

**Biblioteca de Llamados de Ecolocalización de los Murciélagos Insectívoros
Aéreos Presentes en la Cuenca Media del Río Lebrija-Santander**

Omar Gustavo Reyes-Garzón

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ciencias
Escuela de Biología
Bucaramanga
2016**

**Biblioteca de Llamados de Ecolocalización de los Murciélagos Insectívoros
Aéreos Presentes en la Cuenca Media del Río Lebrija-Santander**

Omar Gustavo Reyes-Garzón

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de
Biólogo**

**Director: Víctor H. Serrano-Cardozo Ph.D
Codirector: Raúl A. Rodríguez-Moreno BS.C**

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ciencias
Escuela de Biología
Bucaramanga
2016**



Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre Alejandrina Garzón, que con su empuje y determinación ha inspirado mi vida. También quiero agradecer a mi papá Gustavo Reyes, quien siempre me enseñó el valor del trabajo, a mi hermanita Carolina Reyes Garzón por su paciencia, consejos y jalones de oreja, y a mi adorada Stephany Obonaga, porque sin su paciencia, amor y dedicación, no hubiese podido materializar este trabajo.

Por otro lado, también quiero agradecer a todos los que me acompañaron en campo, Omar León, Carlos Díaz y en especial a mi socio Jefferson Sánchez, quien me acompañó en repetidas ocasiones y además me ayudó con la edición de las imágenes. También quiero agradecer a los vivientes de la finca los Planes, Don Carlos Beltrán y su hijo Carlitos, a mis compañeros inseparables de carrera Diana Sánchez y Elson Meneses. Quiero extender mis agradecimientos a todos los profesores que me introdujeron en este campo: Raúl Rodríguez, Toni Guillen, Sergio Estrada, Thomas Sattler, Katrin Barbosa, Emanuel Mora y a mi colega Carlos Restrepo, quien compartió su experiencia y comentarios a través del desarrollo de este trabajo.

Por último, quiero agradecer a la Universidad Industrial de Santander, a todos los profesores que me acompañaron en mi proceso de formación, al Grupo de Estudios en Biodiversidad, al profesor Bjorn Reu por sus valiosas sugerencias, a mis compañeros del laboratorio de Ecología: Javier, Ángela, Cacia, Laura, y en especial Profesor Víctor Hugo Serrano (VHS), quien desde un principio depositó toda su confianza en mí y en mi trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1 Murciélagos insectívoros	14
1.2 Gremios de murciélagos	20
1.3 Inventarios acústicos	21
2. OBJETIVOS	23
2.1 Objetivo general.....	23
2.2 Objetivos específicos.....	23
3. METODOLOGÍA	24
3.1 Área de estudio.....	24
3.2 Muestreo acústico.....	25
3.3 Captura y referenciación de murciélagos insectívoros aéreos.	26
3.4 Análisis de datos acústicos.....	27
4. RESULTADOS	29
4.1 Descripción de los llamados de referencia de los murciélagos insectívoros aéreos.....	29
4.2. Identificación de los fonotipos de las especies grabadas en los ambientes de forrageo.	36
5. DISCUSIÓN	40
5.1 Descripción de los pulsos de ecolocación de las especies referenciadas. ...	40
5.2 Registro de especies en vuelo libre.....	42
6. CONCLUSIONES	45
7. RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Número de individuos de cada especie, capturados en los siete meses de muestreo	29
TABLA 2. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de las especies referenciadas de la familia Molossidae	33
TABLA 3. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de las especies referenciadas de la familia Vespertilionidae	34
TABLA 4. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de las especies referenciadas de la familia Noctilionidae	35
TABLA 5. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de las especies referenciadas de la familia Emballonuridae	36
TABLA 6. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de las especies registradas en vuelo libre.....	38

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Diagrama esquemático de los diferentes diseños de llamados de ecolocación.....	14
FIGURA 2. Ventana de detección de presas.....	16
FIGURA 3. Rango porcentual de detección de la presa versus distancia de detección.	17
FIGURA 4. Diagrama esquemático del comportamiento ecolocalizador en sus tres fases	20
FIGURA 5. Mapa del área de estudio.....	24
FIGURA 6. Diagrama de instalación de la “Zip-line”	27
FIGURA 7. Sonograma de referencia de cuatro especies de la familia Molossidae	30
FIGURA 8. Sonograma de referencia de las familias Vespertilionidae, Emballonuridae y Noctilionidae.....	31
FIGURA 9. Importancia de los parámetros acústicos para el análisis clasificatorio de las llamadas de los murciélagos	32
FIGURA 10. Sonograma de referencia de las especies detectadas, en los diferentes ambientes descritos	37
FIGURA 11. Secuencia de llamado de <i>Myotis nigricans</i> volando en diferentes ambientes de forrajeo	39

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Matriz de confusión obtenida a partir del análisis de clasificación hecho por la función “randomForest”	54
ANEXO B. Relación de especies de murciélagos con distribución potencial en el Valle del Magdalena Medio.....	56

RESUMEN

Título: BIBLIOTECA DE LLAMADOS DE ECOLOCALIZACIÓN DE LOS MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS AÉREOS PRESENTES EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO LEBRIJA- SANTANDER.¹

Autor: Omar Gustavo Reyes-Garzón

Palabras claves: Quiróptera, Ecolocación, Inventarios acústicos.

Descripción: La ecolocalización es la habilidad que poseen algunos mamíferos para obtener información del medio circundante, mediante la emisión de ultrasonidos. Los murciélagos insectívoros aéreos utilizan esta estrategia para orientarse en el espacio, capturar presas y comunicarse con sus conespecíficos. En este grupo, los llamados de ecolocalización se componen de varias fases: búsqueda, aproximación y captura; los pulsos emitidos en la fase de búsqueda mantienen un grado de uniformidad, respecto a los parámetros de frecuencia, forma y duración. Esta relativa uniformidad constituye una herramienta confiable para la identificación taxonómica de estas especies. El presente trabajo describe los pulsos de ecolocalización en la fase de búsqueda de las especies pertenecientes a las familias Emballonuridae, Molossidae, Vespertilionidae y Noctilionidae presentes en espacios abiertos, bordes de bosque y cuerpos de agua, en la finca los Planes, corregimiento Uribe-Uribe, departamento de Santander. Se identificaron 16 fonotipos: nueve de ellos obtenidos a partir de individuos capturados y referenciados, y siete a partir de trabajos hechos en otras regiones. Adicionalmente, se presentan diferencias en los pulsos de ecolocación de dos especies taxonómicamente relacionadas: *Molossus molossus* y *Molossus bondae*, y se registran dos especies nuevas para el departamento de Santander, *Molossus bondae* y *Cynomops planirostris*. Finalmente, se resaltan los parámetros “Duración del pulso” y “Frecuencia inicial” que, sumados a otras características de forma y estructura de los llamados, ofrecen un criterio inequívoco para la identificación de las especies referenciadas en este trabajo.

¹ Proyecto de Grado

¹ Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Programa de Biología. Director: Víctor Hugo Serrano

ABSTRACT

Title: ECHOLOCATION CALL LIBRARY OF AERIAL INSECTIVOROUS BATS IN THE MIDDLE BASIN OF THE LEBRIJA RIVER, DEPARTAMENT OF SANTANDER.¹

Autor: Omar Gustavo Reyes-Garzón.

Keywords: Chiroptera, Echolocation, Acoustic Surveys.

Description: The echolocation is the ability of some mammals to get information about the surrounding environment, through the emission of ultrasonic pulses. The aerial insectivorous bat species uses this strategy to navigate in the aerosphere, hunt their prey and communicate with their conspecifics. In this group, the echolocation behavior is composed of three phases: Search, approximation and capture. The pulses emitted in the search phase, maintain a relative uniformity regarding to the frequency, structure and duration parameters. This relative uniformity can be used to identify accurately this kind of species. In this work, we describe the echolocation pulses in search phase of the species belonging to Emballonuridae, Vespertilionidae, Molossidae and Noctilionidae bat families, detected in open spaces, edge spaces and water sources located in “Los planes” farm, municipally of Uribe-Uribe, department of Santander. We identified 16 phonotypes: nine of them obtained from individuals captured and referenced, and seven from species referenced in other regions. Additionally, we present the differences in the echolocation pulses in two species taxonomically related. *Molossus molossus* and *Molossus bondae*, and report two new species for Santander department, *Molossus bondae* and *Cynomops planirostris*. Finally, we highlight the acoustic parameters “Duration” and “Initial frequency”, which combined with other call parameters like structure and form, provide an unambiguous criterion to identify the species presented in this work.

¹ Degree Project

¹ Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Programa de Biología. Director: Víctor Hugo Serrano

INTRODUCCIÓN

El orden Quiróptera comprende alrededor de 1300 especies divididas en dos subórdenes, Yinpterochiroptera (Pteropodiformes) y Yangochiroptera (Vespertilioniformes), esta última con distribución en el nuevo mundo (Teeling *et al.* 2005). Los murciélagos se caracterizan por ser los únicos mamíferos con la capacidad del vuelo; además de características morfológicas (como la forma del ala, masa corporal), fisiológicas y sensoriales (como la olfacción, escucha pasiva, y la ecolocalización) que explican en parte su enorme riqueza de especies y la gran multitud de nichos nocturnos ocupados por otros animales durante el día (Denzinger & Schnitzler 2013). Estas especies utilizan un sistema de ecolocalización tonal, mediante el cual se emiten señales de alta frecuencia (la mayoría ultrasónicas) y se analizan los ecos retornantes para detectar, caracterizar y localizar los objetos reflejados. Para esto, usan una amplia variedad de señales especie específicas que difieren en estructura, frecuencia, duración y nivel de presión sonora (SPL, por sus siglas en inglés) (Schnitzler & Kalko 2001).

Los avances recientes en métodos de muestreo bioacústicos, en conjunción con el aumento de las librerías de llamados de ecolocalización (Barclay & Brigham 2004; Kalko *et al.* 2008; Fenton 2013) y el avance tecnológico de los equipos de grabación, han incrementado la información en lo referente a la presencia y ecología de este grupo (MacSwiney *et al.* 2009; Meyer *et al.* 2011; Rivera-Parra & Burneo 2013). Sin embargo, existen varias dificultades a la hora de comparar los llamados de ecolocalización de las especies en diferentes regiones, dado que existen factores como las condiciones medioambientales, el tipo de vegetación, diferencias en la distancia de detección y variaciones intraespecíficas de las señales en individuos de distintas poblaciones, que a menudo complican la identificación de las especies por sus llamados (Schnitzler *et al.* 2003; Barclay & Brigham 2004).

Adicionalmente, las herramientas bioacústicas también contribuyen a la distinción taxonómica de las especies crípticas, las cuales pueden presentar diferentes estrategias de forrajeo o diferentes tipos de presas (Jones 1997). Este es el caso de una de las especies mejor conocidas de Europa *Pipistrellus pipistrellus*, la cual hasta 1993 se creía una sola especie (Stebbing 1988; Jones 1999), pero actualmente abarca dos especies crípticas *Pipistrellus pipistrellus* y *Pipistrellus pygmaeus* (Jones & Van-Parijs 1993). Esta distinción fue intuida en un principio por Zingg (1990), quien describió diferencias en su frecuencia fundamental en fase de búsqueda (45 kHz vs 55 kHz respectivamente); pero esto solo se comprobó hasta que investigaciones genéticas y ecológicas refinadas, pudieron probar la existencia de *P. pygmaeus* (Barlow & Jones 1997; Vaughan *et al.* 1997; Mayer & Helversen 1999).

En este sentido, el presente trabajo pretende aportar información de línea base al entendimiento de la ecología y distribución de las especies de murciélagos insectívoros aéreos en la cuenca media del río Lebrija y en general al valle del Magdalena Medio. Contribuyendo así a la implementación de esta metodología fundamental para el desarrollo de seguimientos a largo plazo de la diversidad, y permitiendo la elaboración de trabajos con mayor grado de complejidad (Ej. Modelos de distribución de especies y cuantificación integral de servicios ecosistémicos).

1. MARCO TEÓRICO

1.1 MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS

Componentes del pulso ecolocalizador

Las tareas de ecolocalización ejercen una fuerte presión selectiva en el diseño de la señal, favoreciendo tipos de señales especie específicos que están inmediatamente ligados a las condiciones ecológicas en las que se encuentran navegando los murciélagos (Schnitzler *et al.* 2003). De esta forma, se han descrito dos tipos de señales: señales de banda ancha como la frecuencia modulada (FM), componentes de banda estrecha como la frecuencia constante (FC) y combinaciones de las dos, como frecuencia cuasi constante (QCF) (Fig. 1) (Schnitzler & Kalko 2001; Barclay & Brigham 2004).

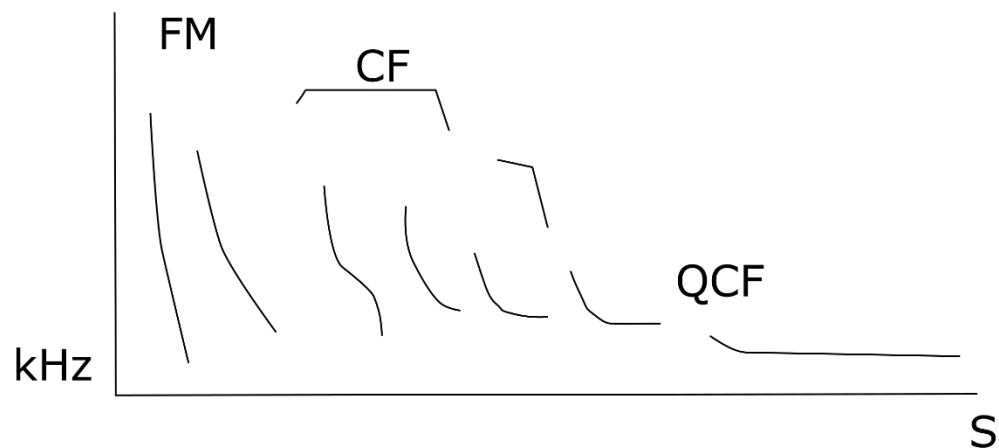


Figura 1. Diagrama esquemático de los diferentes diseños de llamados de ecolocalización: Frecuencia modulada (FM), Frecuencia constante (FC), Frecuencia cuasiconstante (QCF). Modificado de Limpers (2004)

Ambientes de forrajeo

Existen factores que afectan el comportamiento ecolocalizador de las especies en los diferentes ambientes, entre esos listamos la humedad relativa que constriñe la producción y propagación de las señales, la temperatura que afecta la velocidad del sonido, y el efecto enmascarador producido por la vegetación circundante al murciélago (Denzinger & Schnitzler 2013; Luo *et al.* 2014). Diferentes marcos de referencia se han construido para entender el efecto enmascarador del ambiente y su relación con las características intrínsecas de las especies de murciélagos ecolocalizadoras. En este sentido se ha propuesto que los murciélagos solo pueden encontrar los ítems alimentarios sin interferencias, si los ecos se encuentran posicionados en la ventana “libre” de solapamiento. Esta ventana es definida como el área entre el solapamiento de la señal, donde la señal emitida se solapa con el eco producido por las presas y el eco producido por la vegetación circundante (Fig. 2) (Schnitzler & Kalko 1998; Schnitzler & Kalko 2001; Schnitzler *et al.* 2003)

Por tanto, el área de solape entre la señal de interés y el ambiente depende de la duración de la señal, lo cual nos permite usar la duración de la señal como una medida aproximada de la distancia mínima de detección. Cada incremento de 1 ms en la duración del pulso, incrementa el ancho del solape de la ventana en 0.17 m, que es el valor mínimo de detección. A su vez, la duración también puede reducir esta ventana libre de solape, por ejemplo: la reducción de 1 ms, ensancha la ventana en 0.34 m y reduce cada una de las zonas de solape en 0.17 m (Denzinger & Schnitzler 2013).

Por otro lado, la banda de frecuencia usada por los murciélagos insectívoros aéreos juega un papel importante al momento de discriminar entre las presas potenciales. En molósididos las estimaciones han determinado el tamaño porcentual de los ítems que se pueden detectar, estableciendo un rango de distancia óptimo

de 4-5 metros y una banda de frecuencia entre los 20-40 kHz para capturar presas de 5-40 mm (Fig.3) (Jung *et al.* 2014)

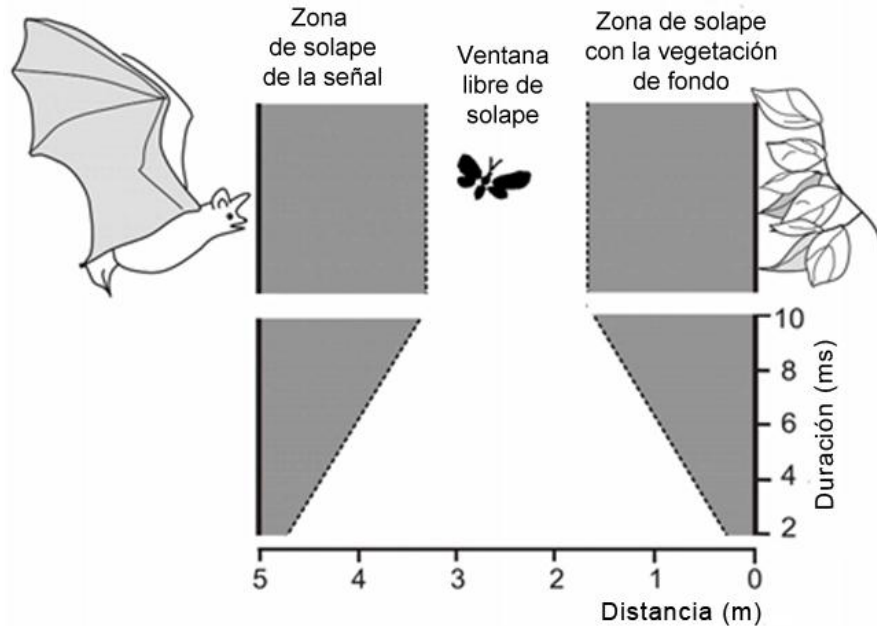


Figura 2. Ventana de detección de presas. Diagrama esquemático, donde se ilustran las condiciones para el solape de la señal emitida, el eco de la presa y de la vegetación de fondo de un murciélago que se está alimentando a una distancia de 5 metros de la vegetación. Asumiendo una velocidad del sonido de 340m/s. Modificado de Denzinger & Schnitzler (2013).

Estos resultados apuntan a que la distancia entre el murciélago y la vegetación de fondo o el alimento y el fondo, es la condición ecológica más relevante para los murciélagos que están en búsqueda de su alimento. De acuerdo con estas condiciones, se definen tres áreas o hábitats de forrajeo listadas a continuación: (1). Los murciélagos que se alimentan en espacios abiertos (principalmente molósid) cazan las presas en el aire, lejos de los objetos de fondo que puedan enmascarar las tareas de ecolocalización. Por ende, no reaccionan a los objetos del fondo en su comportamiento ecolocalizador.

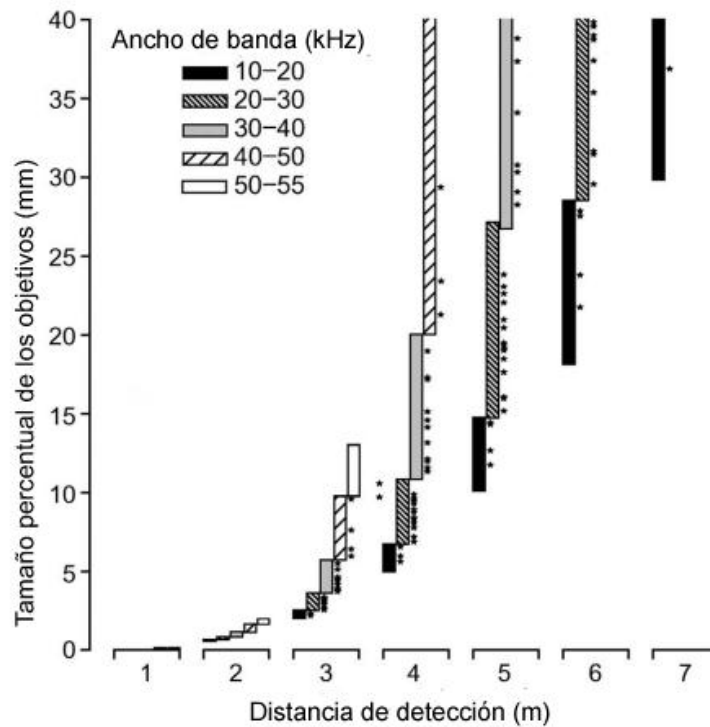


Figura 3. Rango porcentual de detección de la presa versus distancia de detección. Rango porcentual de detección de insectos (10-40 mm). Las barras representan el rango porcentual de los objetivos basados en el rango de frecuencia 15 y 55 kHz, separados en cinco bandas (10-20, 20-30, 30-40, 40-50, y 50-55 kHz). Las estrellas representan los tamaños de los ítems alimenticios en diferentes distancias de detección, basados en las frecuencias pico de los llamados de los molósidos (incluyendo la alternación de las frecuencias). Modificado de Jung *et al.* (2014)

(2). Los forrajeadores de los “espacios de borde” (principalmente embalonúridos y vespertiliónidos) cazan sus presas cerca de los bordes, construcciones humanas, “gaps” o huecos de vegetación. Bajo estas condiciones los pulsos emitidos y las señales de eco son seguidas por los ecos del fondo, los cuales no se solapan con los ecos provenientes de la presa. Adicionalmente, dentro de la clasificación de “espacios de borde” hecha por Denzinger & Schnitzler (2013), desarrollada a partir

de las definiciones hechas por Aldridge & Rautenbach (1987); Neuweiler (1989); Fenton (1990); Schnitzler & Kalko (1998); Schnitzler & Kalko (2001); Schnitzler *et al.* (2003), se incluyen las presas que se encuentran en superficies de agua calmadas o sobre ellas. Los murciélagos que vuelan sobre estas superficies (principalmente noctilionidos y algunos vespertilionidos) emiten las señales hacia adelante, propagándose en el aire y por encima del agua permitiendo que los ecos regresen directamente a sus orejas si estos chocan con las ondulaciones producidas por las presas. De lo contrario, el agua actúa como un espejo reflejando los ecos en otras direcciones, solo las señales que golpean el agua perpendicularmente (directamente debajo del murciélago) producen un eco lo suficientemente fuerte para ser reconocido (Greif & Siemers 2010).

(3). Las áreas con vegetación densa o espacios estrechos, son aquellos en los que las presas están posicionadas cerca a los objetos de fondo como vegetación o el suelo, en estos espacios encontramos murciélagos que se alimentan de frutas y néctar de flores. Por tanto, los ecos provenientes de los ítems alimenticios se solapan con los producidos por el entorno. En este ambiente se han descrito tres estrategias para superar este problema sensorial. (1). Detección del aleteo: En esta categoría los murciélagos de la familia Mormoopidae reconocen los ecos del insecto en sus largas señales de FC- FM (Fig. 1), las cuales son moduladas al ritmo del batir de las alas, y las discriminan de los ecos sin modulación de la vegetación de fondo. (2). Modo espigador pasivo: Estos murciélagos (principalmente Filostómidos) utilizan otros sentidos para poder encontrar el alimento, pues no tienen oportunidad de encontrar el eco en la vegetación densa. (3). Modo espigador activo, los murciélagos espigadores activos (principalmente Filostómidos y algunos Vespertilionidos del viejo mundo) usan el sistema de ecolocalización para explotar el recurso, sólo en un corto rango de situaciones favorables. Como aquellas en la que los ecos de los ítems alimentarios están lo suficientemente aislados de los ecos de la vegetación, o aquellos ecos conspicuos

de determinado tipo de alimento ej. Flores y frutas (Simon *et al.* 2011), que pueden ser discriminados (Denzinger & Schnitzler 2013).

Fases de la secuencia de ecolocación

La emisión de los pulsos de ecolocalización varía en función de las necesidades sensoriales de los murciélagos, y tradicionalmente se ha dividido en tres fases:

En la “fase búsqueda”, el murciélago emite los pulsos a una tasa constante y con una estructura uniforme, permitiéndole extraer información del ambiente y percatarse de potenciales presas existentes en él. Una vez la potencial presa ha sido detectada, el murciélago modifica este llamado modulando su forma y aumentando su tasa de emisión, con la finalidad de obtener información más precisa sobre la estructura de la presa potencial. Una vez la presa es identificada, el murciélago procede a triangular su posición exacta, mediante la emisión de una serie de pulsos de forma modulada y a tasas increíblemente altas (Fig. 4), alrededor de 200 pulsos por segundo (Griffin *et al.* 1960; Schnitzler & Kalko 1998)

Los pulsos emitidos en la fase de búsqueda mantienen un grado de uniformidad, respecto a los parámetros de frecuencia, estructura y duración. Esta relativa uniformidad constituye una herramienta confiable para la identificación taxonómica de las especies (Schnitzler & Kalko 1998; Schnitzler & Kalko 2001).

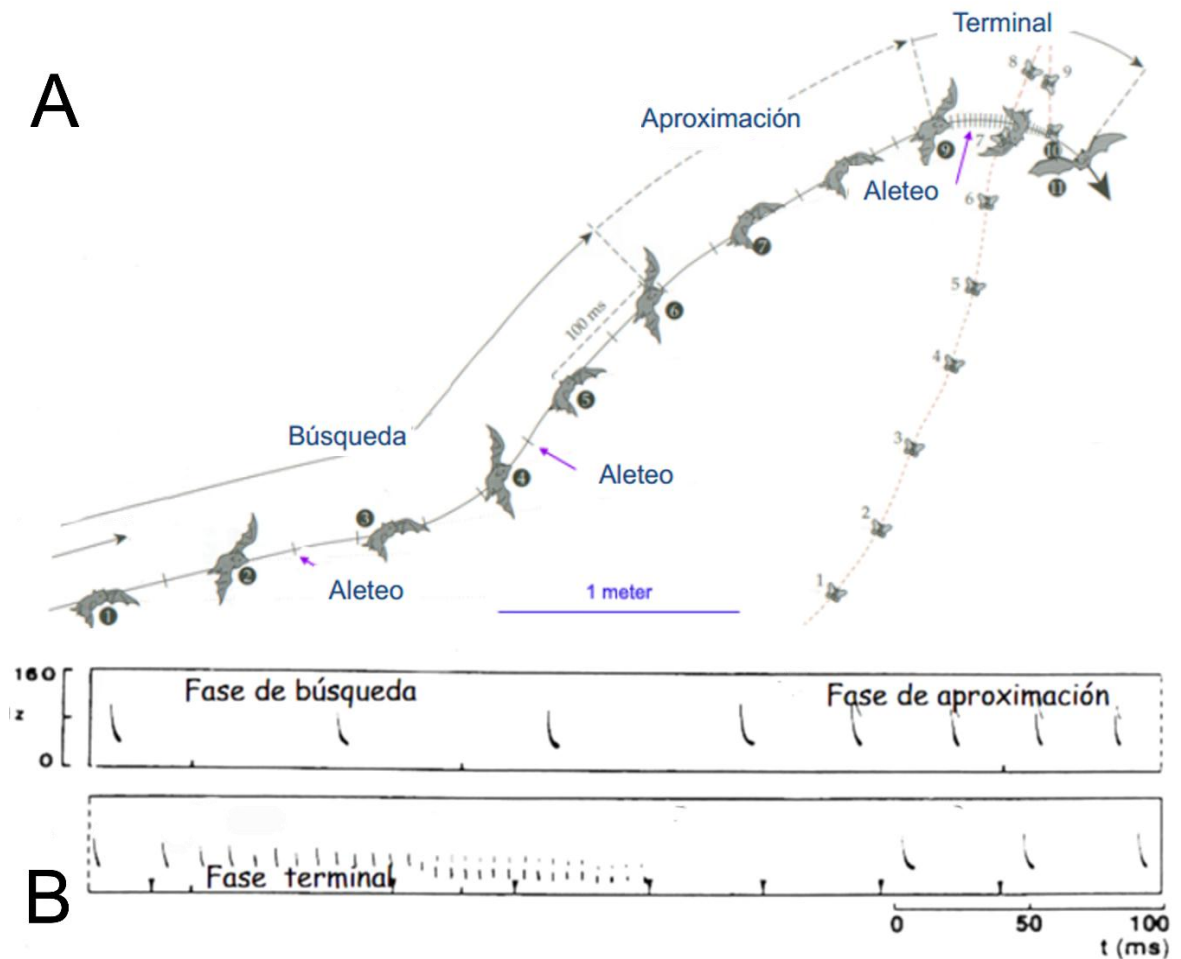


Figura 4. (A) Diagrama esquemático del comportamiento ecolocalizador en sus tres fases: Búsqueda, aproximación y terminal, (B) Espectrograma (frecuencia vs tiempo) de los pulsos de ecolocación en cada fase. Modificado de Schnitzler & Kalko (1998)

2.2 GREMIOS DE MURCIÉLAGOS

En un esfuerzo por clasificar la alta diversidad de estrategias de alimentación y comportamientos de ecolocalización de los murciélagos Vespertilioniformes, Schnitzler & Kalko (1998); Schnitzler & Kalko (2001) categorizan diferentes gremios de murciélagos, teniendo en cuenta las especies que explotan los mismos recursos y desarrollan las tareas de ecolocalización en una forma similar; con el fin

de estructurar comunidades altamente diversas; esta clasificación sugiere que los grupos funcionales están definidos por el tipo de hábitat (espacios abiertos, bordes y espacios con vegetación densa), estrategia de alimentación (aérea, espigadora) y la dieta (insectívoro, piscívoro, carnívoro, sanguívoro, frugívoro, nectarívoro y omnívoro).

Los murciélagos insectívoros aéreos capturan insectos durante el vuelo, en espacios abiertos y el borde de la vegetación, característica que les permite proveer servicios ecosistémicos importantes como el control de plagas, por ejemplo, en Estados Unidos las estimaciones de su valor ecosistémico para la agroindustria está cercano a los 22.9 billones de dólares por año (Boyles *et al.* 2011).

Por otro lado, se sabe que los murciélagos son excelentes bioindicadores, gracias a la capacidad de responder a un amplio rango de cambios inducidos por humanos en la calidad del hábitat y el clima (Jones *et al.* 2009); a pesar de este potencial como bioindicadores y de los servicios ecosistémicos que pueden prestar, en el neotrópico no existen programas de seguimiento a largo plazo de la diversidad (Ahumada *et al.* 2015).

1.3 INVENTARIOS ACÚSTICOS

Para el neotrópico, trabajos como los de Schnitzler *et al.* (1994); Miller (2003); Macías *et al.* (2006); Jung *et al.* (2007); Mora & Torres (2008); Mora & Macías (2011); Orozco-Lugo *et al.* (2013); Jung *et al.* (2014) han descrito los pulsos de ecolocalización en favor de capturar la variación a nivel regional. En Colombia, hasta el momento cuatro trabajos han incorporado este enfoque en sus metodologías: el primero establece una comparación entre los patrones de actividad en paisajes con diferentes grados de intervención en el norte de Bogotá (Sánchez 2011), el segundo describe el comportamiento ecolocalizador del murciélago espigador *Phyllostomus hastatus* (Pinilla *et al.* 2013). En el tercero se estima la intensidad de uso que da el ensamble de murciélagos insectívoros

aéreos en los diferentes micro hábitats (espacios abiertos, bordes de bosque e interiores de bosque) presentes en tres ecoparques de la ciudad de Manizales (Restrepo-Giraldo, 2015). El último compara la diversidad acústica en relación a la estructura del hábitat en la sabana xerófila-semiseca en la reserva natural Saguaré en el norte de Colombia (Zurc, 2015).

Hasta el momento se han reportado 205 especies de murciélagos en Colombia (Ramirez-Chaves & Suárez-Castro 2014), de las cuales aproximadamente el 33% (68) son consideradas dentro del ensamble de murciélagos insectívoros aéreos, ubicándolo como el segundo país con mayor diversidad de quirópteros del mundo (Solari et al. 2013; Bat Conservation International 2016). El conocimiento de esta diversidad se ha dado en su mayoría por la utilización de redes de niebla a nivel suelo y de dosel, sin embargo el uso de las mismas está fuertemente sesgado hacia la captura de murciélagos filostómidos (Barnett *et al.* 2006), debido a que la mayoría de murciélagos insectívoros forrajean a varios metros del suelo, evadiendo las redes de niebla, y subestimando los inventarios (Kalko, 1998) Por tanto, los inventarios acústicos se consideran un método complementario a los métodos tradicionales de captura, al incrementar la probabilidad de detección del ensamble de murciélagos insectívoros aéreos en relación a las redes de niebla, trampas harpa y redes de dosel (Meyer *et al.* 2011).

Por último, para el área de estudio se reportan 57 especies de murciélagos de las familias Vespertilionidae, Molossidae, Emballonuridae, Mormoopidae, Noctilionidae, Phyllostomidae, y Thyropteridae, de las cuales 32 especies se consideran dentro del gremio de insectívoros aéreos (Anexo 2).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Caracterizar el ensamble de murciélagos insectívoros aéreos presentes en la cuenca media del río Lebrija, mediante la utilización de herramientas bioacústicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Elaborar una biblioteca de llamados de ecolocación de las especies de murciélagos insectívoros aéreos capturados en la región de estudio.
2. Caracterizar cuantitativa y cualitativamente los parámetros acústicos asociados a los llamados de cada especie referenciada.
3. Obtener un registro en vuelo libre de los llamados ultrasónicos emitidos por los murciélagos en los diferentes ambientes de forrajeo.

3. METODOLOGÍA

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El Cerro la Paz es una estribación montañosa de la cordillera de los Andes, con una longitud aproximada de 50km, que demarca el inicio del valle del Magdalena medio hacia su costado occidental y por el lado oriental el valle del río Lebrija.

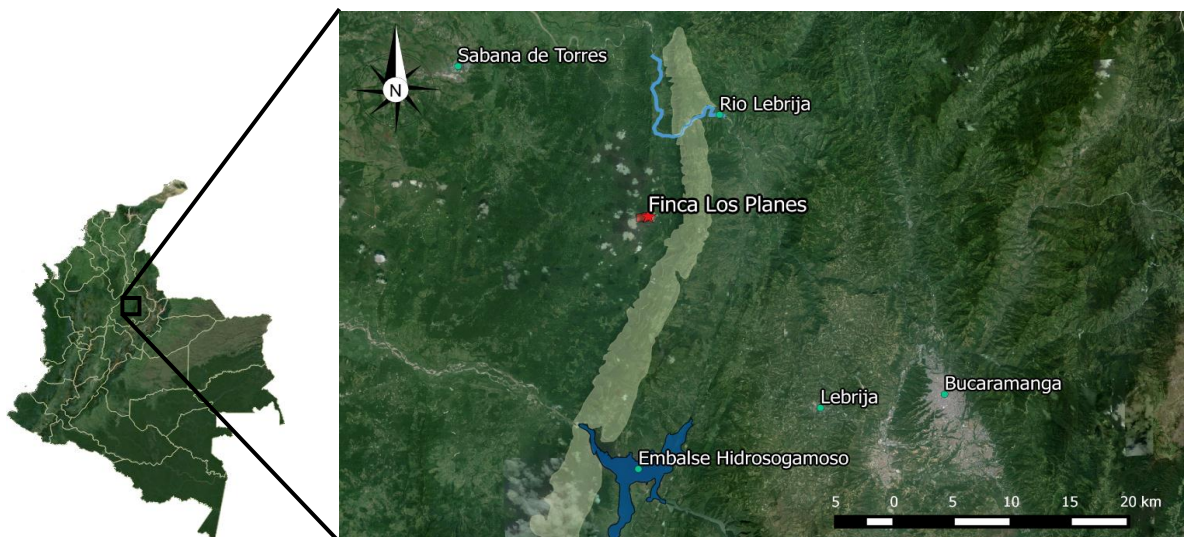


Figura 5. Mapa del área de estudio, el cerro de la Paz se demarca con el color verde claro.

Específicamente, el área de estudio se encuentra en la falda occidental del cerro la Paz, en la finca “Los Planes” ($7^{\circ}16'2.75''$ N, $73^{\circ}21'28.51''$ O) corregimiento Uribe-Uribe municipio de Lebrija, que a su vez se encuentra ubicado 18.6 km de la autopista Panamericana (Bucaramanga-Barrancabermeja) entrando por el parador la Azufrada hacia Sabana de Torres (Fig. 5).

El área con mayor cobertura vegetal, corresponde a un bosque húmedo tropical (Bh-T) según la clasificación de Holdridge, la temperatura promedio está entre los 27°C y 30°C , con un promedio anual de 3.432mm y una humedad relativa del

80%. En la zona de estudio se identifican coberturas vegetales representadas principalmente por bosques secundarios en recuperación, potrero arbolado, rastrojo bajo, y pastizales. A su vez, dos quebradas, la Condera y La Gomero atraviesan los márgenes del lugar.

3.2 MUESTREO ACÚSTICO

El muestreo acústico se realizó utilizando un Batlogger (® 2015 Elekon AG, Luzern, Switzerland), el cual permite una grabación automatizada de los llamados de ecolocación, en intervalos de tiempo establecidos. A su vez esté también adiciona metadatos como coordenadas geográficas y temperatura del sitio de grabación. Para proteger el equipo de la lluvia y humedad éste se dispuso en una caja a prueba de agua (® OtterBox StrongBoxes), con el cable del micrófono expuesto al exterior, conectado al detector. El micrófono se instaló a 120 cm del suelo, posicionado a 45° respecto a su eje horizontal en dirección a espacios abiertos.

Este dispositivo se ubicó en los microambientes identificados en el área de estudio; estos los podemos clasificar en tres tipos: Espacios abiertos (potreros, pastizales y rastrojos bajos), bordes de bosque y cuerpos de agua. El detector se colocó entre las 17:30 pm y 6 am, con el fin de registrar las señales de ecolocación de los murciélagos en vuelo libre, y complementar la biblioteca al obtener registros en todos los tipos de ambiente de forrajeo.

Las visitas al área de estudio se realizaron mensualmente en temporada seca y lluviosa con una duración de una semana, cinco noches efectivas de trabajo (tres en cuerpos de agua y dos en espacios abiertos y bordes), entre los meses de diciembre 2014- noviembre 2015. La identificación se hará utilizando el programa Batexplorer, el cual integra los metadatos obtenidos de con el Batlogger. Este software elabora un análisis de cada archivo generado, identificando las secuencias, extrayendo los parámetros básicos de estructura del llamado

(Intervalo de tiempo, frecuencia máxima, mínima, pico, forma del llamado e intensidad del mismo. Lo anterior permite analizar y clasificar eficientemente las secuencias con una buena relación señal/ruido.

3.3 CAPTURA Y REFERENCIACIÓN DE MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS AÉREOS.

Se instalaron 6 redes de niebla de 12m x 2.5m fabricadas en nylon Denier/Ply 110/2 de cuatro bolsillos y ojo de trama de 30mm x30mm. Estas se dispusieron en bordes de bosque, potreros y cuerpos de agua en transectos de 12 metros, entre las 5:30 pm y 11 pm, con el objetivo de capturar especies de las familias: Emballonuridae, Noctilionidae, Mormoopidae, Vespertilionidae, y Molossidae. La identificación taxonómica se realizó utilizando las claves de Voss *et al.* 2001; Gardner 2007; Tirira 2007; adicionalmente, individuos recolectados fueron depositados en la colección de mamíferos del museo de historia natural de la Universidad Industrial de Santander (MHNUIS), bajo el amparo de la resolución número 47 del 22 de enero del 2015, expedido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

El registro de llamadas de referencia se realizó con el micrófono dispuesto a 5 metros en dirección al vuelo del murciélago, utilizando la técnica Zip Line (Szewczak 2000), la cual consiste en extender una línea de nylon de pesca entre dos puntos, distanciados más o menos 30 metros, en un sitio con pendiente; a esta línea se le dispone una argolla liviana, la cual se le ata otra línea de nylon de menor calibre de tres metros de longitud, y en su extremo se dispone un collar de goma al individuo que se va a referenciar (Fig. 6).

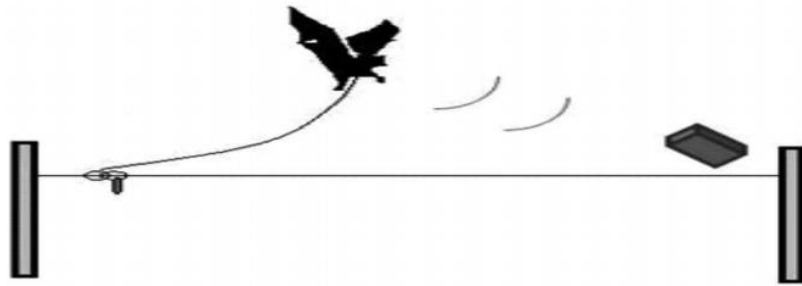


Figura 6. Diagrama de instalación de la “Zip-line”, tomado de Rivera-Parra & Burneo (2013)

La técnica zip- line tiene varias ventajas frente a otras técnicas de grabación, entre las más importantes están: 1. Facilita una velocidad y distancia estable, en la que el murciélago emita sus llamados de ecolocalización en fase de búsqueda. 2. Permite recapturar el individuo y realizar múltiples grabaciones, hasta obtener una con buena calidad. Sin embargo, también tiene desventajas relacionadas con el cambio en la estructura de los llamados en Molósidos y algunos Vespertiliónidos. Por ende, también se realizaron grabaciones con la técnica “hand-release” que consiste en liberar el murciélago en dirección al micrófono, con el fin de corroborar el patrón de estructura y frecuencia de las especies de molósidos referenciadas.

Las grabaciones fueron hechas con los siguientes parámetros de grabación: Se programó en modo de grabación abierta a una tasa de muestreo de 325 kHz o muestras por segundo, se utilizó un “*triggering*” (evento desencadenante de la grabación) denominado “*Crest Adv*” el cual tiene un factor de cresta (un umbral en decibeles), que mejora la detección de los llamados y reduce la sensibilidad al ruido.

3.4 ANÁLISIS DE DATOS ACÚSTICOS

Para la caracterización de los llamados se utilizaron siete medidas descritas a continuación: **(1)**. Duración de la llamada (DUR, medida en milisegundos desde el inicio de la llamada hasta el final de la misma), **(2)**. Frecuencia inicial (FI en kHz),

(3). Frecuencia final (FF en kHz), **(4)**. Frecuencia máxima o pico (FM, frecuencia dada en kHz, en la que el murciélago emite la mayor cantidad de energía). **(5)**. Ancho de banda (en kHz). **(6)**. A su vez, también se describió la forma del llamado: Frecuencia Modulada (FM) (componente de la llamada en el cual la frecuencia decae en el tiempo), frecuencia constante (FC) (componente de la llamada que se mantiene constante en el tiempo), frecuencia cuasi constante (QCF) (componente de la llamada en el cual el decaimiento de la frecuencia es leve, por tanto, no se considera FM), **(7)**. Armónico de mayor energía (múltiplos de la frecuencia fundamental) y fueron analizados utilizando el software Raven Pro versión 1.4. La visualización fue efectuada mediante una transformación rápida de Fourier (FFT), con una ventana tipo Hanning de 512 muestras con un solapamiento del 95% en el software citado. Para cada característica evaluada, se obtuvo la media y la desviación estándar del valor de todos los pulsos observados por especie. Con el fin de revelar las posibles diferencias en el diseño del llamado de ecolocación entre especies y géneros, se realizó un Análisis permutacional de la varianza, basado en distancias Euclidianas, implementado en el paquete “vegan” función Adonis (R Core Team 2016)

Adicionalmente, los parámetros acústicos de las especies referenciadas se analizaron mediante un análisis de clasificación, implementado en el paquete “randomForest” (R Core Team 2016). Este algoritmo está incluido dentro de los métodos denominados “machine learning”, donde se genera una muestra aleatoria de los datos originales con reemplazo “bootstrapping”. La técnica presenta ciertas ventajas frente al clásico análisis de función discriminante usado para análisis bioacústicos por Fenton (2004), el cual es menos sensible a la correlación de las variables, y además permite identificar las variables que más aportan a la discriminación de las categorías indicadas en el análisis (en este caso las variables acústicas medidas) (Liaw & Wiener 2002).

4. RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS LLAMADOS DE REFERENCIA DE LOS MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS AÉREOS.

En total se realizaron siete salidas de campo al área de estudio, con una duración de una semana (cinco noches efectivas de trabajo), con un esfuerzo de muestreo de 120 m² / h red (*sensu* Straube & Bianconi 2002). Se capturaron y referenciaron un total de 56 individuos contenidos en 4 familias, siendo el mes de noviembre donde se capturaron la mayor cantidad de individuos (Tabla. 1).

Tabla 1. Número de individuos de cada especie, capturados en los siete meses de muestreo. Que: quebrada, Pot: potrero, Bor: borde de bosque.

Especie	Meses							Total	Ambiente
	Ene	Feb	Mar	Abr	Jul	Sep	Nov		
<i>Noctilio albiventris</i>	1	0	0	0	2	0	3	6	Que
<i>Molossus bondae</i>	2	4	0	0	0	0	10	16	Que
<i>Molossus molossus</i>	0	2	0	2	0	6	1	11	Pot, Que
<i>Molossops temminckii</i>	0	0	3	1	4	0	0	8	Pot
<i>Cynomops planirostris</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	Pot
<i>Myotis nigricans</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	Bor
<i>Myotis riparius</i>	0	0	0	0	0	0	2	2	Bor, Que
<i>Saccopteryx bilineata</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	Pot
<i>Rhynchonycteris naso</i>	0	0	2	1	3	0	4	10	Pot, Que
Total	3	6	6	4	9	6	22	56	

Se escogieron 568 pulsos contenidos en 102 secuencias (archivos). La familia Molossidae fue la de mayor representatividad con cuatro especies (Fig. 7),

seguida de las familias Emballonuridae y Vespertilionidae con dos especies, y la familia Noctilionidae con una sola especie (Fig. 8).

El análisis de clasificación realizado en el paquete “randomForest”, logró clasificar correctamente la mayoría de las variables, dentro de los grupos establecidos (tasa de error del 5.83%), en donde se resalta los casos de *Molossops temminckii*, y *Molossus bondae* los cuales el análisis clasificó erróneamente en las especies *Myotis nigricans* y *Molossus molossus* respectivamente (Anexo.1).

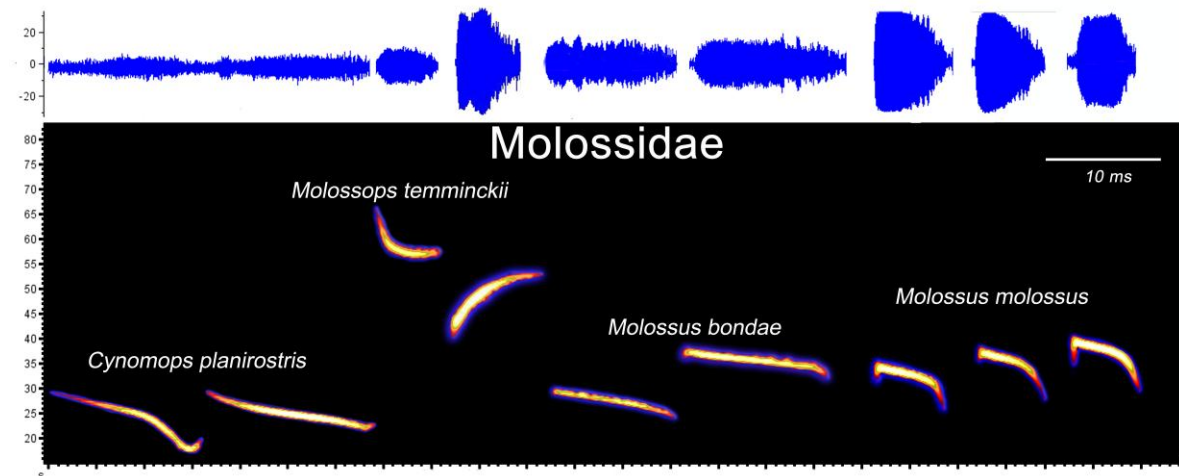


Figura 7. Sonograma de referencia de cuatro especies de la familia Molossidae, capturadas en el área de estudio, y grabadas mediante las técnicas “Zip-line” (*M. temminckii* y “Hand-release” *M.bondae*, *M.molossus*, Adicionalmente, el análisis también extrajo las variables que más contribuyeron a la correcta clasificación de las variables, donde se resalta la “Duración” y la “frecuencia inicial”, como las variables que más aportan a la discriminación de las especies. (Fig.9) La precisión del proceso de clasificación hecho por “randomForest” disminuye con la exclusión (o permutación) de una sola variable, es decir las variables con el mayor decrecimiento en la permutación de cada uno de los árboles del “randomForest”, son las que tienen un mayor poder clasificatorio (Liaw & Wiener 2002).

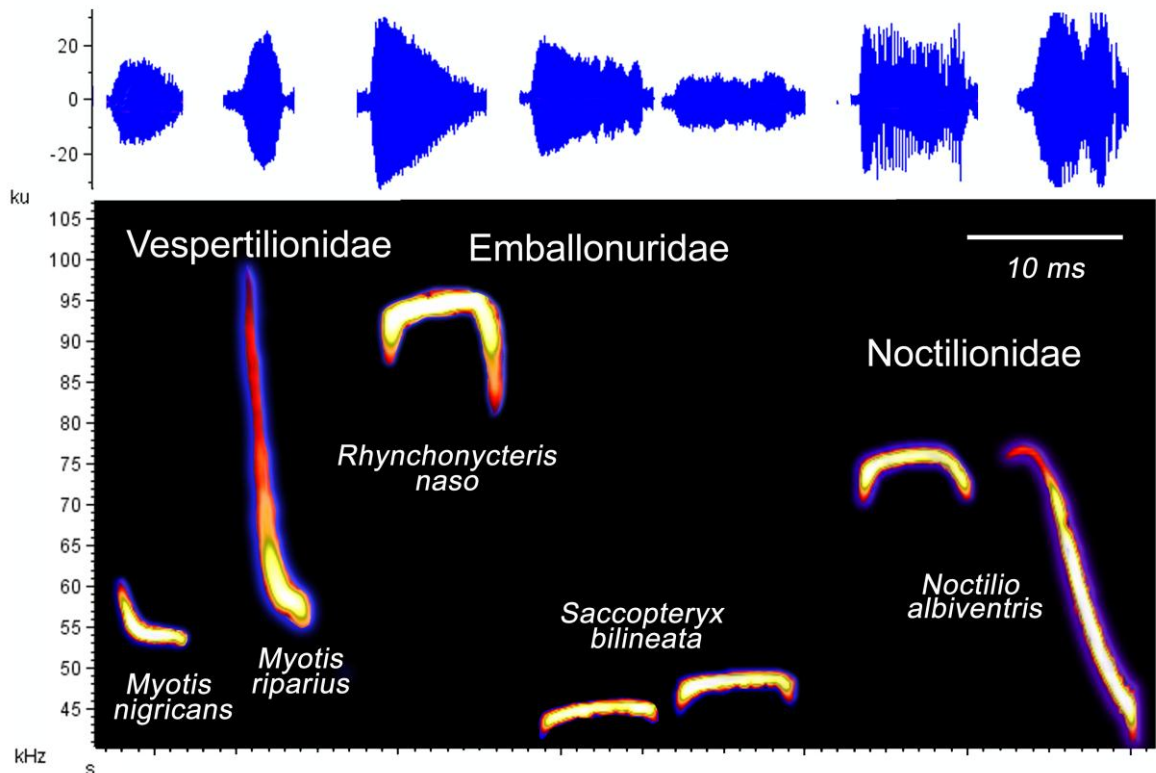


Figura 8. Sonograma de referencia de las familias Vespertilionidae, Emballonuridae y Noctilionidae, capturadas en el área de estudio, y grabadas mediante la técnica “Zip-line”.

A pesar de la alta variabilidad observada entre los diferentes géneros y especies, el análisis permutacional multivariado de la varianza (Permanova) de manera general reveló diferencias significativas en el diseño del llamado de ecolocalización entre los géneros ($F_{6,610} = 572,68$, $p < 0.001$) y entre especies ($F_{15,601} = 1397,5$, $p < 0,001$). Estos resultados indican que las especies referenciadas poseen un diseño de ecolocalización especie-específico y género-específico, que permite distinguir los mismos entre sí.

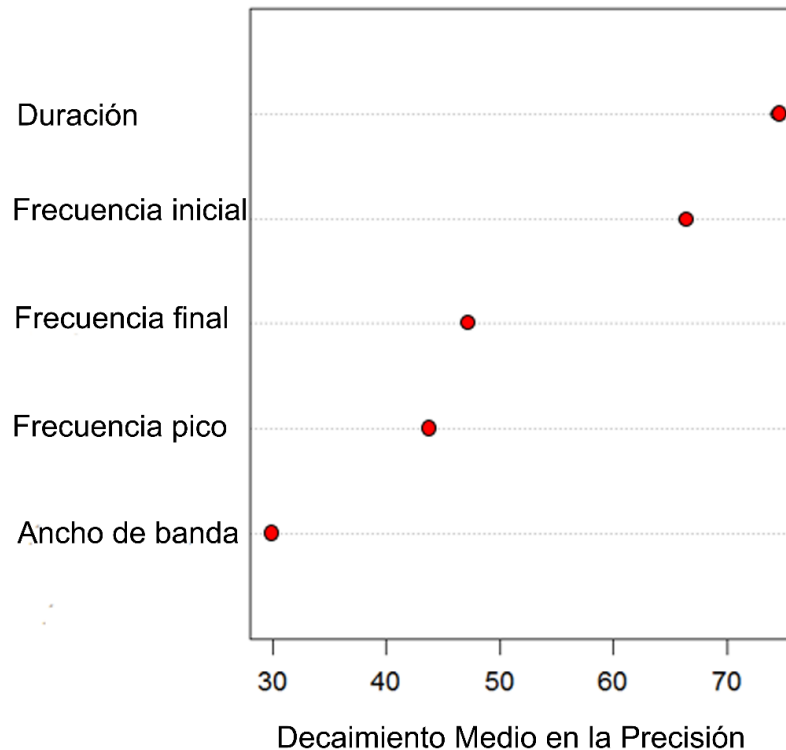


Figura 9. Importancia de los parámetros acústicos para el análisis clasificatorio de las llamadas de los murciélagos.

De las cuatro especies de la familia Molossidae, *Cynomops planirostris* fue la que presentó los pulsos con mayor duración [17,7(±0.6) ms] (Tabla. 2), la estructura general del llamado consiste en un segmento inicial de frecuencia cuasiconstante descendiente, que en el tramo final aumenta el nivel de modulación y luego toma una forma similar a una “v”, al volver a incrementar la frecuencia de manera modulada. El llamado en algunas ocasiones puede continuar con el descenso de la frecuencia cuasiconstante con una velocidad de modulación lenta [0,6 (±0,1) kHz/ms]. La especie *Molossops temminckii* posee un llamado que se compone de dos elementos denotados como “Alto” y “Bajo” en relación a la frecuencia inicial, la cual difiere levemente una de otra. El elemento “Bajo” posee una estructura de frecuencia modulada ascendiente de menor velocidad [1,6 (±0,2) kHz/ms] que su

contraparte, pues la misma decae en frecuencia modulada con la porción final curvilínea de mayor modulación [3,55 ($\pm 0,5$) kHz/ms] (Tabla. 2). Las dos especies de *Molossus* capturadas y grabadas presentan una estructura similar de frecuencia cuasiconstante descendiente, junto con una alternación de frecuencia en tres componentes denominados “Bajo”, “Medio” y “Alto” en relación a su frecuencia inicial. Por un lado, *Molossus molossus* presenta una duración media de sus pulsos de [7,3($\pm 0,9$) ms], [6,9 ($\pm 1,0$) ms], y [6,8 ($\pm 1,2$) ms] en sus tres componentes respectivamente, y una media de frecuencia inicial [35,6 ($\pm 0,9$) ms], [39,1($\pm 1,2$) ms], y [42,4 ($\pm 1,0$) ms] respectivamente. En contraste, *Molossus bondae* presenta pulsos con duraciones más largas (por encima de los 10ms) y su frecuencia inicial es levemente menor en sus tres componentes en relación a *Molossus molossus* ($F_{5,258} = 360,48$, $p < 0,001$) (Tabla. 2).

Tabla 2. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de las especies referenciadas de la familia Molossidae. FM: frecuencia modulada, QCF: Frecuencia cuasiconstante, Asce: ascendiente, Desc: descendiente, FI: frecuencia inicial, FF: frecuencia final, FM: frecuencia de máxima energía o frecuencia pico, DUR: Duración del pulso, VMOD: Velocidad de modulación, NC: número de llamados o pulsos, NS: Número de secuencias o archivos.

Especie /Tipo de llamado, estructura	FI (kHz)	FF (kHz)	Ancho de Banda (kHz)	FM (kHz)	DUR (ms)	VMOD (kHz/ms)	Armónico Dominante	NC/NS
Molossidae								
<i>Cynomops planirostris</i>								
FM- Desc, FM- Asce	29,3 \pm 0,7	17,9 \pm 2,2	11,3 \pm 2,0	21,5 \pm 2,7	17,7 \pm 0,6	0,6 \pm 0,1	Primero	13/1
<i>Molossops temminckii</i>								
Bajo/FM- Asce QCF	41,2 \pm 1,2	53,3 \pm 1,0	12,0 \pm 1,5	51,2 \pm 1,1	7,4 \pm 0,8	1,6 \pm 0,2	Primero	107/6
Alto/FM- Desc	71,9 \pm 1,2	53,1 \pm 1,4	18,8 \pm 1,4	56,5 \pm 1,5	5,3 \pm 0,8	3,55 \pm 0,5	Primero	7/2
<i>Molossus molossus</i>								
Bajo/QCF Desc	35,6 \pm 0,9	29,7 \pm 1,3	5,8 \pm 0,8	33,8 \pm 1,0	7,3 \pm 0,9	0,8 \pm 0,1	Primero	22/5
Medio/QCF Desc	39,1 \pm 1,2	33,7 \pm 2,8	5,4 \pm 1,7	37,7 \pm 1,6	6,9 \pm 1,0	0,8 \pm 0,2	Primero	58/8
Alto/QCF Desc	42,4 \pm 1,0	36,7 \pm 2,3	5,6 \pm 1,6	40,8 \pm 1,3	6,8 \pm 1,2	0,8 \pm 0,2	Primero	47/6
<i>Molossus bondae</i>								
Bajo/QCF Desc	32,9 \pm 1,5	26,4 \pm 2,3	6,5 \pm 1,1	31,2 \pm 2,0	12,3 \pm 1,8	0,8 \pm 0,1	Primero	36/4
Medio/QCF Desc	37,6 \pm 1,5	30,9 \pm 2,4	6,6 \pm 1,5	35,5 \pm 1,8	11,3 \pm 1,4	0,8 \pm 0,2	Primero	31/7
Alto/QCF Desc	41,6 \pm 1,2	34,9 \pm 1,2	6,7 \pm 1,9	39,6 \pm 0,7	9,9 \pm 1,3	0,8 \pm 0,2	Primero	15/5

La familia Vespertilionidae se encuentra representada en este trabajo por dos especies *Myotis nigricans* y *Myotis riparius*. Ambas poseen una estructura de frecuencia modulada (FM) descendente que finalizan en una pequeña fracción de frecuencia cuasiconstante (QCF), la cual puede alargarse o acortarse dependiendo de las necesidades sensoriales del murciélago. *Myotis nigricans* posee una frecuencia final de [50,6 ($\pm 1,3$) kHz], y una frecuencia pico de [53,3 ($\pm 1,1$) kHz]; a diferencia de *Myotis riparius* que posee una frecuencia final de [60,3 ($\pm 1,8$) kHz] y una frecuencia de máxima energía de [62,9 ($\pm 2,0$) kHz]; en ambas especies podemos notar una velocidad de modulación muy cercana [5,2 ($\pm 1,3$) kHz/ms] para *Myotis nigricans*, y de [5,1 ($\pm 2,0$) kHz/ms] para *Myotis riparius* (Tabla. 3).

Tabla 3. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de las especies referenciadas de la familia Vespertilionidae. FM: frecuencia modulada, QCF: Frecuencia cuasiconstante, Desc: descendente, FI: frecuencia inicial, FF: frecuencia final, FM: frecuencia de máxima energía o frecuencia pico, DUR: Duración del pulso, VMOD: Velocidad de modulación, NC: número de llamados o pulsos, NS: Número de secuencias o archivos.

Especie /Tipo de llamado, estructura	FI (kHz)	FF (kHz)	Ancho de Banda (kHz)	FM (kHz)	DUR (ms)	VMOD (kHz/ms)	Armónico Dominante	NC/NS
Vespertilionidae								
<i>Myotis nigricans</i>								
FM- Desc, QCF	68,6 \pm 2,2	50,6 \pm 1,3	18,0 \pm 2,9	53,3 \pm 1,1	5,4 \pm 1,0	5,2 \pm 1,3	Primero	51/4
<i>Myotis riparius</i>								
FM- Desc, QCF	84,8 \pm 9,1	60,3 \pm 1,8	24,4 \pm 7,7	62,9 \pm 2,0	3,2 \pm 0,4	5,1 \pm 2,0	Primero	14/1

Noctilio albiventris presenta dos pulsos en su llamado en fase de búsqueda, el primero denominado “Bajo” a partir de su frecuencia inicial tiene una estructura conformada por un componente de frecuencia cuasiconstante ascendente [72,6 ($\pm 0,6$) kHz], el cual decae abruptamente en frecuencia modulada hasta los [37,8

($\pm 0,6$) kHz]; el segundo pulso denominado “Alto” tiene una frecuencia inicial similar al anterior, pero difieren en su frecuencia final [64,6 ($\pm 1,4$) kHz] y velocidad de modulación [0,9 ($\pm 0,2$) kHz] (Tabla. 4).

Tabla 4. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de *Noctilio albiventris*. FM: frecuencia modulada, QCF: Frecuencia cuasiconstante, UP: ascendiente, Down: descendiente, FI: frecuencia inicial, FF: frecuencia final, FM: frecuencia de máxima energía o frecuencia pico, DUR: Duración del pulso, VMOD: Velocidad de modulación, NC: número de llamados o pulsos, NS: Número de secuencias o archivos.

Especie /Tipo de llamado, estructura	FI (kHz)	FF (kHz)	Ancho de Banda (kHz)	FM (kHz)	DUR (ms)	VMOD (kHz/ms)	Armónico Dominante	NC/NS
Noctilionidae								
<i>Noctilio albiventris</i>								
Bajo/ FM- Desc	72,6 \pm 0,6	37,8 \pm 1,9	35,5 \pm 2,2	46,3 \pm 4,9	11,9 \pm 1,2	3,1 \pm 0,5	Primero	51/5
Alto/ QCF- Asce	72,8 \pm 0,7	64,6 \pm 1,4	8,1 \pm 1,5	71,1 \pm 1,1	9,0 \pm 0,9	0,9 \pm 0,2	Primero	30/4

En este estudio se logró capturar y referenciar dos especies de la familia Emballonuridae, las cuales se distinguen de las demás familias de murciélagos insectívoros aéreos por invertir la mayor cantidad de energía en el segundo armónico. Ambas especies poseen estructuras diferentes en sus llamados y fácilmente distinguibles entre sí. *Saccopterix bilineata* se caracteriza por tener un llamado compuesto de dos pulsos sucesivos uno del otro, denominados “Bajo” y “Alto” en relación a su frecuencia pico; la mayor inversión de energía está concentrada en un elemento de frecuencia cuasiconstante (QCF) ascendente con dos puntas de frecuencia modulada descendentes. Para el primer pulso “Bajo”, se calculó una media de su frecuencia inicial en [43 ($\pm 1,0$) kHz] y una frecuencia final de [4,5 ($\pm 0,7$) kHz], el segundo pulso esta alternado en frecuencia alrededor de 2 kHz por encima del anterior. *Rhynchonycteris naso* se caracteriza por emitir sus pulsos de ecolocación por encima de los 90 kHz, generalmente la estructura de su llamado inicia con un componente de frecuencia cuasiconstante y termina con un

descenso abrupto en frecuencia modulada, este llamado no tiene alternaciones de frecuencia como en *Saccopterix* (Tabla. 5).

Tabla 5. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de las especies referenciadas de la familia Emballonuridae. FM: frecuencia modulada, QCF: Frecuencia cuasiconstante, Asc: ascendiente, Desc: descendiente, FI: frecuencia inicial, FF: frecuencia final, FM: frecuencia de máxima energía o frecuencia pico, DUR: Duración del pulso, VMOD: Velocidad de modulación, NC: número de llamados o pulsos, NS: Número de secuencias o archivos.

Especie /Tipo de llamado, estructura	FI (kHz)	FF (kHz)	Ancho de Banda (kHz)	FM (kHz)	DUR (ms)	VMOD (kHz/ms)	Armónico Dominante	NC/NS
Emballonuridae								
<i>Saccopterix bilineata</i>								
Bajo QCF- Asc	43±1,0	46,5±0,7	3,5±1,0	45,3±0,7	5,7±1,2	0,6±0,1	Segundo	17/8
Alto QCF- Asc	45,3±1,0	48,7±1,3	3,4±0,7	47,6±1,0	6,0±1,0	0,6±0,1	Segundo	17/8
<i>Rhynchonycteris naso</i>								
QCF, FM- Desc	86,9±2,3	99,87±2,1	12,9±2,0	98,6± 2,2	9,9±1,2	2,0±0,4	Segundo	13/3

4.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS FONOTIPOS DE LAS ESPECIES GRABADAS EN LOS AMBIENTES DE FORRAGEO.

En total, en el muestreo acústico se lograron recopilar 210 horas de grabación, 85 GB de información contenida en 25.288 archivos. Se identificaron 16 especies: de las cuales 10 están consignadas en este trabajo, y 6 adicionales fueron identificadas a partir de trabajos para otras regiones (Fig. 10). De esta forma, se logró describir el 28% de las 57 especies de murciélagos con distribución potencial para la zona, según las listas especializadas (Anexo 2).

A cada una de las especies detectadas, se les extrajo los parámetros acústicos descritos (Tabla 6), y se les asignó una identidad probable dadas las bibliotecas sonoras existentes para otras regiones (Schnitzler *et al.* 1994; Miller 2003; Macías *et al.* 2006; Jung *et al.* 2007; Carvajal-Marín 2009; Rivera-Parra & Burneo 2013; Orozco-Lugo *et al.* 2013; Briones-Salas *et al.* 2013; Restrepo-Giraldo *et al.* 2015) y las especies referenciadas en el presente estudio. De acuerdo con lo anterior, se

pueden extraer ciertas características clave para el reconocimiento de las diferentes familias de murciélagos insectívoros aéreos.

Los pulsos de la familia Molossidae recopilan el patrón general de los forrajadores de espacios abiertos: baja modulación, pulsos de larga duración, bajas frecuencias, y a su vez se diferencian de la familia Emballonuridae por invertir la mayor cantidad de energía en el primer armónico (Schnitzler & Kalko 2001; Mora & Torres 2008; Jung *et al.* 2014), con excepción de *Molossops temminckii* que defiere fuertemente de este patrón, emitiendo llamados a altas frecuencias y en cortos intervalos de pulso. El género *Molossus* se caracteriza por tener una estructura de frecuencia cuasiconstante (QCF) descendiente de baja modulación, los llamados a menudo se alternan en dos y hasta tres pulsos con un rango de frecuencia inicial muy variable que va desde los 29 kHz hasta los 45 kHz. En contraste, el género *Eumops* utiliza rangos de frecuencias más bajas y de mayor duración (Tabla. 6); la estructura puede ser variable y en algunos casos inicia con un componente de frecuencia modulada que progresivamente se estabiliza (Jung *et al.* 2014) o en este caso de frecuencia cuasiconstante descendiente (Fig. 10).

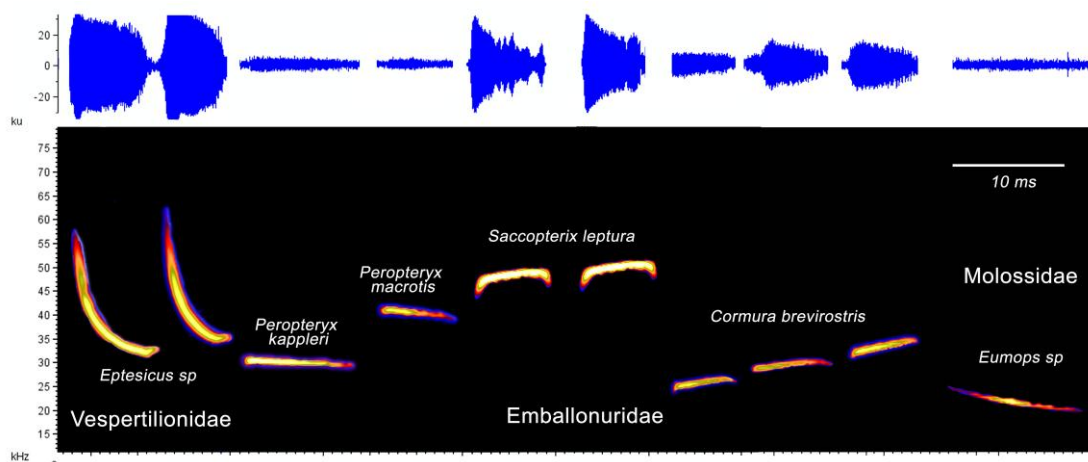


Figura 10. Sonograma de los llamados de ecolocalización en fase de búsqueda de las familias Vespertilionidae, Emballonuridae y Molossidae, detectadas en los ambientes de forraje descritos.

Tabla 6. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros espectrales y temporales de las especies registradas en vuelo libre. FM: frecuencia modulada, QCF: Frecuencia cuasiconstante, Asc: ascendiente, Desc: descendiente, FI: frecuencia inicial, FF: frecuencia final, FM: frecuencia de máxima energía o frecuencia pico, DUR: Duración del pulso, VMOD: Velocidad de modulación, Micro Ambiente donde fue detectada la especie (MA): EA: espacios abiertos, B: bordes de bosque, CA: cuerpos de Agua.

Tipo de llamado/estructura	FI (kHz)	FF (kHz)	Ancho de Banda (kHz)	FM (kHz)	DUR (ms)	VMOD (kHz/ms)	Armónico Dominante	Ambiente
Vespertilionidae								
<i>Eptesicus sp</i>								
FM- Desc	66,5±3,2	36,8±0,7	30,5±3,5	40,4±4,3	4,8±0,8	1,89±0,86	Primero	EA
Emballonuridae								
<i>Peropteryx kappleri</i>								
CF- Recto	33,2±0,2	30,7±0,3	2,5±0,3	32,4±0,2	10,4±0,9	0,2±0,05	Segundo	EA
<i>Peropteryx macrotis</i>								
CF- Recto	41,1±0,2	38,7±0,3	2,3±0,3	41±0,6	8,1±1,0	0,28±0,03	Segundo	EA
<i>Saccopteryx leptura</i>								
Bajo/QCF- Asc	46,7±1,3	54,1±0,5	7,3±0,9	51,9±0,6	8,0±0,5	0,91±0,06	Segundo	EA- B
Alto/QCF- Asc	49,5±0,3	56,9±0,4	7,4±0,5	54,8±0,4	8,0±0,7	0,91±0,06	Segundo	
<i>Cormura brevirostris</i>								
Bajo/QCF- Asc	27,2±0,8	23,8±0,1	3,3±0,2	25,8±0,3	11,0±0,1	0,3±0,03	Segundo	EA
Medio/QCF- Asc	30,7±0,2	26,7±0,6	4,0±0,5	28,8±0,3	11,5±0,1	0,3±0,01	Segundo	
Alto/QCF- Asc	34,4±0,4	29,7±0,6	4,7±0,3	32,0±0,4	12,2±0,5	0,39±0,03	Segundo	
Molossidae								
<i>Eumops glaucinus</i>								
QCF- Desc	28,3±0,8	19,5±0,8	8,7±0,7	22,9±0,9	17,4±1,2	0,5±0,05	Primero	CA- EA

Las especies de la familia Emballonuridae presentan un diseño de ecolocación uniforme, en el cual la mayor cantidad de energía se concentra en el segundo armónico, en una banda central con baja modulación y de estructura cuasiconstante (QCF). En la mayoría de los casos esta modulación es ascendente, acompañada de uno o dos “picos” de frecuencia modulada al inicio y al final del pulso (Jung *et al.* 2007). El género *Peropteryx* se caracteriza por tener pulsos de frecuencia cuasiconstante (Fig. 10), que se ubican en una misma banda a través de toda la secuencia en fase de búsqueda. *Peropteryx kappleri* posee una frecuencia de máxima energía menor [32,4 (\pm 0,2) kHz] en relación a *Peropteryx macrotis* [41 (\pm 0,6) kHz]; lo cual, permite discriminarlos inequívocamente (Tabla. 6).

Generalmente, la familia Vespertilionidae exhibe pulsos cortos de frecuencia modulada descendiente, y en la mayoría de las especies que presentan este comportamiento, el componente estructural más importante es la frecuencia mínima (Farrell *et al.* 1999; Miller 2003). El análisis visual de las secuencias permitió identificar un patrón de variación en la secuencia de *Myotis nigricans*, en bordes de bosque y potreros (espacios abiertos). Este patrón de variación consiste en un aumento de la modulación del llamado, cuando el murciélago se detectó en bordes de bosque y quebradas, y disminución de la misma cuando el murciélago se detectó en potreros (Fig. 11).

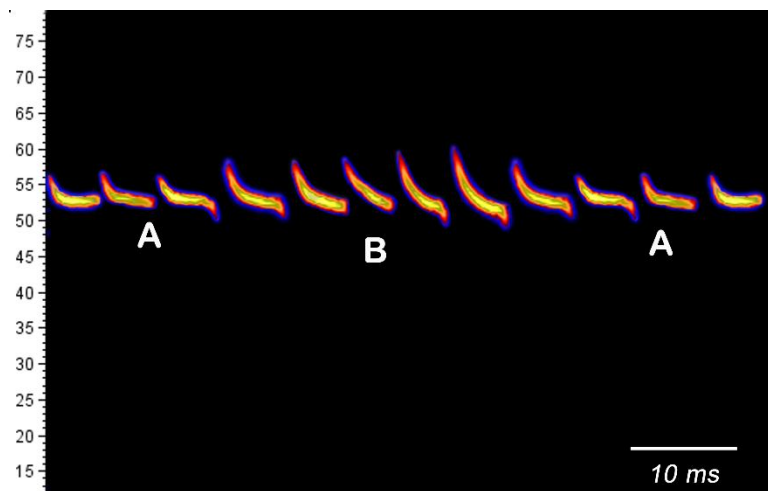


Figura 11. Secuencia de llamado de *Myotis nigricans* volando en diferentes ambientes de forrajeo. Desde un espacio abierto (A) a una situación de borde (B), y de vuelta a un espacio abierto (A).

5. DISCUSIÓN

5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PULSOS DE ECOLOCACIÓN DE LAS ESPECIES REFERENCIADAS.

En el presente estudio se logró capturar, grabar e identificar nueve especies de murciélagos insectívoros aéreos en la cuenca media del río Lebrija, ubicada en el costado occidental del valle del Magdalena medio. Cabe resaltar que dos de estas especies *Molossus bondae* y *Cynomops planirostris*, se registran por primera vez para el departamento de Santander.

De manera general se lograron describir cuatro especies de la familia Molossidae, las cuales fueron capturadas en su mayoría en la quebrada “la Condera”. *Molossus molossus* y *Molossus bondae* son especies que ocurren simpátricamente en el área de estudio. Sin embargo, presentan diferencias en sus parámetros acústicos denotadas en este estudio. Con el fin de cuantificar estas diferencias se utilizó el enfoque usado por Jung *et al.* (2007) Jung *et al.* (2014), que consiste en dividir los pulsos en tres o cuatro categorías “Bajo”, “Medio” y “Alto”, las cuales no son más que alternaciones de la frecuencia utilizadas por los murciélagos para ampliar el rango de tamaños de potenciales presas. El análisis de clasificación realizado con el paquete “randomForest” reveló que las variables más importantes para la correcta discriminación de las especies son la duración del pulso y la frecuencia inicial (Fig. 9). Estos dos parámetros difieren significativamente entre sí, en las especies *M. molossus* y *M. bondae*. Las diferencias descritas están relacionadas con el uso diferencial del hábitat y el tipo de presas potenciales. La duración del pulso determina la distancia de detección; es decir pulsos de mayor duración permiten detectar presas a mayores distancias, pero incrementan el área de solapamiento del eco de interés con los ecos provenientes de la vegetación (Denzinger & Schnitzler 2013). De manera general, nuestros resultados coinciden con los recopilados por Jung *et al.* (2014) para *M.*

molossus, *M. bondae* y *M. temminckii*, en relación a los parámetros acústicos y estructura general del llamado. Sin embargo, discrepan con los reportados para *Cynomops planirostris*, específicamente en la frecuencia final, lo que podría atribuirse a que solo fue capturado un solo individuo de esta especie. Por último, *Molossops temminckii*; presenta un comportamiento ecolocalizador inusual en molósidos, y explica por qué esta especie solo fue capturada en el borde de bosque (Tabla. 1), donde se alimenta de pequeños insectos cerca de la vegetación (Guillén-Servent & Ibáñez 2007)

Los murciélagos embalonúridos generalmente se agrupan dentro del gremio de los forrajeadores de borde (Kalko *et al.* 2008) y emiten pulsos de banda estrecha en la que se concentra la mayor cantidad de energía; a esto se le adiciona la estructura cuasiconstante (QCF) prominente, que se relaciona estrechamente con la sensibilidad a los cortos “destellos” producidos por el aleteo de pequeños insectos, preferidos por la mayoría de especies (Fenton *et al.* 1999). El género *Saccopterix* está representado en este trabajo por dos especies *S. bilineata* y *S. leptura*, las cuales ocurren simpátricamente en el área de estudio, y difieren significativamente en sus parámetros espectrales. En contraste, *Rhynchonycteris naso* presenta pulsos con una frecuencia máxima mucho mayor (98 kHz) que *S. bilineata* (45/47 kHz) y *S. leptura* (51/54 kHz), lo anterior podría estar influenciado por el minúsculo tamaño de las presas que caza en la superficie del agua (K. Jung, com.pers.)

En este estudio, la familia Vespertilionidae está representada por dos especies *Myotis nigricans* y *Myotis riparius*, ambas especies tienen un patrón de estructura de frecuencia modulada (FM) descendiente, característico de los vespertiliónidos. Estudios previos han identificado la frecuencia final y la duración del pulso como las variables que más aportan a la discriminación de las especies (Ochoa *et al.* 2000; Miller 2003), lo cual también se evidencia en nuestros análisis, donde la “Duración” y la “Frecuencia final” denotan un alto poder clasificatorio (Fig. 9). Siemers *et al.* (2001) encuentra que *Myotis nigricans* forrajea en dos diferentes tipos de hábitats: espacios abiertos y bordes, en los que adapta la estructura

general del pulso en pro de satisfacer las metas sensoriales en cada ambiente; en situaciones de borde *M. nigricans* reacciona aumentando la modulación de sus señales, y acortando la duración del pulso para evitar el solapamiento; mientras que en espacios abiertos sucede lo contrario: reduce la modulación y aumenta la duración del pulso ante la ausencia del enmascaramiento producido la vegetación (Fig. 11). Por tanto, nuestros resultados apuntan a que la estructura general del llamado representado en la figura 8, corresponde a un llamado en fase de búsqueda en un ambiente abierto.

La familia Noctilionidae contiene dos especies: *Noctilio leporinus* y *Noctilio albiventris*; de las cuales solo la segunda especie fue capturada y referenciada en el área de estudio. Ambas especies poseen una estructura similar en sus llamados de ecolocación, produciendo una mezcla de señales de frecuencia constante (CF) con extremos en frecuencia modulada descendiente denominados “Alto”, y pulsos con una corta fase inicial de frecuencia cuasiconstante (QCF) que decae en frecuencia modulada “Bajo” (Fig. 9, tabla. 4). Kalko *et al.* (1998) Propone que el pulso de CF “Alto”, es de especial importancia al momento de forrajear en busca de insectos en espacios con alta vegetación, mediante la estrategia denominada compensación por efecto Doppler, en la cual el murciélago analiza las variaciones en el eco del pulso de CF discriminando entre el patrón de refracción característico de los insectos al batir las alas, y los ecos sin modulación de la vegetación circundante. En contraste, otros murciélagos que utilizan la modulación por efecto Doppler en sus fases de aproximación y captura (ej. Rinolófidos, Hipposideros, y Mormopidos), *N. albiventris* utiliza el segundo componente “Bajo” durante la fase de aproximación y captura para triangular la posición del insecto, una vez este ha sido detectado y clasificado, recopilando el comportamiento ecolocalizador de los insectívoros aéreos (Schnitzler & Kalko 2001).

5.2 REGISTRO DE ESPECIES EN VUELO LIBRE.

Para la familia Emballonuridae se detectaron 4 especies adicionales: *Peropteryx kappleri*, *Peropteryx macrotis*, *Saccopteryx leptura* y *Cormura brevirostris*. Estas

especies difieren significativamente en sus parámetros espectrales y temporales ($F_{4,63} = 4339.5$ $p < 0,001$) y presentan características que los hacen fácilmente distinguibles a partir de sus parámetros acústicos. Las señales en fase de búsqueda del género *Peropteryx* son de corta duración y modulación muy baja, lo que reduce la posibilidad de recibir ecos de la vegetación durante la emisión del sonido, y el enmascaramiento de los ecos provenientes de las presas con los de la vegetación (Schnitzler & Kalko 2001). Curiosamente, la modulación de los llamados en fase de búsqueda de las especies de embalonúridos, forrajeando en bordes es muy baja ($< 0,5$ kHz/ms) en comparación con Vespertilionidos y Noctilionidos (> 2 kHz/ms). Probablemente, los murciélagos embalonúridos integran información de los otros armónicos, logrando así información más detallada de la presa potencial (Jung *et al.* 2007). *S. leptura* presenta pulsos de estructura similar a *S. bilineata*; esta estructura se compone de dos pulsos sucesivos “Bajo” y “Alto”, en donde la frecuencia de máxima energía (FM) se alterna. Estas especies pueden ser fácilmente discriminadas a partir de su FM, en la que *S. leptura* presenta valores comparativamente más altos (Tabla. 6, Tabla. 6). *Cormura brevirostris* al igual que *S. bilineata* y *S. leptura*, presenta alternación de frecuencias en sus pulsos, dos tipos de frecuencias en las primeras dos y tres tipos en *C. brevirostris*; adicionalmente, esta especie en algunos casos omite el primer pulso “Bajo” en la secuencia ecolocalizadora, alternando entre “Medio” y “Alto”, probablemente cuando se acerca a la vegetación.

Para la familia Molósidæ se detectó una sola especie del género *Eumops*. Este género se caracteriza por emitir pulsos de bajas frecuencias (> 35 kHz) con una estructura curvilínea descendiente de larga duración (> 14 ms), invirtiendo la mayor cantidad de energía en el primer armónico (Mora & Torres 2008; Jung *et al.* 2014). La especie *Eumops glaucinus* se encuentra referenciada en dos trabajos previos; En el primero Mora & Torres (2008) se describen los pulsos de ecolocación de esta especie para la isla de Cuba, los cuales en estructura y forma no difieren de los presentados en este trabajo, sin embargo los parámetros espectrales como: la

frecuencia inicial [22,7(\pm 3,9)kHz], la frecuencia final [15,3(\pm 2,0)] y la frecuencia pico [17,9(\pm 2,1)kHz] en la fase de búsqueda son menores que los reportados en este estudio (Tabla. 6) y coinciden con los reportados para *Nyctinomops macrotis*, en Mora & Torres (2008). En contraste, Jung *et al.* (2014) incluye en las especies referenciadas a *E. glaucinus* con datos tomados en Venezuela y Brasil, que coinciden con los parámetros estructurales y espectrales incluidos en este trabajo. Lo anterior genera una incertidumbre en relación a la identificación taxonómica en este estudio la cual seguramente podrá ser esclarecida con la captura, referenciación y sucesiva colecta de estos especímenes en la región.

Por último, el fonotipo denotado como *Eptesicus sp.* Posee las características descritas por Miller (2003) para este género. En general los llamados de *Eptesicus* son curvilíneos de forma descendente, con el segmento terminal suavizado hasta llegar a frecuencia constante. En el área de estudio se detectaron dos especies; la primera reportada por Miller (2003) para Belice como *Eptesicus furinalis*, que coincide en parámetros como frecuencia final (FF) y duración del pulso (DUR). Sin embargo, Ochoa *et al.* (2000) en un trabajo realizado en el norte de Venezuela ubica a *Eptesicus furinalis* sobre los 40kHz y a *Eptesicus brasiliensis* en un rango de 35-40 kHz. Lo anterior no permite tener una certeza en la identificación acústica de la especie.

6. CONCLUSIONES

- En el presente estudio se referenciaron y colectaron 56 individuos de las especies *Noctilio albiventris*, *Molossus bondae*, *Molossus molossus*, *Molossops temminckii*, *Cynomops planirostris*, *Myotis nigricans*, *Myotis riparius*, *Saccopteryx bilineata* y *Rhynchonycteris naso*, las cuales fueron depositadas en el Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander.
- Se identificaron 6 fonotipos en los ambientes de forrajeo y se les asignó una identidad probable (*Eptesicus sp*, *Peropterix kappleri*, *Peropterix macrotis*, *Saccopteryx leptura*, *Cormura brevirostris*, y *Eumops sp*) a partir de los parámetros establecidos en los trabajos publicados para murciélagos del neotrópico.
- Se identificaron los parámetros “Duración” y “Frecuencia Inicial”, como aquellos que más aportan a la discriminación de los fonotipos presentados. Estas características sumadas a la forma del llamado, el número de armónicos y las alternaciones de frecuencia, ofrecen un criterio inequívoco para el reconocimiento de las especies referenciadas en el presente trabajo.
- De manera general las señales de ecolocalización en fase de búsqueda de los murciélagos insectívoros aéreos, permitieron detectar el 28% (16 especies) del ensamblaje total de murciélagos con distribución potencial para el área de estudio (57 especies). Resaltando así la importancia de la implementación de métodos de muestreo que contribuyan más acertadamente al conocimiento de la distribución y ecología de este grupo.

7. RECOMENDACIONES

- La elaboración de librerías de llamados de ecolocalización es un proceso que requiere la implementación de más de una técnica de grabación, pues algunas especies (como el caso de *Molossus* sp) modifican la estructura del llamado. Por tanto, se recomienda combinar las técnicas de grabación disponibles (línea de vuelo “Zip-line”, liberación manual “Hand-release” y cuarto de vuelo “Flight-room”), teniendo en cuenta las consideraciones logísticas y la representatividad de la especie en colecciones, en aras de obtener grabaciones de buena calidad que permitan la identificación en vuelo libre de las especies de murciélagos.
- En el mercado existen múltiples sistemas que permiten la grabación manual y automatizada de los llamados de ecolocalización ej: Wildlife Acoustics, Petterson, Batlogger, Avisoft Bioacoustics, Ultramic y Anabat, que generan gran cantidad de información referente a la ecología y distribución de estas especies. Sin embargo, las diferentes formas de análisis y organización de estos datos impiden la comparación y subsecuente aplicación en trabajos de mayor complejidad. En este sentido, se recomienda la creación de redes de contacto entre investigadores que permitan estandarizar las metodologías de muestreo y análisis de esta información, en aras de incluir los resultados obtenidos en planes de manejo y estrategias de conservación nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahumada, J. et al., 2015. Monitoring Indicators and Protocols | TEAM Network - Early Warning System for Nature. Available at: <http://www.teamnetwork.org/protocols> [Accessed December 23, 2015].
- Aldridge, A.H.D.J.N. & Rautenbach, I.L., 1987. Morphology, Echolocation and Resource Partitioning in Insectivorous Bats., pp.763–778.
- Barclay, R.M.R. & Brigham, R.M., 2004. Geographic variation in the echolocation calls of Bats: A complication for identifying species by their calls. In R. M. Brigham et al., eds. *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis*.
- Barnett, A. a., Sampaio, E. M., Kalko, E. K. V., Shapley, R. L., Fischer, E., Camargo, G., & Rodríguez-Herrera, B. (2006). Bats of Jaú National Park, central Amazônia, Brazil. *Acta Chiropterologica*, 103–128.
- Barlow, K. & Jones, G., 1997. Function of pipistrelle social calls: field data and a playback experiment. *Animal behaviour*, pp.991–999.
- Bat Conservation International, 2016. Global bat species richness. Available at: <http://www.batcon.org/why-bats/bats-are/bats-are-everywhere> [Accessed January 4, 2016].
- Boyles, J.G. et al., 2011. Economic importance of bats in agriculture. *Science* 332, pp.11–12.
- Briones-Salas, M., Peralta-Pérez, M. & García-Luis, M., 2013. Acoustic characterization of new species of bats for the State of Oaxaca, Mexico. *Therya*, 4(1), pp.15–32.
- Carvajal-Marín, L.A., 2009. *Caracterización Preliminar de los sonidos de*

ecolocación de dos especies de murciélagos (mammalia:Chiroptera) presentes en la estación biológica el frío, estado de apure, Venezuela. Pontificia Universidad Javeriana, pp. 65.

Bioacoustics Research Program. (2011). Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.4) [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. Available from <http://www.birds.cornell.edu/raven>.

Denzinger, A. & Schnitzler, H.-U., 2013. Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Frontiers in physiology*, p.164.

Farrell, M.J.O. et al., 1999. Use of vocal signatures for the inventory of free-flying Neotropical Bats. , 31(April 1997), pp.507–516.

Fenton, M.B. et al., 1999. Constant-frequency and frequency-modulated components in the echolocation calls of three species of small bats (Emballonuridae, Thyropteridae, and Vespertilionidae). *Canadian Journal of Zoology*, pp.1891–1900.

Fenton, M.B., 2013. Questions, ideas and tools: Lessons from bat echolocation. *Animal Behaviour*, 85(5), pp.869–879.

Fenton, M.B., 2004. Reporting: essential information and analysis. In R. M. Brigham et al., eds. *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis*. Austin, Texas: Bat Conservation International.

Fenton, M.B., 1990. The foraging behaviour and ecology of animal-eating bats. *Canadian Journal of Zoology*, 68(3), pp.411–422.

Gardner, A., 2007. *Mammals of South America Volumen 1.*, The University of Chicago Press.

Greif, S. & Siemers, B.M., 2010. Innate recognition of water bodies in echolocating bats. *Nature communications*, p.107.

- Griffin, D.R., Webster, F. a. & Michael, C.R., 1960. The echolocation of flying insects by bats. *Animal Behaviour*, 8, pp.141–154.
- Guillén-Servent, A. & Ibáñez, C., 2007. Unusual echolocation behavior in a small molossid bat, *Molossops temminckii*, that forages near background clutter. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, pp.1599–1613.
- Jones, 1999. *Pipistrellus pipistrellus*. In G. Amori et al., eds. *The Atlas of European Mammals*. London: Poyser Natural History, pp. 126–127.
- Jones, G., 1997. Acoustic signals and speciation: The roles of natural and sexual selection in the evolution of cryptic species. *Advances in the Study of Behavior*, pp.317–354.
- Jones, G. et al., 2009. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*, pp.93–115.
- Jones, G. & Van-Parijs, S.M., 1993. Bimodal echolocation in pipistrelle bats: are cryptic species present? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, pp.119–25.
- Jung, K., Kalko, E.K. V. & von Helversen, O., 2007. Echolocation calls in central american emballonurid bats: signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology*, 272(2), pp.125–137.
- Jung, K., Molinari, J. & Kalko, E.K. V., 2014. Driving factors for the evolution of species-specific echolocation call design in new world free-tailed bats (molossidae). *PLoS ONE*, 9.
- Kalko, E.K. V et al., 2008. Flying high--assessing the use of the aerosphere by bats. *Integrative and comparative biology*, 48(1), pp.60–73.
- Kalko, E.K. V. et al., 1998. Echolocation and foraging behavior of the lesser bulldog bat, *Noctilio albiventris*: Preadaptations for piscivory? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 42(5), pp.305–319.

- Kalko, E. K. V. (1998). Organisation and diversity of tropical bat communities through space and time. *Zoology*, 101(4), 281–297.
- Liaw, A. & Wiener, M., 2002. Classification and regression by randomForest. *R news*, 2(December), pp.18–22.
- Limpers, H.J., 2004. Field identification: using bat detectors to identify species. in M. Brigham et al., eds. *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis*. Austin, Texas: Bat Conservation International, pp. 46–57.
- Luo, J. et al., 2014. Global warming alters sound transmission : differential impact on the prey detection ability of echolocating bats.
- Macías, S., Mora, E.C. & García, A., 2006. Acoustic Identification of Mormoopid Bats: a survey during the evening exodus. *Journal of Mammalogy*, 87(2), pp.324–330.
- MacSwiney ., M.C. et al., 2009. Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan peninsula, México. *Acta Chiropterologica*, pp.139–147.
- Mantilla-Meluk, H. et al., 2014. Emballonurid bats from Colombia: Annotated checklist, distribution, and biogeography. *Therya*, 5(1), pp.229–255.
- Mayer, F. & Helversen, O. v., 1999. Cryptic diversity in European bats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, pp.1825–1832.
- Meyer, C.F.J. et al., 2011. Accounting for detectability improves estimates of species richness in tropical bat surveys. *Journal of Applied Ecology*, pp.777–787.
- Miller, B.W., 2003. Community ecology of the non-phylostomid bats of northwestern Belize, with a landscape level assessment of the bats of Belize . , PhD., p.292.
- Mora, E.C. & Macías, S., 2011. Short Cf-Fm and Fm-short CF calls in the echolocation behavior of *Pteronotus macleayii* (Chiroptera: Mormoopidae).

- Acta Chiropterologica*, 13(2), pp.457–463.
- Mora, E.C. & Torres, L., 2008. Echolocation in the large molossid bats *Eumops glaucinus* and *Nyctinomops macrotis*. *Zoological science*, pp.6–13.
- Neuweiler, G., 1989. Foraging ecology and audition in echotiting Bats. *Trends in Ecology and Evolution*, 4(6).
- Ochoa, J., O' Farrell, M. & Miller, B.W., 2000. Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela. *Acta Chiropterologica*.
- Orozco-Lugo, L. et al., 2013. Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya*, pp.33–46.
- Pinilla, C., Rodríguez-Bolaños, A. & Vogtschmidt, S., 2013. Descripción de pulsos de ecolocalización de *Phyllostomus hastatus* (Pallas, 1767) en un bosque húmedo tropical de San Francisco (Cundinamarca, Colombia). *Revista Biodiversidad Neotropical*, pp.106–112.
- Ramirez-Chaves, H.E. & Suárez-Castro, A.F., 2014. Adiciones y cambios a la lista de mamíferos de Colombia: 500 especies registradas para el territorio nacional. *Mammalogy Notes*, vol 1, pp.31–33.
- Restrepo-Giraldo.2015. *Uso de Microhábitat de los murciélagos insectívoros aéreos en tres ecoparques de la ciudad de Manizales (Caldas, Colombia)*. Universidad de Caldas, pp. 91.
- Rivera-Parra, P. & Burneo, S.F., 2013. Primera biblioteca de llamadas de ecolocalización de murciélagos del Ecuador. *Therya*, 4(1), pp.79–88.
- Rodríguez-Moreno, R.A. et al., 2013. Anfibios , Reptiles Y Mamíferos del Área de Influencia, Proyecto Hidrosogamoso, Guía ilustrada. *Isagen-Universidad Industrial de Santander*, p.168.

- Sánchez, F., 2011. La Heterogeneidad del paisaje del borde norte de Bogotá (Colombia) afecta la actividad de los murciélagos Insectívoros. *Actualidad & Divulgación Científica*, 14 (1), pp.71–80.
- Schnitzler, H. & Kalko, E., 2001. Echolocation by insect-eating bats. *BioScience*, pp.557–569.
- Schnitzler, H.-U. et al., 1994. Fishing and echolocation behavior of the greater bulldog bat, *Noctilio leporinus*, in the field. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, pp.327–345.
- Schnitzler, H.-U. & Kalko, E.K.V., 1998. How echolocating bats search and find food. In *Bat Biology and Conservation* (Kunz, Thomas H. Racey, P. A.). Smithsonian Institution Press, pp. 183–196.
- Schnitzler, H.-U., Moss, C.F. & Denzinger, A., 2003. From spatial orientation to food acquisition in echolocating bats. *Trends in Ecology & Evolution*, pp.386–394.
- Siemers, B., Kalko, E. & Schnitzler, H.-U., 2001. Echolocation behavior and signal plasticity in the Neotropical bat *Myotis nigricans* (Schinz, 1821) (Vespertilionidae): a convergent case with European species of *Pipistrellus*? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, pp.317–328.
- Simon, R. et al., 2011. Floral acoustics: conspicuous echoes of a dish-shaped leaf attract bat pollinators. *Science (New York, N.Y.)*, pp.631–3.
- Solari, S. et al., 2013. Riqueza, endemismo y conservación de los mamíferos de Colombia. *Mastozoología Neotropical*.
- Stebbing, R.E., 1988. *The conservation of European Bats*, Christopher Helm Pub Limited.
- Straube, F.C. & Bianconi, G.V., 2002. Sobre a grandeza e a unidade utilizada para estimar esforço de captura com utilização de redes-de-neblina. *Chiroptera*

Neotropical, 1(2), pp.150–152.

Szewczak, J.M., 2000. A tethered zip-line method for collecting reliable bat echolocation reference calls. *Bat Research News*, 41(4), pp.142–143.

Teeling, E.C. et al., 2005. A molecular phylogeny for bats illuminates biogeography and the fossil record. *Science (New York, N.Y.)*, 307(5709), pp.580–584.
Available at: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1105113>.

Tirira, D., 2007. *Guía de campo de los mamíferos del Ecuador* Ediciones ., publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador.

Vaughan, N., Jones, G. & Harris, S., 1997. Identification of British bat species by multivariate analysis of echolocation call parameters. *The International Journal of animal sound and its recording*, pp.189–207.

Voss, R.S., Lunde, D.P. & Simmons, N.B., 2001. The Mammals of Paracou, French Guiana: a Neotropical lowland rainforest fauna Part 2. Nonvolant species. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 263, pp.3–236.

Zingg, P.E., 1990. Akustische Artidentifikation von Fledermäusen (Mammalia: Chiroptera) in der Schweiz. *Revue suisse de zoologie.*, pp.263–294.

Zurc, D. (2015). *Diversidad acústica de los murciélagos insectívoros aéreos en relación a la estructura del hábitat en la sabana xerófila-semiseca de la Reserva Natural Sangaré (norte de Colombia)*. Universidad de Antioquia.

	<i>M.temm</i> bajo	<i>M.nigr</i>	<i>M.ripa</i>	<i>N.albi</i> alto	<i>N.albi</i> bajo	<i>R.naso</i>	<i>S.bili</i> alto	<i>S.bili</i> bajo	Error clase
<i>C.plani</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000
<i>M.bond</i> alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3333
<i>M.bond</i> bajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0983
<i>M.bond</i> medio	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0869
<i>M.molo</i> alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0701
<i>M.molo</i> bajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1818
<i>M.molo</i> medio	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0689
<i>M.temm</i> alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2857
<i>M.temm</i> bajo	107	0	0	0	0	0	0	0	0.0000
<i>M.nigr</i>	0	51	0	0	0	0	0	0	0.0000
<i>M.ripa</i>	0	0	45	0	0	0	0	0	0.0000
<i>N.albi</i> alto	0	0		30	0	0	0	0	0.0000
<i>N.albi</i> bajo	0	0	0	0	51	0	0	0	0.0000
<i>R.naso</i>	0	0	0	0	0	19	0	0	0.0000
<i>S.bili</i> alto	0	0	0	0	0	0	12	4	0.2500
<i>S.bili</i> bajo	0	0	0	0	0	0	3	14	0.1764

Anexo B. Relación de especies de murciélagos con distribución potencial en el Valle del Magdalena Medio, modificada de (Solari et al. 2013; Rodríguez-Moreno et al. 2013)

Taxón	Elevación	sinónimo	Notas
Embalonuridae			
<i>Centronycteris centralis</i>	0-520		
<i>Diclidurus albus</i>	0-1000	<i>virgo</i>	Posible
<i>Peropteryx kappleri</i>	0-1750		
<i>Peropteryx macrotis</i>	0-1800		
<i>Rhynchonycteris naso</i>	0-1000		
<i>Saccopteryx bilineata</i>	0-1000		
<i>Saccopteryx leptura</i>	0-100		
Noctilionidae			
<i>Noctilio leporinus</i>	0-500		
<i>Noctilio albiventris</i>	0-2600		
Mormopidae			
<i>Mormopos megalophylla</i>	0-2100		
<i>Pteronotus parnellii</i>	0-1200	<i>fuscus</i>	Posible
Vespertilionidae			
<i>Eptesicus brasiliensis</i>	0-1200	<i>melanopterus</i>	
<i>Eptesicus chiriquinus</i>	0-220	<i>brasiliensis</i>	
<i>Lasiurus blossevillii</i>	500-2600	<i>borealis, frantzi</i>	Posible
<i>Lasiurus ega</i>	0-1860	<i>Dasypterus fuscatus, panamensis</i>	
<i>Myotis albescens</i>	0-1850		
<i>Myotis nigricans</i>	0-2800	<i>bondae, caucensis, punesis</i>	
<i>Myotis riparius</i>	0-2500		
<i>Rhogeessa io</i>	0-260	<i>bombyx, tumida</i>	
<i>Histiotus montanus</i>	0-2000	<i>columbiae</i>	Presente
<i>Rhogeessa minutilla</i>	0-600		Posible
Molossidae			
<i>Eumops auripendulus</i>	35-1800	<i>milleri</i>	
<i>Eumops dabbenei</i>			Magdalena medio
<i>Eumops perotis</i>	0-500		

<i>Eumops glaucinus</i>	0-2800		
<i>Molossops temmincki</i>	0-770	<i>griseiventer</i>	
<i>Molossus bondae</i>	20-1200	<i>currentium</i>	Posible
<i>Molossus molossus</i>	0-2160		
<i>Molossus pretiosus</i>	0-1200		
<i>Molossus rufus</i>	0-1950	<i>ater</i>	Posible
<i>Nyctinomops aurispinosus</i>	0-2600	<i>similis</i>	Posible
<i>Nyctinomops macrotis</i>	0-2600		
Phyllostomidae			
<i>Lamproncycteris brachyotis</i>	0-700		
<i>Microncycteris schmidtorum</i>	10-160		
<i>Desmodus rotundus</i>	0-2600		
<i>Microncycteris hirsuta</i>	0-1100		
<i>Lonchorrhina aurita</i>	25-1550		
<i>Vampyrum spectrum</i>	10-1065		
<i>Phyllostomus discolor</i>	10-1650		
<i>Phyllostomus hastatus</i>	0-1295	<i>panamensis, curaca</i>	
<i>Anoura geoffroyi</i>	500-3600		
<i>Glossophaga soricina</i>	0-1800		
<i>Lonchophylla robusta</i>	0-2050		
<i>Chiroderma salvini</i>	0-2000		
<i>Carollia brevicauda</i>	500-2000	<i>colombiana</i>	
<i>Carollia castanea</i>	0-1500		
<i>Carollia perspicillata</i>	0-2000		
<i>Sturnira liliium</i>	0-1900	<i>parvidens</i>	
<i>Platyrrhinus dorsalis</i>	0-2500		
<i>Platyrrhinus helleri</i>	0-1900		
<i>Uroderma bilobatum</i>	0-1500	<i>convexum</i>	
<i>Vampyressa thyone</i>	0-1900	<i>pusilla</i>	
<i>Artibeus jamaicensis</i>	0-2100		
<i>Artibeus lituratus</i>	0-2600	<i>palmarum</i>	
<i>Dermanura anderseni</i>	0-750		
<i>Enchisthenes hartii</i>	0-2475		
Thyropteridae			
<i>Thyroptera tricolor</i>	140-2000		