

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DETECCIÓN Y DISCRIMINACIÓN ACÚSTICA DE MURCIÉLAGOS EN CUBA MEDIANTE GRABADORES AUDIOMOTH**EVALUATION OF THE DETECTION AND ACOUSTIC DISCRIMINATION CAPACITY OF BATS IN CUBA USING AUDIOMOTH RECORDERS**ID JOSE MANUEL DE LA CRUZ MORA^{1,2,3,✉}, ID ANNABELLE VIDAL^{3,4}

1. Museo de Historia Natural Tranquilino Sandalio de Noda, Calle Martí No 202, Pinar del Río, Cuba
2. Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA, km 2½ Carretera Luis Lazo, No 3461, Pinar del Río, Cuba
3. Programa para la Conservación de los Murciélagos de Cuba, Carretera Varona #11835 e/ Oriente y Lindero, Calabazar, Boyeros, La Habana, Cuba
4. Instituto de Ecología y Sistemática, Carretera Varona #11835 e/ Oriente y Lindero, Calabazar, Boyeros, La Habana, Cuba, avidalb82@gmail.com

RESUMEN: En Cuba el uso de grabadores remotos AudioMoth es aún incipiente, pero dada su accesibilidad, portabilidad y bajo costo, es previsible que su aplicación se expanda en los próximos años. Sin embargo, su eficiencia para la detección de especies de murciélagos cubanos no ha sido evaluada hasta la fecha. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el rendimiento del AudioMoth, en la detección acústica de murciélagos, considerando su capacidad de grabación a diferentes distancias y su potencial para la identificación acústica de especies en ambientes naturales. Para ello, se realizaron dos evaluaciones. En primer lugar, se examinó la detectabilidad de tres especies con distintas características espectrales en sus llamadas de ecolocalización: *Artibeus jamaicensis*, *Pteronotus parnellii* y *Nyctiellus lepidus*. En segundo lugar, se evaluó la capacidad del dispositivo para distinguir a la especie endémica local y amenazada *Natalus primus* de otras especies presentes en su ambiente natural, mediante el análisis espectro-temporal de sus llamadas. Los resultados mostraron que la capacidad de detección del AudioMoth varió significativamente con la distancia. Entre 5 y 10 m predominaron grabaciones saturadas o ruidosas, mientras entre 15 y 25 m se obtuvieron grabaciones de mejor calidad. A partir de los 30 m, la calidad disminuyó drásticamente. En cuanto a la identificación acústica, se encontró que la combinación de tres variables -duración de la llamada, frecuencia pico y frecuencia pico del primer armónico- permitió discriminar a *N. primus* de otras especies coexistentes en su refugio diurno. Además, *N. primus* presentó una baja variabilidad en la duración y frecuencia de sus llamadas, lo que sugiere una alta efectividad del dispositivo para su detección específica. En conclusión, los dispositivos AudioMoth son una herramienta útil para la detección e identificación de murciélagos cubanos. Los resultados obtenidos podrán servir como base para el diseño de muestreos acústicos estandarizados destinados a inventarios y estudios ecológicos para la conservación.

PALABRAS CLAVES: Chiroptera, estudios acústicos, Guanahacabibes, llamadas de estrés, *Natalus primus*.

ABSTRACT: In Cuba, the use of AudioMoth remote recorders is still incipient, but given their accessibility, portability and low cost, it is foreseeable that their application will expand in the coming years. However, its efficiency for detecting Cuban bat species has not been evaluated to date. This study aimed to evaluate the performance of the AudioMoth in the acoustic detection of bats, considering its recording capacity at different distances and its potential for the acoustic identification of species in natural environments. To this end, we carried out two evaluations. First, we tested the detectability of three species with different spectral

✉ Jose Manuel de la Cruz Mora
delacruz@mhn.vega.inf.cu

Recibido: 05 de junio de 2025

Aceptado: 08 de agosto de 2025



Este es un artículo publicado en acceso abierto
bajo una licencia Creative Commons



<https://cu-id.com/2403/n516e10>

characteristics in their echolocation calls was: *Artibeus jamaicensis*, *Pteronotus parnellii* and *Nyctiellus lepidus*. Secondly, we tested the ability of the device to distinguish the local and threatened endemic species *Natalus primus* from other species present in its natural environment, based on the spectro-temporal analysis of its calls. Our results showed that the detection ability of the AudioMoth varied significantly with distance. Saturated or noisy recordings predominated between 5 and 10 m, while between 15 and 25 m we obtained better quality recordings. From 30 m onwards, the quality decreased dramatically. Regarding acoustic identification, we found that the combination of three variables -call duration, peak frequency and peak frequency of the first harmonic- allowed to discriminate *N. primus* from other coexisting species in its diurnal refuge. In addition, *N. primus* presented a low variability in the duration and frequency of its calls, which suggests a high effectiveness of the device for its specific detection. In conclusion, AudioMoth devices are a useful tool for the detection and identification of Cuban bats. The results obtained may serve as a basis for the design of standardized acoustic sampling for inventories and ecological studies for conservation.

KEYWORDS: acoustic studies, Chiroptera, distress calls, Guanahacabibes, *Natalus primus*.

INTRODUCCIÓN

Dada su alta representación en términos de biomasa y la amplia gama de servicios ecosistémicos que brindan -como el control de plagas de insectos, la polinización, la dispersión de semillas y como indicadores de salud ambiental (Kunz *et al.*, 2011; Ramírez-Fráncel *et al.*, 2021), los murciélagos se posicionan como uno de los grupos clave para la conservación a escala global (Frick *et al.*, 2020; Mickleburgh *et al.*, 2002). Esta importancia es particularmente relevante en el Neotrópico (Castillo-Figueroa, 2020), región que alberga la mayor diversidad de murciélagos -aproximadamente 40% de las especies conocidas, representada por más de 400 especies (Simmons y Cirranello, 2025). Sin embargo, entre las principales amenazas que enfrenta este grupo destaca la falta de información sobre la distribución, abundancia y ecología de muchas especies (Castillo-Figueroa, 2020), particularmente aquellas raras o amenazadas. Esta carencia de datos subraya la necesidad de implementar estudios basados en monitoreos estandarizados en la región, que permitan generar información robusta para evaluar con mayor precisión el estado de conservación y comprender la contribución ecológica de las comunidades de murciélagos en cada localidad.

Cuba se destaca en el Neotrópico por su alta diversidad de murciélagos en relación con el tamaño de su territorio (109 000 km²), albergando 26 especies distribuidas en seis de las siete familias presentes en la región (Simmons y Cirranello, 2025). Aunque existen compendios sobre la quiropterofauna cubana (Borrito-Páez y Mancina, 2011; Silva Taboada, 1979), persisten importantes vacíos de conocimiento sobre estos mamíferos en el país. Entre las necesidades más urgentes se encuentra la escasa información sobre la distribución y abundancia de muchas especies, en particular aquellas consideradas raras o amenazadas (González Alonso *et al.*, 2012). El caso más preocupante es el de la especie endémica y amenazada *Natalus primus* (familia Natalidae),

cuya única población conocida, estimada poco más de 300 individuos maduros, se encuentra en declive (de la Cruz *et al.*, 2023), situándola entre las especies de murciélagos más amenazadas del mundo y, por tanto de máxima prioridad para la conservación (de la Cruz *et al.*, 2019).

Históricamente, la técnica más utilizada para el muestreo de murciélagos ha sido la captura con redes de niebla durante la actividad de forrajeo. Sin embargo, en las últimas décadas, el uso de grabadores acústicos pasivos ha cobrado creciente popularidad (Gibb *et al.*, 2019). Estos dispositivos, capaces de registrar las llamadas de ecolocalización ultrasónicas que los murciélagos emiten para detectar objetos y presas, han demostrado ser complementarios a las redes de niebla (Lintott *et al.*, 2013; Mancina y Cruz Flores, 2017), ya que permiten detectar especies difíciles de capturar con redes por su tipo de vuelo o baja abundancia, como ocurre con los murciélagos de la familia Natalidae (de la Cruz Mora y García Padrón, 2019). Además, los grabadores acústicos, a diferencia de las redes de niebla, representan una técnica no invasiva, lo que los hace especialmente útiles para monitorear especies amenazadas (Sanchez *et al.*, 2017). Entre estos dispositivos, los grabadores AudioMoth se han vuelto muy populares en muestreos extensivos debido a su capacidad para grabar de manera continua durante varias noches, su facilidad de uso, su bajo costo y la posibilidad de operarlos de forma remota (Hill *et al.*, 2018).

En Cuba, el uso de grabadores remotos AudioMoth es aún incipiente, pero, dadas sus ventajas, es previsible que se extienda en los próximos años. Sin embargo, su eficiencia para detectar especies de murciélagos cubanos aún no ha sido evaluada. Además, el rendimiento de estos dispositivos puede verse afectado por características ambientales que influyen en la propagación del sonido (Gibb *et al.*, 2019; Sugai *et al.*, 2020), como la estructura del hábitat (ej. espacios abiertos, bosques o áreas urbanas) y las condiciones climáticas (viento, humedad, entre otras).

En este estudio, se evaluó el rendimiento del grabador AudioMoth (Open Acoustic Devices, versión 1.2.0), para la detección acústica de murciélagos cubanos, considerando su capacidad de grabación a diferentes distancias, en especies con diferentes características espectrales en sus llamadas de ecolocalización. Particularmente, se examinó su potencial para distinguir a *N. primus*, de otras especies presentes en su ambiente natural, a partir del análisis de las características espectro-temporales de sus llamadas de ecolocalización. Los resultados obtenidos podrán servir como base para el diseño de muestreos acústicos destinados a inventarios y estudios ecológicos para la conservación de los murciélagos de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

CARACTERÍSTICAS DEL GRABADOR AUDIOMOTH V1.2.0

El AudioMoth es un dispositivo de grabación de audio diseñado para el monitoreo acústico en entornos naturales. Su diseño compacto (58 x 48 x 15 mm) y ligero (aproximadamente 80 g) es excelente para muestreos ecológicos (Hill *et al.*, 2019). Cuenta con un micrófono integrado de alta sensibilidad y frecuencias de muestreo ajustables de hasta 384 kHz, lo que permite grabar ultrasonidos, el rango en el que los murciélagos emiten sus llamadas de ecolocalización (20 kHz - 200 kHz), esenciales mapear el entorno

en la oscuridad. Graba audio de alta calidad en formato WAV no comprimido, capturando sonidos con gran precisión.

El dispositivo permite la grabación remota pues almacena el sonido en tarjetas microSD (32 GB o 64 GB, según la capacidad) para una recopilación de grandes volúmenes de datos. Funciona con tres baterías AA y consume poca energía, permitiendo monitoreos prolongados por varios días. Además, se puede configurar para grabar de forma continua, en intervalos específicos o solo durante periodos de actividad, como la noche, optimizando el uso de batería y memoria (por ejemplo, grabando 30 segundos por minuto).

SITIOS DE ESTUDIOS

El estudio se realizó en dos localidades del Parque Nacional Guanahacabibes (Fig. 1), ubicado en la península homónima, en el extremo occidental de Cuba, durante la estación seca, entre el 4 y el 14 de mayo de 2018. Durante ese periodo, las condiciones climáticas se mantuvieron estables (31°C, 72 % de humedad relativa, sin viento ni precipitaciones), siendo propicias para la propagación del sonido y el funcionamiento de los dispositivos.

Para evaluar el rendimiento del AudioMoth a diferentes distancias, se seleccionó un área descampada próxima al Faro Roncali en el Cabo de San Antonio (21,8676°N; 84,9511°O; *datum* WGS84). Se prefirió realizar el ensayo en un espacio abierto,

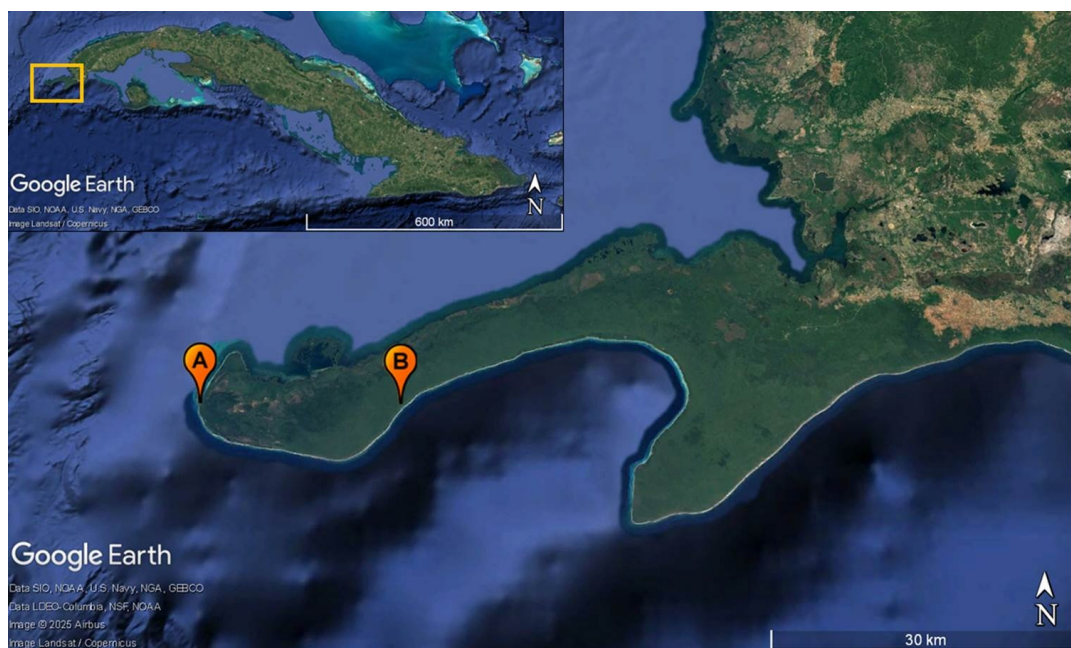


FIGURA 1. Localización de los sitios de estudio en la península Guanahacabibes, Cuba: A) Faro Roncali y B) Cueva La Barca (foto: Google Earth, 2025).

FIGURE 1. Location of the study sites in the Guanahacabibes peninsula, Cuba: A) Roncali Lighthouse and B) La Barca Cave (photo: Google Earth, 2025).

en lugar de un bosque, con el objetivo de determinar la mayor distancia a la que el dispositivo puede detectar llamadas de murciélagos. Además, en el área elegida se había registrado actividad nocturna de murciélagos previamente y se encuentra próxima a un bosque donde, de manera periódica se han capturado las especies seleccionadas para el ensayo (*Artibeus jamaicensis*, *Pteronotus parnellii* y *Nyctiellus lepidus*).

Para evaluar el potencial del AudioMoth en la identificación de llamadas de *N. primus*, se realizaron grabaciones en el interior de cueva La Barca (21,8665°N; 84,7472°O; datum WGS84), el único refugio conocido para la especie (Tejedor *et al.*, 2005). En esta cueva cohabitan otras 13 especies de murciélagos (de la Cruz *et al.*, 2023), cuyas llamadas también fueron registradas y analizadas para su comparación con las de la especie de interés.

CAPTURA Y MANEJO DE LOS INDIVIDUOS

Para la captura de los murciélagos se desplegaron redes de niebla (3 x12 m) en el bosque aledaño a la estación meteorológica del Cabo de San Antonio, durante el horario de mayor actividad nocturna de las especies utilizadas en el ensayo (19:00 - 23:00). El mismo procedimiento se aplicó para la captura de murciélagos en zonas cercanas a cueva La Barca, aunque en este sitio también se realizaron capturas con jamo entomológico dentro del refugio. Los individuos capturados fueron identificados según la especie y clasificados por clase etaria siguiendo los criterios de Silva Taboada (1979). Cada ejemplar fue aislado individualmente en bolsas de tela de algodón y resguardado en una habitación oscura y libre de ruidos hasta el momento de registrar sus llamadas.

GRABACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS LLAMADAS

ENSAYO EN HÁBITAT ABIERTO

Para este ensayo se retuvieron dos individuos adultos (un macho y una hembra) por especie. Se seleccionaron especies de tres familias cuyas llamadas de ecolocalización se emiten en distintos rangos de frecuencia, con el objetivo de abarcar la variedad de llamadas de los murciélagos cubanos: *Artibeus jamaicensis* (familia Phyllostomidae), que emite en un rango amplio de frecuencias, desde muy bajas hasta muy altas (20 - 200 kHz), en dependencia del entorno; *Pteronotus parnellii* (Mormoopidae), cuyas emisiones se concentran en frecuencias medias a altas (40 - 100 kHz) y *Nyctiellus lepidus* (Natalidae), que emite en frecuencias altas (50 - 120 kHz). Además de las llamadas de ecolocalización, los murciélagos producen vocalizaciones para la comunicación social, como las llamadas de estrés, que a diferencia de las anteriores pueden incluir frecuencias en el rango audible para el oído humano (0,5 kHz - 20 kHz).

Para evaluar el rendimiento del grabador AudioMoth se configuró la ganancia en nivel alto y la frecuencia de muestreo en 384 kHz. Estos parámetros maximizan la sensibilidad del micrófono, permitiendo captar con la mayor calidad posible tanto sonidos audibles como ultrasonidos, incluso si son débiles o se emiten a distancia.

Las grabaciones se realizaron durante el día (7:00 - 18:00) para evitar interferencias con las llamadas emitidas por murciélagos durante la actividad nocturna. Se colocaron dos grabadores simultáneamente en un área abierta sin obstáculos que pudieran interferir en la propagación del sonido, sobre un soporte a 1,5 m del suelo, con el micrófono orientado de manera horizontal respecto al suelo. Cada murciélago fue presentado individualmente frente al grabador, sostenido en las manos por el investigador, con el hocico orientado hacia el micrófono. Se realizaron pruebas a todos los individuos a diferentes distancias (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 40 metros), durante un minuto por distancia, para evaluar el rendimiento del equipo en función de la distancia. Con el fin de controlar posibles efectos del tiempo de manipulación o la posible fatiga del animal, el orden de las distancias se aleatorizó en cada individuo. Las llamadas de estrés audibles emitidas por los murciélagos durante los ensayos sirvieron como referencia para confirmar que se estaba registrando sonido en cada distancia evaluada. Para cada registro se anotaron la hora de grabación y los datos del individuo grabado, permitiendo identificar de manera precisa cada archivo durante el análisis de los datos. Al finalizar el ensayo, los murciélagos fueron resguardados en bolsas individuales hasta su liberación al anochecer.

La eficiencia del AudioMoth en la detección de las llamadas de los murciélagos se determinó mediante el análisis visual de las grabaciones en espectrogramas generados con el programa BatSound 4.1.3 (Pettersson Elektronik AB, 2023). Para visualizar las grabaciones, se ajustaron los parámetros de brillo a +13 dB, contraste a -77 dB y velocidad de reproducción a 0,1x, optimizando la definición de los patrones acústicos. Se consideraron de buena calidad aquellas grabaciones cuyo espectrograma presentara una resolución temporal y frecuencial adecuada, suficiente para distinguir patrones y armónicos claros, junto con un contraste de colores nítido entre los sonidos de interés y el ruido de fondo (de la Cruz Mora *et al.*, 2016; Rojas Martín, 2008).

Cada grabación (pulso) fue calificada como: fuerte (estructura clara y espectrograma nítido), clara (estructura clara y espectrograma aceptable), saturada (estructura clara, pero fuera de las frecuencias de registro), débil (espectrograma borroso) y ruidosa (sin estructura clara). Se registró la calidad de llamada más frecuente en cada distancia evaluada, para cada especie y tipo de llamada (ecolocalización o estrés).

También, a partir del espectrograma, se determinó la frecuencia pico de cada llamada, obteniéndose así la frecuencia picos promedio registrada por el AudioMoth para cada especie y tipo de llamada a cada distancia. Finalmente, se verificó que estas frecuencias pico coincidieran con los rangos previamente descritos en la literatura para las respectivas especies y tipos de llamadas.

ENSAYO EN CUEVA LA BARCA

Para el ensayo de identificación acústica se lograron capturar 12 de las 14 especies de murciélagos presentes en Cueva La Barca (*A. jamaicensis*, *Brachyphylla nana*, *Eptesicus fuscus*, *Erophylla sezekorni*, *Macrotus waterhousii*, *Monophyllus redmani*, *Mormoops blainvillii*, *Natalus primus*, *Nyctiellus lepidus*, *Phyllonycteris poeyi*, *Pteronotus parnellii*, *P. quadridens*) y se retuvieron dos individuos adultos (un macho y una hembra) de cada especie para su posterior grabación. Las grabaciones se llevaron a cabo en un salón de cueva La Barca previamente identificado por reunir las condiciones adecuadas para el ensayo. Este espacio se encontraba aislado de la colonia y de las rutas de vuelo de los murciélagos, libre de interferencias sonoras. Contaba con una única entrada que fue sellada con una malla mosquitera para evitar la salida de los individuos durante las grabaciones. Con un volumen superior a los 900 m³, el salón ofrecía el espacio suficiente para que los murciélagos volaran libremente y emitieran sus llamadas de ecolocalización. Se dispuso el grabador AudioMoth, sobre un soporte a 1,5 m del suelo y dos metros de la pared más cercana, con el micrófono orientado hacia el centro del salón y de manera horizontal respecto al suelo. Cada individuo fue liberado en el centro del salón y grabado de manera individual durante cinco minutos. Al finalizar cada sesión, se retiraba la malla mosquitera para permitir su salida.

El primer paso para evaluar la efectividad del AudioMoth en la identificación de las especies consistió en reconocer y seleccionar las llamadas más representativas de cada especie, es decir las que presentaron un patrón común para la especie y similar al reportado en la bibliografía. Una vez identificado el patrón característico de las llamadas, se analizó su estructura mediante espectrogramas y espectros de potencia, con el fin de validar la identificación de cada especie por reconocimiento visual (de la Cruz Mora *et al.*, 2016; Rojas Martín, 2008).

Para representar las llamadas de cada especie, se seleccionaron las 20 llamadas de mejor calidad del total registradas por el AudioMoth para los dos individuos grabados por especie. De estas llamadas se obtuvieron los valores medios y las desviaciones estándar

de los principales parámetros acústicos: duración, frecuencias máxima y mínima, y frecuencia pico, tanto para la llamada completa como para el primer armónico. De estas llamadas se obtuvieron los valores medios y las desviaciones estándar de los principales parámetros acústicos: duración, frecuencias máxima y mínima, y frecuencia pico, tanto para la llamada completa como para el primer armónico. Este análisis se realizó utilizando el programa BatSound 4.1.3.

La efectividad del AudioMoth para identificar las llamadas de ecolocalización de *N. primus* se evaluó mediante la comparación de los parámetros registrados con los de las demás especies cohabitantes de Cueva La Barca que se lograron capturar. Estas comparaciones se realizaron verificando, uno a uno, si los valores de los parámetros para *N. primus* se solapaban con los de las otras especies. En aquellos casos donde no existió solapamiento, el parámetro se consideró adecuado para discriminar *N. primus* del resto. Los gráficos fueron realizados utilizando el programa estadístico R 4.2.0 (R CoreTeam, 2023).

RESULTADOS

CAPACIDAD DE DETECCIÓN DEL AUDIOMOTH A DIFERENTES DISTANCIAS

El AudioMoth registró llamadas de estrés en la mayoría de las distancias evaluadas (Tabla 1), aunque se obtuvieron pocas grabaciones de llamadas de ecolocalización, probablemente debido a la escasa emisión de este tipo de señales por parte de los individuos. La capacidad de detección del dispositivo varió significativamente según la distancia. En las distancias cortas (5-10 m) predominaron grabaciones saturadas o ruidosas para las tres especies, mientras que en las distancias intermedias (15-25 m), particularmente a los 20 m, se obtuvieron las grabaciones de mejor calidad (claras y fuertes) para todas las especies. A partir de los 30 m, la calidad de las grabaciones disminuyó notablemente, resultando débil para las tres especies, y más allá de los 40 m no se registraron señales en ninguno de los ensayos, lo que sugiere que esta distancia supera el límite efectivo de detección del dispositivo en condiciones de campo.

El análisis por especies reveló patrones diferenciados en los rangos efectivos de grabación de llamadas de calidad. *Pteronotus parnellii* mostró el mayor espectro (15-25 m), seguido de *Artibeus jamaicensis* con un rango intermedio (20-25 m), mientras que *Nyctiellus lepidus* solo registró grabaciones de buena calidad a los 20 metros. Esta distancia resultó ser la más efectiva, permitiendo obtener registros acústicos de buena calidad para tres las especies y para ambos tipos de vocalizaciones.

TABLA 1. Clasificación de las llamadas de ecolocalización y de estrés de tres especies de murciélagos cubanos, detectadas mediante AudioMoth v1.2.0 (dos dispositivos) a diferentes distancias entre el dispositivo y el murciélago emisor (un macho y una hembra por especie). Las llamadas se clasificaron como: fuerte (estructura clara y espectrograma nítido), clara (estructura clara y espectrograma aceptable), saturada (estructura clara, pero fuera de las frecuencias de registro), débil (espectrograma borroso) o ruidosa (sin estructura clara). Las clasificaciones fuerte y clara se destacan en negrita. Los ensayos en los que no se registraron llamadas se indican con un guion.

TABLE 1. Classification of echolocation and stress calls of the three species of Cuban bats detected by AudioMoth v1.2.0 (two devices) at different distances between the device and the emitting bat (one male and one female per species). Calls were classified as: strong (clear structure and sharp spectrogram), clear (clear structure and acceptable spectrogram), saturated (clear structure but outside the recording frequencies), weak (fuzzy spectrogram), or noisy (no clear structure). Strong and clear ratings are highlighted in bold. Trials in which no calls were recorded are indicated by a hyphen.

Tipo de llamada	Distancia (m)					
	5	10	15	20	25	30
<i>Artibeus jamaicensis</i>						
Ecolocalización	-	-	-	-	-	-
Estrés	saturada	saturada	ruidosa	fuerte	clara	débil
<i>Pteronotus parnellii</i>						
Ecolocalización	-	-	-	clara	-	-
Estrés	saturada	ruidosa	fuerte	fuerte	clara	débil
<i>Nyctiellus lepidus</i>						
Ecolocalización	-	ruidosa	-	clara	-	-
Estrés	saturada	saturada	-	fuerte	-	débil

La calidad de las grabaciones influyó en la determinación de las frecuencias pico, siendo las llamadas ruidosas y saturadas poco útiles para este propósito (Tabla 2). Aunque se colectaron menos llamadas de ecolocalización que de estrés, todas las llamadas de ecolocalización tuvieron la calidad suficiente para extraer los valores de frecuencia. El rendimiento fue mejor para *P. parnellii* en comparación con las otras dos especies.

POTENCIAL DEL AUDIOMOTH PARA DISTINGUIR A *NATALUS PRIMUS*

El análisis visual de la estructura de las llamadas demostró ser efectivo en las comparaciones de *N. primus* con las 11 especies cohabitantes en Cueva La Barca (Fig. 2), permitiendo la extracción confiable de los parámetros acústicos fundamentales para cada una de las especies capturadas (Tabla 3).

El análisis bioacústico de *N. primus* reveló patrones acústicos distintivos de las demás especies capturadas (Tabla 3). Para diferenciar a *N. primus*, se requirió la comparación progresiva de tres parámetros acústicos: duración de las llamadas, frecuencia pico del primer armónico y frecuencia pico de la llamada completa. Primero, la comparación de la duración eliminó a la mayoría de las especies, manteniendo solo a tres filostómidos (*A. jamaicensis*, *Monophyllus*

redmanii *Phyllonycteris poeyi*) que presentaron cierta superposición con *N. primus* (Tabla 3, Fig. 3A). Luego, la comparación de la frecuencia pico del primer armónico descartó a *M. redmani* y *P. poeyi*, dejando únicamente a *A. jamaicensis* como posible especie confundible con *N. primus* (Tabla 3, Fig. 3B). Finalmente, el análisis de la frecuencia pico de la llamada completa mostró que, aunque ambas especies presentan rangos similares (*N. primus*: $59,2 \pm 8,3$ kHz; *A. jamaicensis*: $72,5 \pm 3,3$ kHz), no existe superposición en sus valores extremos (mínimo de *A. jamaicensis*: 68.7 kHz < máximo de *N. primus*: 68.4 kHz; Fig. 3C).

DISCUSIÓN

El presente estudio muestra que el grabador AudioMoth v1.2.0 es una herramienta útil para el monitoreo acústico de murciélagos en Cuba, aunque con ciertas limitaciones operativas. Los resultados obtenidos evidencian que la calidad de las grabaciones está directamente influenciada por la distancia entre el dispositivo y el murciélago, con rango óptimo de grabación que sitúa entre 15-25 metros, siendo 20 metros la distancia más confiable para las especies evaluadas. Este patrón se refleja, por ejemplo, en *Pteronotus parnellii*, cuyas llamadas registradas a 20 metros coincidieron con los valores de frecuencia reportados en la literatura (60 kHz) (Vatter *et al.*, 2003).

TABLA 2. Valores promedio de frecuencia pico (kHz) de las llamadas de ecolocalización y de estrés de tres especies de murciélagos cubanos, detectadas mediante AudioMoth v1.2.0 (dos dispositivos) a diferentes distancias entre el dispositivo y el murciélago emisor (un macho y una hembra por especie). Se indican con un guion las distancias en las que no se registraron llamadas y con el símbolo (?) aquellas llamadas registradas cuya calidad fue insuficiente para determinar la frecuencia pico.

TABLE 2. Mean peak frequency (kHz) values of echolocation and stress calls of the three species of Cuban bats detected by AudioMoth v1.2.0 (two devices) at different distances between the device and the emitting bat (one male and one female per species). A hyphen indicates over which no calls were recorded and symbol (?) indicates those recorded calls whose quality was insufficient to determine the peak frequency.

Tipo de llamada	Distancia (m)					
	5	10	15	20	25	30
<i>Artibeus jamaicensis</i>						
Ecolocalización	-	-	-	-	-	-
Estrés	?	?	50	40	40	20
<i>Pteronotus parnellii</i>						
Ecolocalización	-	-	-	60	-	-
Estrés	?	50	50	40	20	10
<i>Nyctiellus lepidus</i>						
Ecolocalización	-	40	-	40	-	-
Estrés	?	?	-	40	-	20

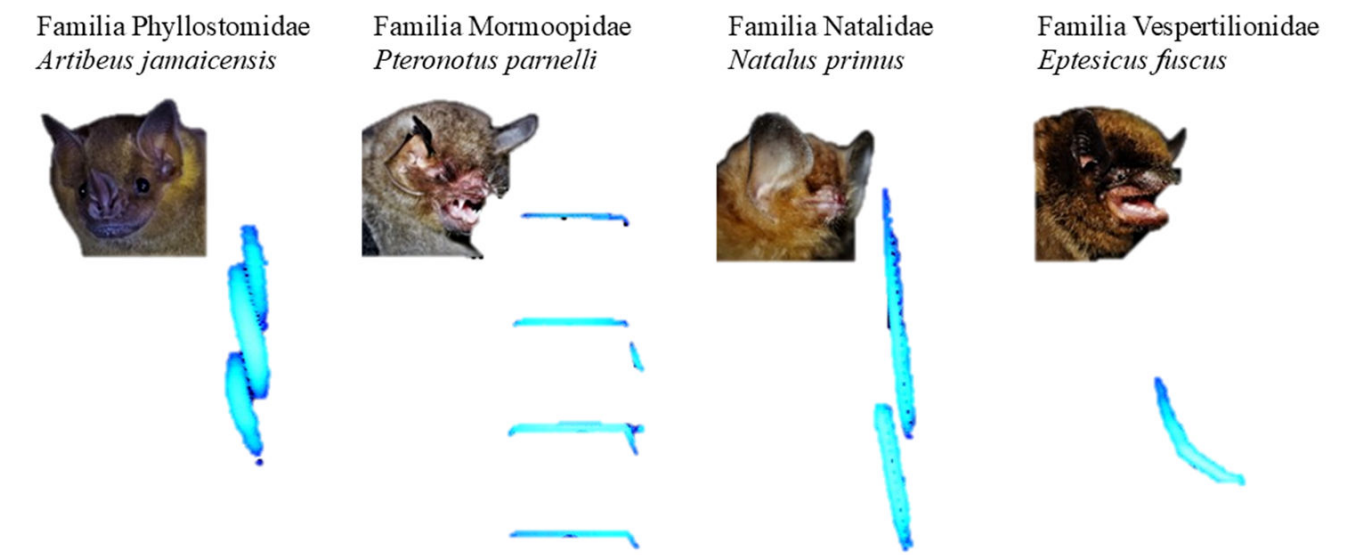


FIGURA 2. Estructura de los patrones visuales extraídas de espectrogramas de las llamadas de ecolocalización de algunas especies de murciélagos presentes en Cueva La Barca registradas con AudioMoth v1.2.0 en representación de sus respectivas familias.

FIGURE 2. Structure of the visual patterns extracted from spectrograms of the echolocation calls of some species of bats present in La Barca Cave recorded with AudioMoth v1.2.0 in representation of their respective families.

TABLA 3. Parámetros fundamentales de las llamadas de ecolocalización de 12 especies de murciélagos presentes en cueva La Barca, registrados mediante AudioMoth v1.2.0, a partir de 20 llamadas grabadas de dos individuos adultos por especie. Se presentan los valores medio, máximo, mínimo y la desviación estándar para cada parámetro. La especie *Natalus primus* se resalta en negrita.

TABLE 3. Fundamental parameters of the echolocation calls of 12 species of bats present in La Barca Cave, recorded using AudioMoth v1.2.0, from 20 recorded calls of two adults per species. The mean maximum, minimum, and standard deviation values for each parameter are presented. The species *Natalus primus* is highlighted in bold.

Especie	Duración (ms)				Frecuencia pico del 1 ^{er} armónico (kHz)				Frecuencia pico de la llamada completa (kHz)			
	Media	Mín.	Máx.	DS	Media	Mín.	Máx.	DS	Media	Mín.	Máx.	DS
Familia Phyllostomidae												
<i>Macrotus waterhousii</i>	1,70	1,70	1,70	0	80,60	77,80	84,50	2,54	87,16	82,80	89,30	2,64
<i>Brachyphylla nana</i>	2,32	2,00	2,50	0,19	61,88	59,80	64,7	1,85	69,30	63,60	76,00	4,89
<i>Phyllonycteris poeyi</i>	3,04	2,80	3,30	0,02	52,20	51,10	53,50	0,92	64,62	56,60	70,20	6,60
<i>Erophylla sezekorni</i>	4,34	4,00	4,70	0,34	66,30	58,40	63,38	3,38	66,72	51,80	76,20	10,98
<i>Monophyllus redmani</i>	3,22	2,90	3,60	0,31	78,84	73,00	82,30	3,87	99,9	93,10	108,2	6,18
<i>Artibeus jamaicensis</i>	3,24	2,40	3,90	0,62	73,32	69,90	76,80	2,81	72,54	68,70	75,80	3,27
Familia Mormoopidae												
<i>Mormoops blainvillii</i>	3,88	3,70	4,10	0,16	35,28	34,70	36,00	0,58	62,54	62,10	63,00	0,36
<i>Pteronotus quadridens</i>	4,32	4,20	4,40	0,08	42,60	41,4	43,3	0,78	84,04	80,50	85,30	2,01
<i>Pteronotus parnellii</i>	13,56	12,70	14,40	0,61	31,10	31,10	31,10	0	60,3	60,1	60,4	0,14
Familia Natalidae												
<i>Natalus primus</i>	2,94	2,90	3,00	0,05	73,30	73,00	73,50	0,27	59,24	52,20	68,40	8,31
<i>Nyctiellus lepidus</i>	2,30	2,10	2,50	0,16	70,86	68,00	70,86	2,79	76,60	56,10	93,60	18,75
Familia Vespertilionidae												
<i>Eptesicus fuscus</i>	7,00	7,00	7,00	0	57,60	56,00	61,00	2,07	34,06	32,6	36,00	1,58

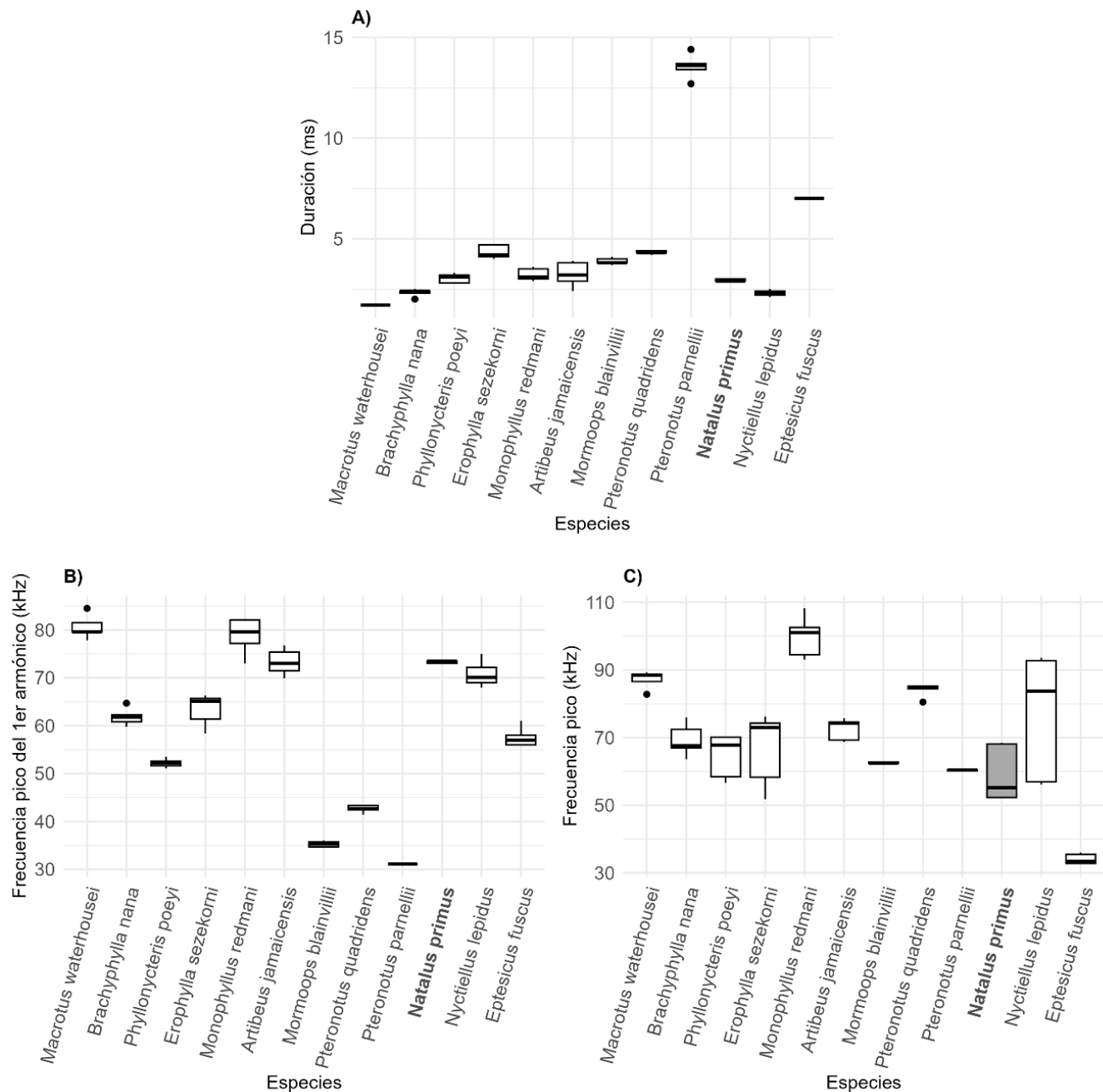


FIGURA 3. Comparación de los valores de los parámetros de las llamadas de ecolocalización de 12 especies de murciélagos presentes en Cueva La Barca, registrados mediante AudioMoth v1.2.0: A) duración, B) frecuencia pico del 1^{er} armónico y C) frecuencia pico de la llamada completa. Se indica la mediana por la barra horizontal en los rectángulos, el primer y tercer cuartil por los lados inferiores y superiores, los valores mínimos y máximos por las barras horizontales exteriores y los valores anómalos mediante puntos. Se resalta en negrita el nombre de la especie *Natalus primus* y en gris el diagrama de caja correspondiente.

FIGURE 3. Comparison of the values of the parameters of the echolocation calls of 12 species of bats present in La Barca Cave, recorded using AudioMoth v1.2.0: A) duration, B) peak frequency of the first harmonic and C) peak frequency of the full call. The median is indicated by the horizontal bar in the rectangles, the first and third quartiles by the lower and upper sides, the minimum and the maximum values by the outer horizontal bars and the anomalous values by points. The name of the species *Natalus primus* is highlighted in bold and the corresponding box diagram is highlighted in gray.

No obstante, el estudio también identificó limitaciones importantes en el rendimiento del dispositivo. En primer lugar, su eficacia disminuye significativamente a distancias superiores a 30 metros. En segundo lugar, se detectó una frecuente saturación de las grabaciones a distancias cortas (<15 m), lo que puede dificultar su análisis. Por último, se observaron discrepancias en la captura de frecuencias altas, como en el caso de *Nyctiellus lepidus*, cuyos registros (40 kHz) fueron considerablemente más bajos que los valores de referencia (50 - 120 kHz) (Murray *et al.*, 2009). Estas diferencias sugieren que la capacidad del AudioMoth para registrar diferentes rangos de frecuencia no es uniforme en todas las especies o familias. De hecho, el análisis comparativo reveló variaciones en el rendimiento según la especie. El mormópido *P. parnelli* presentó el mayor rango efectivo de grabación (15-25 m), mientras que el filostómido *Artibeus jamaicensis* y el natárido *N. lepidus* mostraron su mejor desempeño alrededor de los 20 metros.

Pese a estas limitaciones, los resultados respaldan el uso de AudioMoth en programas de monitoreo acústico a gran escala, particularmente cuando las grabaciones se obtienen dentro del rango de distancia óptimo. En este contexto, las grabaciones de buena calidad permiten realizar análisis acústicos detallados, mientras que los registros a corta distancia, aunque con cierto nivel de saturación conservan valor para estudios básicos de presencia-ausencia. Sin embargo, se enfatiza la necesidad de complementar estos datos acústicos con otros métodos de muestreo, como redes de niebla y tramas de arpa, y de considerar cuidadosamente las limitaciones operativas identificadas al diseñar los protocolos de investigación (Mancina y Cruz Flores, 2017). Es fundamental tener en cuenta varios factores que pueden reducir la efectividad del AudioMoth en campo. Entre ellos, la densidad de la vegetación, la topografía del terreno y las condiciones climáticas en particular, la alta humedad o la lluvia afectan directamente la calidad de las grabaciones al atenuar las señales ultrasónicas. Además, debido a que el equipo está optimizado para registrar sonidos orientados directamente hacia el micrófono, especies que vuelan muy por encima o muy por debajo del ángulo de orientación del micrófono podrían escapar a la detección. Estos aspectos deben incorporarse en el diseño de los protocolos de muestreo para asegurar la obtención de datos representativos y confiables sobre las comunidades de murciélagos en estudio.

El proceso de identificación acústica de especies, y en particular de *Natalus primus*, se basó en el análisis de parámetros espectro-temporales de las llamadas. La combinación de tres variables -duración de la llamada, frecuencia pico y frecuencia pico del primer armónico-

resultó efectiva para discriminar a *N. primus* de otras especies coexistentes. Además, *N. primus* mostró una baja variabilidad en dichos parámetros, lo que sugiere una adecuada capacidad del dispositivo para su detección específica.

En este sentido, los resultados obtenidos demuestran el potencial del AudioMoth para identificar especies cubanas, en especial de grupos como los natáridos, reconocidos por su dificultad de captura mediante métodos tradicionales como redes de niebla (de la Cruz Mora y García Padrón, 2019). Esta capacidad abre nuevas posibilidades para investigaciones ecológicas prioritarias en conservación de especies amenazadas, como el mapeo sistemático de áreas de forrajeo y la identificación de refugios diurnos desconocidos para *N. primus*, información crucial para el diseño de estrategias de protección efectivas.

Un paso fundamental para optimizar el monitoreo acústico en Cuba es la caracterización detallada de las llamadas registradas con AudioMoth y la incorporación de estos patrones acústicos en algoritmos de identificación automatizada (Gibb *et al.*, 2019), disponible en programas especializados como Kaleidoscope. Esto permitiría estandarizar los criterios de reconocimiento acústico de las especies cubanas y aumentar la eficiencia en el procesamiento de grandes volúmenes de datos. Estudios recientes han demostrado la utilidad de estas técnicas para detectar de especies de murciélagos amenazadas, estimar la riqueza de especie y evaluar el uso de hábitat, tanto en regiones templadas como tropicales (Biffi *et al.*, 2024; Drebet *et al.*, 2021; Hyzy *et al.*, 2020; López-Bosch *et al.*, 2022).

Finalmente, es importante señalar las limitaciones del estudio. Las pruebas se realizaron bajo condiciones controladas y óptimas, que pueden diferir significativamente de las condiciones naturales donde se aplicarán estos métodos. Por esta razón, se recomienda complementar el monitoreo acústico con técnicas tradicionales que permiten verificar las identificaciones y obtener datos adicionales (Mancina y Cruz Flores, 2017). Además, se debe considerar que la variabilidad acústica en ambientes naturales no controlados podría ser mayor debido a múltiples factores ecológicos y comportamentales (Gibb *et al.*, 2019; Sugai *et al.*, 2020). Por otra parte, debido a que el objetivo de este estudio fue hacer una primera evaluación de grabadores pasivos para monitorear especies cubanas, se utilizó un diseño muestral limitado (un macho y una hembra para cada especie), por lo que los resultados pueden estar influenciados por variaciones individuales (Kazial *et al.*, 2014; Murray *et al.*, 2001; Yovel *et al.*, 2009).

Futuros estudios deberían considerar grabaciones en diferentes estaciones, hábitats y condiciones biológicas (clase etaria, sexo y estado reproductivo con el fin de obtener una caracterización más representativa y confiable para su aplicación en campo (Fenton, 2013; Fenton *et al.*, 2011; Grilliot *et al.*, 2014; Jones *et al.*, 1992).

Asimismo, se evidencia la necesidad de establecer protocolos metodológicos estandarizados que permitan la comparación y replicabilidad de los estudios en Cuba. Actualmente existe una alta variabilidad en los resultados de estudios previos, debido al uso de diferentes metodologías, equipamientos y programas informáticos de análisis acústico (de la Cruz *et al.*, 2023; Delacruz *et al.*, 2019; Macías *et al.*, 2006; Mora *et al.*, 2005; Sanchez *et al.*, 2017). Los nuevos protocolos podrían basarse en las recomendaciones del presente estudio para proponer una calibración estándar de los dispositivos AudioMoth, aplicable tanto en Cuba como en otras áreas del Neotrópico.

CONCLUSIÓN

Los dispositivos AudioMoth presentan un potencial considerable para aplicaciones en investigación y conservación de murciélagos en Cuba, especialmente en estudios orientados a la detección y el monitoreo de especies endémicas y amenazadas, como *Natalus primus*; la realización de estudios ecológicos a gran escala que permitan entender la dinámica de las comunidades de quirópteros; y la implementación de programas de conservación basados en datos robustos y sistemáticos. No obstante, su desempeño está condicionado por factores como la distancia de detección, las características físicas del entorno y las particularidades acústicas de cada especie, aspectos que deben considerarse al diseñar protocolos de muestreo. En consecuencia, se recomienda enfocar futuras investigaciones en tres direcciones principales: (1) ampliar el volumen de grabaciones bajo diversas condiciones ambientales y en distintos tipos de hábitats; (2) incorporar variables biológicas como la clase etaria, sexo y estado reproductivo que permitan caracterizar con mayor detalle las emisiones acústicas de cada especie; y (3) desarrollar protocolos metodológicos estandarizados, que garanticen la comparabilidad y replicabilidad de los resultados en Cuba y en otras regiones del Neotrópico.

AGRADECIMIENTOS. A colegas de la Sociedad Zoológica de Londres y su programa "EDGE Fellows". A la Fundación Mohamed Bin Zayed, por el financiamiento aportado y a la organización IdeaWild por haber donado varios de los equipos utilizados en la toma y procesamiento de los datos. A dos revisores anónimos por sus señalamientos y comentarios, los que permitieron mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Biffi, S., Chapman, P. J., Engler, J. O., Kunin, W. E. y Ziv, G. (2024). Using automated passive acoustic monitoring to measure changes in bird and bat vocal activity around hedgerows of different ages. *Biological Conservation*, 296, 110722. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110722>
- Borroto-Páez, R. y Mancina, C. A. (2011). *Mamíferos en Cuba*. UPC Print, Vaasa, Finlandia. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15282178>
- Castillo-Figueroa, D. (2020). Why bats matters: A critical assessment of bat-mediated ecological processes in the neotropics. *European Journal of Ecology*, 6(1), 77-101. <https://doi.org/10.17161/euroj ecol.v6i1.13824>
- de la Cruz, J. M., Mancina, C. A., Teles, D. y Grey, C. (2023). Estimación del número de individuos de la única población conocida de *Natalus primus* (Chiroptera: Natalidae) basado en datos de marcaje y recaptura. *Poeyana*, 514, 1-6.
- de la Cruz Mora, J. y García Padrón, Y. (2019). Aplicación de métodos no invasivos y convencionales en el estudio ecológico de *Natalus primus* (Chiroptera: Natalidae), uno de los murciélagos más amenazados de Cuba. *ECOVIDA*, 9(1), 24-38. <http://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/147>
- de la Cruz Mora, J. M., Mora, E. C. y Macías, S. (2016). Características físicas de las llamadas de estrés en seis especies de murciélagos cubanos, utilizando un sistema de grabación Bruel and Kjaer. *ECOVIDA*, 6(1), 63-72.
- Delacruz, J. M., García, L. Y., Suarez, I. A., Camejo, A., Mancina, C. A., Teles, D., Wean, O., Soto, C., Debenham, C., Gray, C., Murray, C., y Couchman, O. (2019). Supporting the funnel-eared bat (*Natalus primus*) one of the most endangered species in Cuba.
- Drebet, M. V., Martyniuk, V. Y., y Lishchuk, A. V. (2021). Acoustic monitoring of bats: experience of organization in protected areas of Podillia. *Theriology Ukrainica*, 21, 125-132.
- Fenton, M. B. (2013). A perspective on bats (Chiroptera). *Koedoe*, 55(1), 1-3. <https://doi.org/10.4102/koedoe.v55i1.1140>
- Fenton, M. B., Skowronski, M. D., McGuire, L. P. y Faure, P. A. (2011). Variation in the use of harmonics in the calls of laryngeally echolocating bats. *Acta Chiropterologica*, 13(1), 169-178. <https://doi.org/10.3161/150811011X578714>
- Frick, W. F., Kingston, T. y Flanders, J. (2020). A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1469(1), 5-25. <https://doi.org/10.1111/nyas.14045>

- Gibb, R., Browning, E., Glover-Kapfer, P. y Jones, K. E. (2019). Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(2), 169-185. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13101>
- González Alonso, H., Rodríguez Schettino, L., Rodríguez, A., Mancina, C. A., y Ramos García, I. (2012). *Libro Rojo de los vertebrados de Cuba*. Editorial Academia. 303 pp. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15014120>
- Grilliot, M. E., Burnett, S. C. y Mendonça, M. T. (2014). Sex and season differences in the echolocation pulses of big brown bats (*Eptesicus fuscus*) and their relation to mating activity. *Acta Chiropterologica*, 16(2), 379-386. <https://doi.org/10.3161/150811014X687332>
- Hill, A. P., Prince, P., Piña Covarrubias, E., Doncaster, C. P., Snaddon, J. L., y Rogers, A. (2018). AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(5), 1199-1211. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12955>
- Hill, A. P., Prince, P., Snaddon, J. L., Doncaster, C. P., y Rogers, A. (2019). AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *HardwareX*, 6, e00073. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00073>
- Hyzy, B. A., Russell, R. E., Silvis, A., Ford, W. M., Riddle, J. y Russell, K. (2020). Occupancy and detectability of northern long-eared bats in the Lake States region. *Wildlife Society Bulletin*, 44(4), 732-740. <https://doi.org/10.1002/wsb.1138>
- Jones, G., Gordon, T., y Nightingale, J. (1992). Sex and age differences in the echolocation calls of the lesser horseshoe bat, *Rhinolophus hipposideros*. *Mammalia*, 56(2), 189-194. <https://doi.org/10.1515/mamm-1992-0202>
- Kazial, K. A., Burnett, S. C., y Masters, W. M. (2014). Individual and group variation in echolocation calls of big brown bats, *Eptesicus fuscus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Journal of Mammalogy*, 82(2), 339-351.
- Kunz, T. H., de Torrez, E. B., Bauer, D., Lobova, T. y Fleming, T. H. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 1-38. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>
- Lintott, P. R., Fuentes-Montemayor, E., Goulson, D. y Park, K. J. (2013). Testing the effectiveness of surveying techniques in determining bat community composition within woodland. *Wildlife Research*, 40(8), 675-684. <https://doi.org/10.1071/WR13153>
- López-Bosch, D., Rocha, R., López-Baucells, A., Wang, Y., Si, X., Ding, P., Gibson, L., y Palmeirim, A. F. (2022). Passive acoustic monitoring reveals the role of habitat affinity in sensitivity of sub-tropical East Asian bats to fragmentation. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(2), 208-221. <https://doi.org/10.1002/rse2.237>
- Macías, S., Mora, E. C., y García, A. (2006). Acoustic identification of mormoopid bats: A survey during the evening exodus. *Journal of Mammalogy*, 87(2), 324-330. <https://doi.org/10.1644/05-MAMM-A-124R1.1>
- Mancina, C. A. y Cruz Flores, D. D. (2017). *Diversidad biológica de Cuba. Métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas*. Editorial AMA, La Habana, 502 pp. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15009498>
- Mickleburgh, S. P., Hutson, A. M., y Racey, P. A. (2002). A review of the global conservation status of bats. *Oryx*, 36(1), 17. <https://doi.org/10.1017/S0030605301000011>
- Mora, E. C., Rodríguez, A., Macías, S., Quiñonez, I., y Mellado, M. M. (2005). The echolocation behaviour of *Nycticeius cubanus* (Chiroptera: Vespertilionidae): Inter- and intra-individual plasticity in vocal signatures. *Bioacoustics*, 15(2), 175-193. <https://doi.org/10.1080/09524622.2005.9753546>
- Murray, K. L., Britzke, E. R., y Robbins, L. W. (2001). Variation in search-phase calls of bats. Source: *Journal of Mammalogy*, 82(3), 728-737.
- Murray, K. L., Fraser, E., Davy, C., Fleming, T. H., y Fenton, M. B. (2009). Characterization of the echolocation calls of bats from Exuma, Bahamas. *Acta Chiropterologica*, 11(2), 415-424. <https://doi.org/10.3161/150811009X485639>
- Pettersson Elektronik AB. (2023). BatSound 4.1.3. <https://www.batsound.com>
- R CoreTeam. (2023). R: A language and environment for statistical computing. <https://doi.org/http://www.R-project.org>
- Ramírez-Fráncel, L. A., García-Herrera, L. V., Losada-Prado, S., Reinoso-Flórez, G., Sánchez-Hernandez, A., Estrada-Villegas, S., Lim, B. K., y Guevara, G. (2021). Bats and their vital ecosystem services: A global review. *Integrative Zoology*, 17(1), 2-16. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12552>
- Rojas Martín, D. (2008). Llamadas de estrés en 24 especies de murciélagos. Universidad de La Habana.
- Sanchez, L., Moreno, C. R., y Mora, E. C. (2017). Echolocation calls of *Natalus primus* (Chiroptera: Natalidae): Implications for conservation monitoring of this species. *Cogent Biology*, 3(1), 1355027. <https://doi.org/10.1080/23312025.2017.1355027>
- Silva Taboada, G. (1979). *Los murciélagos de Cuba*. Editorial Academia. 423pp. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15331047>

- Simmons, N. B., y Cirranello, A. L. (2025). Bat species of the world: A taxonomic and geographic database. Version 1.7. <https://batnames.org/>
- Sugai, L. S. M., Desjonquères, C., Silva, T. S. F., y Llusia, D. (2020). A roadmap for survey designs in terrestrial acoustic monitoring. In *Remote Sensing in Ecology and Conservation* . 6(3), 220-235. <https://doi.org/10.1002/rse2.131>
- Tejedor, A., Tavares, V. da C., y Rodríguez-Hernández, D. (2005). New records of hot-cave bats from Cuba and the Dominican Republic. *Sociedad Venezolana de Espeleología*, 39, 10-15.
- Vater, M., Kössl, M., Foeller, E., Coro, F., Mora, E., y Russell, I. J. (2003). Development of echolocation calls in the mustached bat, *Pteronotus parnellii*. *Journal of Neurophysiology*, 90(4), 2274-2290. <https://doi.org/10.1152/jn.00101.2003>
- Yovel, Y., Melcon, M. L., Franz, M. O., Denzinger, A., y Schnitzler, H. U. (2009). The voice of bats: how greater mouse-eared bats recognize individuals based on their echolocation calls. *PLoS Computational Biology*, 5(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000400>

Conflicto de intereses: El autor declara que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores: Conceptualización : JMCM. Trabajo de campo : JMCM, Análisis de los datos : JMCM, AV. Escritura del documento: AV, JMCM. Edición y revisión: AV, JMCM. Fotografías: JMCM.