

Revisado: 5 de marzo de 2012

Aceptado: 19 de abril de 2013

Editor asociado: Patricia Cortés-Calva

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández