

**Identificación de Especies de Murciélagos Insectívoros Aéreos Mediante datos Acústicos en
el Área de Influencia del Embalse Topocoro-Santander**

Jefferson Sánchez Castrillón

Trabajo de Grado Para Optar al Título de Biólogo

Director

Víctor Hugo Serrano Cardozo., Phd

Tutor

Omar Gustavo Reyes Garzón, Biólogo

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias Básicas

Escuela de Biología

Bucaramanga

2018

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos específicos	15
2. Competencias	16
3. Metodología	16
3.1 Área de estudio	16
3.2 Muestreo acústico	21
3.3 Análisis de datos Acústicos.	21
3.4 Selección de datos acústicos para la calibración del software BatScope 3.0.....	23
4. Resultados y Discusión	25
4.1 Descripción de Sonotipos identificados en el área de estudio.	25
4.1.1 Familia Emballonuridae.....	28
4.1.2 Familia Vespertilionidae.....	30
4.1.3 Familia Noctilionidae.....	31

4.1.4 Familia Molossidae y Mormoopidae	33
4.1.5 Sonotipos.....	35
4.2 Inventario de especies	37
4.3 Representatividad de especies por localidad.....	38
4.4 Actividad acústica por localidad	41
4.5 Validación estadística	46
4.6 Selección de datos acústicos para la calibración del software BatScope.....	48
5. Conclusiones.....	51
Referencias Bibliográficas	52

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Localización de los sitios de muestreo en la franja y las áreas de reserva protectora (ARPR) del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso</i>	18
Tabla 2. <i>Número de secuencias acústicas seleccionadas con baja relación señal ruido por localidad.</i>	25
Tabla 3. <i>Parámetros acústicos de las especies de murciélagos insectívoros aéreos reportadas.</i>	26
Tabla 4. <i>Comparación sonotipo 3 y 17 con Reyes-Garzón 2015</i>	37
Tabla 5. <i>Lista de especies identificadas en el área de estudio a partir de las acústicas.</i>	38
Tabla 6. <i>Representatividad de sonotipos por ambientes de forrajeo en el área de estudio.</i>	40
Tabla 7. <i>Coberturas vegetales y ambientes de forrajeo para cada localidad de muestreo.</i>	42
Tabla 8. <i>Numero de chillidos enviados a Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL</i>	49

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Localización General de las Áreas de Muestreo Acústico para Murciélagos Insectívoros Aéreos.....	17
<i>Figura 2.</i> Sonograma registrados de la familia Emballonuridae.	29
<i>Figura 3.</i> Sonotipos registrados para la familia Vespertilionidae.	30
<i>Figura 4.</i> Sonotipos registrados para la familia Noctilionidae.	32
<i>Figura 5.</i> Sonotipos registrados para las familias Molossidae y Mormoopidae.....	33
<i>Figura 6.</i> Sonogramas registrados en el área de estudio que no se lograron asociar a una especie.	35
<i>Figura 7.</i> Número de especies de murciélagos insectívoros aéreos por localidad	39
<i>Figura 8.</i> Variables importantes para la discriminación de Sonotipos en el modelo.	47

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Bibliotecas acústicas para MIA en centro y sur América utilizadas como referencia.	61
Apéndice B. Matriz de confusión.	66
Apéndice C. Datos enviados al Swiss Federal Research Institute WSL.....	67

Resumen

Título: Identificación de Especies de Murciélagos Insectívoros Aéreos Mediante Datos Acústicos en el Área de Influencia del Embalse Topocoro-Santander.*

Autor: Sánchez Castrillón, Jefferson**

Palabras clave: Murciélagos, Insectívoros aéreos, Ecolocalización, Bioacústica

Descripción:

Actualmente los estudios acústicos complementan los muestreos tradicionales y permiten una mayor detección del ensamble de murciélagos insectívoros, generalmente subestimados en los inventarios realizados con métodos tradicionales. Los chillidos ultrasónicos emitidos por los murciélagos mantienen un estereotipo especie-específico respecto a los parámetros de frecuencia, estructura y duración, constituyendo una herramienta confiable para la identificación taxonómica de las especies. En este trabajo se estudiaron los datos acústicos de seis localidades dentro del área de reserva y franja de protección (ARPR) de la Central Hidroeléctrica Sogamoso durante los meses de marzo-agosto de 2016. En donde se registraron 7119 secuencias y 553.5 horas de grabación, que permitieron identificar 19 especies de murciélagos insectívoros aéreos, lo que corresponde al 45.2% de las especies reportadas y con distribución potencial para el departamento de Santander. Adicionalmente, se encontraron 15 sonotipos de los cuales 9 se lograron identificar a nivel de familia, 3 a nivel de género, 2 chillidos sociales y 4 sin identificar. Las familias Emballonuridae y Molossidae fueron las más representativas en las diferentes áreas de estudio, estas especies forrajean principalmente en espacios abiertos y espacios de borde, ambientes que son generados mayormente por el alto grado de intervención antrópica registrado en la zona producto de la creación de potreros y cultivos agroforestales. Esta pasantía se enmarcó en el Proyecto de extensión UIS - ISAGEN “Monitoreo de la Fauna Terrestre Existente en la Franja de Protección del Embalse de la Central Hidroeléctrica Sogamoso y Áreas de Reserva Protectora”.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo, Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Abstract

Title: Identification of Species of Aerial Insectivorous Bats Using Acoustic data in the Area of Influence of the Topocoro-Santander Reservoir.*

Author: Sánchez Castrillón, Jefferson**

Keywords: Bats, aerial Insectivores, Echolocation, Bioacoustics.

Description:

Currently, acoustic studies complement traditional sampling and allow a greater detection of insectivorous bat assemblages. Ultrasonic call sound emitted by bats maintain a specific species stereotype with respect to frequency, structure, and duration parameters, constituting a reliable tool for taxonomic identification of species. Acoustic data from six localities within the reserve and protection strip (ARPR) of the Sogamoso Hydroelectric Power Plant, were recorded during the months of March- August 2016, where 7119 sequences and 553.5 hours of recording, which allowed identifying 19 species of aerial insectivorous bats, which corresponds to 45.2% of the species reported and with potential distribution for the Department of Santander. Of those whos 9 were identified at the family level, 3 at the gender level, 2 social calls and 4 without identifying. The families Emballonuridae and Molossidae were the most representative in the different areas of this study. These species forage mainly in open spaces and edge spaces, environments that have been generated mostly by the high degree of anthropic intervention recorded in the area as a result of the creation of pastures and agroforestry crops. This internship is part of the Extension Project UIS-ISAGEN "Monitoring of the land Fauna Existing in the Protection Strip of The Embalse of Sogamoso Hydroelectric Power Plant and Protective Reserve Areas".

*Degree work

**Science Faculty. School of Biology. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo, Doctor of Biological Sciences, National Autonomous University of Mexico, Mexico

Introducción

En el planeta existen un poco más de 1300 especies de murciélagos; en Colombia el orden Chiroptera está representado por 9 familias, 72 géneros y 205 especies de las cuales 7 son endémicas. (Ramírez-Chaves *et al.*, 2016), ubicando al país como el segundo con mayor diversidad de murciélagos en el mundo (Bat Conservation International 2016). Las listas nacionales o regionales (“checklists”) de especies, constituyen herramientas necesarias para la toma de decisiones respecto al conocimiento y conservación de la diversidad taxonómica en un determinado país o región (Solari *et al.*, 2013). La realización de inventarios más precisos de especies es la base para el conocimiento y conservación de la biodiversidad, pues para tomar decisiones acertadas y confiables acerca de las especies, primero debe confirmarse su presencia (Ochoa *et al.*, 2000).

Actualmente, los métodos más usados para monitorear murciélagos son a través de las redes de niebla, o trampas arpa (MacSwiney *et al.*, 2008), los cuales están muy limitados a especies que vuelan y/o forrajean no más que unos pocos metros por encima del suelo. Por lo tanto, los murciélagos que cazan insectos voladores dentro del dosel o por encima de él son en general poco representados o incluso no son detectados (Miller, 2004), además de los que pueden detectar y evitar fácilmente las redes de niebla sin poder ser capturados con facilidad (Kalko y Handley, 2001). Por este motivo, se ha desarrollado en los últimos años la técnica del monitoreo acústico como una herramienta importante para la identificación de estas especies y se basa en la forma y

el patrón de sus chillidos de ecolocación (Gannon y Bogdanowicz, 2000; Limpens, 2002; Kalko *et al.*, 2008).

La bioacústica, es una técnica complementaria a las técnicas tradicionales lo que permite disminuir el sesgo en los inventarios, detectando especies que pasan desapercibidas en los inventarios realizados con redes de niebla, además permite con base a grabaciones de los chillidos de ecolocación, estudiar varios aspectos de su historia natural y la identificación de especies a partir del análisis de grabaciones realizadas en campo, con base a parámetros seleccionados, comparación de las estructuras de chillidos con bibliografía disponible y bibliotecas acústicas ya construidas, todo esto corroborado con la aplicación de modelos estadísticos (Walters *et al.*, 2012); los diversos estudios realizados con este método están enfocados en la identificación de especies, la descripción de los chillidos, ampliar los listados taxonómicos, la distribución de las especies, así como a evaluar la conducta y la actividad de forrajeo ej: (Fenton & Bell 1981; Kunz 1982; Fenton, 1990; O'Farrell & Miller, 1999; Thomas, 1999; Obrist *et al.*, 2004; Jung & Kalko 2007; Macswiney *et al.*, 2008; MacSwiney *et al.*, 2009; Teeling, 2009; Breiman *et al.*, 2011; Collen, 2012; Jung *et al.*, 2014 y Lopez-Baucells, 2016), se ha documentado que los murciélagos insectívoros mantienen un estereotipo similar en estructura y parámetros acústicos de los chillidos emitidos (frecuencias, forma y duración), esta similitud se mantiene a nivel de familia y especies. Otros estudios comparativos han revelado que los murciélagos que forrajean en hábitats similares con modos de alimentación y dietas similares encuentran limitaciones ecológicas en común y comparten adaptaciones similares de los sistemas sensoriales (ecolocalización, visión, olfato y escucha pasiva) (Kalko *et al.*, 1996; Schnitzler & Kalko 1998 y Denzinger & Schnitzler 2001) y motores (habilidad de vuelo, morfología alar), (Norberg & Rayner, 1987; Fenton, 1990). En este

sentido, las restricciones ecológicas como los tipos de ambientes de forrajeo ejercen una fuerte presión sobre la estructura del chillido (Denzinger & Schnitzler 2001); en este contexto, organizar conjuntos de especies en gremios, es decir, grupos de especies que viven en condiciones ecológicas similares (Root 1967), ha demostrado ser un enfoque útil para comprender las adaptaciones de los sistemas sensoriales y motores (Kalko *et al.*, 1996, Schnitzler & Kalko 1998). Considerando lo anterior, en este estudio asociamos los parámetros de estructura y espectrales de los chillidos de ecolocalización registrados en el área de estudio con las áreas de alimentación de murciélagos, las cuales han sido definidas ampliamente por (Aldridge & Rautenbach, 1987; Neuweiler, 1989; Fenton, 1990; Schnitzler & Kalko, 1998, 2001; Schnitzler *et al.*, 2003; Denzinger & Schnitzler, 2004). Estas definiciones difieren parcialmente, sin embargo, todos los enfoques tienen en común la separación de tres tipos principales de áreas de alimentación que Fenton (1990) denominó hábitats abiertos, de borde y cerrados; Todas estas características le confieren al método confiabilidad para la identificación taxonómica de las especies, convirtiéndola en una herramienta complementaria para los muestreos tradicionales (Adams *et al.*, 2013) y permitiendo maximizar la integridad de los inventarios de murciélagos insectívoros aéreos (Kalko *et al.*, 2008; MacSwiney *et al.*, 2008; Pech-Canche *et al.*, 2010; Meyer *et al.*, 2011).

En los últimos años, se han identificado retos importantes para el desarrollo de programas de monitoreo acústico de murciélagos. Primero, el desarrollo de bibliotecas acústicas nacionales y regionales, útiles como referencia para la identificación acústica de las especies capturando la variación intraespecífica de los chillidos de ecolocalización (Aguirre, 2007). Segundo, la implementación de un formato unificado de grabación ej: Grabación directa, división de frecuencia y expansión de tiempo (Brigham *et al.*, 2004; Adams *et al.*, 2013). Tercero, los altos

costos y especificidad del equipo de trabajo utilizado como grabadoras, micrófonos y licencias de programas de análisis, estos últimos permiten reducir significativamente el tiempo invertido por el investigador, para analizar las grandes cantidades de datos generadas en campo. En los últimos años se han venido desarrollando diferentes programas de análisis e identificación manual, semi y automatizada que ofrecen al investigador una alternativa para ordenar, cortar y clasificar datos acústicos a partir de los parámetros espectrales de manera eficiente, estos programas realizan una aproximación a nivel de especie, a partir de bibliotecas acústicas incorporadas en su algoritmo, utilizando diferentes métodos estadísticos clasificación ej: (SonoBat, Batsound, bcAdmin, Batcope, BatExplorer ,AnaLook, SCAN´R, BCID, Echoclass, Kaleidoscope Pro, Raven entre otros). Sin embargo, pese a los esfuerzos, aun no se cuenta con un programa de identificación para las especies de murciélagos insectívoros aéreos en el neotrópico.

Esta pasantía se enmarco en el Proyecto de extensión UIS-ISAGEN “Monitoreo de la fauna terrestre existente en la franja de protección del embalse de la central hidroeléctrica sogamoso y áreas de reserva protectora”. En este trabajo se identificaron las especies de murciélagos insectívoros aéreos registradas en las grabaciones acústicas en el área de estudio y se complementó la biblioteca acústica de murciélagos insectívoros aéreos regional, parte de estos registros se enviaron al “Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL” como colaboración para la calibración de una nueva versión del software de identificación automatizada BatScope 3.0 que permita realizar identificaciones de especies de murciélagos neotropicales.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Identificar las especies de murciélagos insectívoros aéreos mediante grabaciones acústicas en las áreas de influencia directa del embalse Topocoro-Santander.

1.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar las familias y especies de murciélagos insectívoros aéreos presentes en cada una de las localidades en estudio.
- ✓ Caracterizar cuantitativa y cualitativamente los parámetros acústicos asociados a los chillidos de cada especie.
- ✓ Estimar la representatividad acústica de murciélagos insectívoros aéreos presente en las diferentes localidades en estudio.

2. Competencias

- ✓ Comprende las bases acústicas de la ecolocación de los murciélagos insectívoros.
- ✓ Se familiariza con los parámetros bioacústicos de murciélagos insectívoros y con el uso de herramientas de análisis y detección.
- ✓ Adquiere destrezas en la estimación de los parámetros acústicos de los chillidos de ecolocación de murciélagos insectívoros con los softwares de análisis bioacústico BatScope 3.0, BatExplorer y Raven Pro.
- ✓ Adquiere práctica en la identificación de chillidos de ecolocación de murciélagos insectívoros aéreos.
- ✓ Analiza eficientemente los resultados y escribe de manera concreta y adecuada un informe final de trabajo.

3. Metodología

3.1 Área de estudio

Se realizaron grabaciones acústicas en seis localidades distribuidas en tres municipios del departamento de Santander-Colombia (Betulia, Zapatoca y Girón) dentro del área de reserva protectora y franja de protección (ARPR) de la Central Hidroeléctrica Sogamoso durante los meses de marzo y agosto de 2016 (Tabla 1)

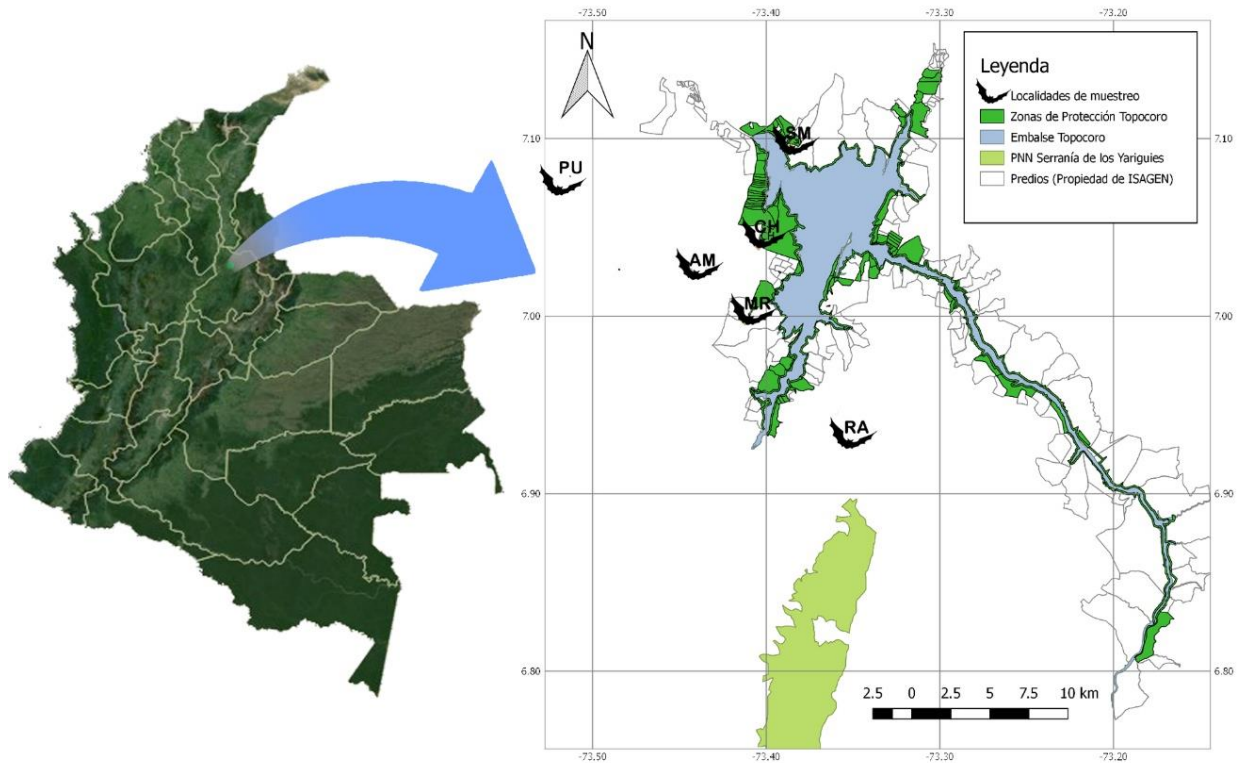


Figura 1. Localización General de las Áreas de Muestreo Acústico para Murciélagos Insectívoros Aéreos (Quebrada la Aguamieluda (AM); Quebrada la Chafarota (CH); Quebradas la Máquina y Resumidero (MR); Quebrada La Santa María (SM); Quebrada La Putana (PU) y Quebrada Máquina y Resumidero (MR). Adaptado de ISAGEN-UIS, 2011.

Según el sistema dsse clasificación de zonas de vida Holdridge, el área de estudio pertenece a la unidad ecológica de bosque húmedo tropical (Bh-T). Las zonas de estudio presentan un mosaico de coberturas vegetales que van desde suelos desnudos y potreros hasta bosques secundarios con varios años de regeneración (ISAGEN-UIS, 2011).

Tabla 1.

Localización de los sitios de muestreo en la franja y las áreas de reserva protectora (ARPR) del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso

Localidad	Coordenada	Altura(msnm)
Municipio: Betulia		
Cuenca Quebrada La Aguamieluda	N7°1.439' E73°26.916'	653
Cuenca Quebrada La Putana	N7°4.292' E73°31.252'	317
Cuenca Quebrada La Chafarota	N7°2.087' E73°24.274'	607
Cuenca Quebrada La Máquina Resumidero	N6°59'48.4'' E73°24'47.0''	643
Municipio: Zapatoca		
Cuenca Quebrada El Ramo	N 6°55'39.5'' E73°21'11.1''	924
Municipio: Girón		
Cuenca Quebrada La Santa María	N7°5'37.7'' E73°23'09.3''	405

Las localidades muestreadas, descritas por ISAGEN-UIS, 2011, presentan gran variedad de coberturas vegetales que se pueden encontrar en el rango altitudinal de la Serranía de La Paz (la estribación más al norte de la serranía de los Yariguíes), cordillera con bosques en muy buen estado de conservación en las zonas más altas y con mayor grado de inclinación.

Cuenca de la quebrada la Aguamieluda (AM). El sitio de muestreo se localizó sobre la cuenca de la quebrada La Mantecosa, uno de los principales afluentes de la quebrada La Aguamieluda, la cual drena sus aguas por el flanco occidental de la serranía de La Paz. En este sitio, se observa un gradiente altitudinal que va desde los 500m y alcanza los 1300m, en todo este flanco se halla un gran mosaico de coberturas vegetales dominado por bosques poco perturbados en las zonas altas y de difícil acceso, con baja presencia de potreros y cultivos como: yuca, piña, caucho principalmente (ISAGEN-UIS, 2011).

Cuenca de la quebrada La Putana (PU). La quebrada La Putana nace en la parte sur de la serranía de La Paz y es alimentada por varias quebradas menores, como la quebrada La Aguamieluda, haciéndola una de las más grandes de la zona de estudio. La Putana desemboca en el río Sogamoso 18km aguas abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica Sogamoso. El sitio de estudio está ubicado en el flanco oriental de una pequeña cadena montañosa con altura máxima de 700m, llamada la Cuchilla de La Aurora. En dicha zona nace la quebrada La Salvadera. El sitio es dominado por sistemas agroforestales (cultivos de cacao, yuca y pastos para ganadería) y las coberturas naturales presentes son bosques riparios, rastrojos altos y bajos con varios años de regeneración (ISAGEN-UIS, 2011).

Cuenca de la quebrada La Chafarota (CH). El sitio de muestreo está alrededor de los 600m de altura, abarca el bosque ripario de la quebrada La Chafarota y varias coberturas vegetales, entre los que encontramos bosques secundarios en buen estado de conservación en las zonas de mayor altitud e inclinación, colindando con diversos cultivos que son la principal fuente de ingresos de los habitantes de la zona. También hay potreros en diferentes grados de abandono, dando paso a rastrojos altos y bajos. La quebrada La Chafarota desemboca en el embalse Topocoro, en el flanco izquierdo del embalse antes del sitio de presa. (ISAGEN-UIS, 2011).

Cuenca de las quebradas La Máquina Resumidero (MR). Las quebradas La Máquina y Resumidero son pequeñas fuentes de agua que nacen en la parte alta de la vertiente oriental de la serranía de La Paz y desembocan en el embalse Topocoro. Estas quebradas y sus afluentes representan una zona de reserva importante, ya que en la zona hay parches de rastrojo alto con bastante tiempo de regeneración, que unen el cinturón de protección del embalse con los bosques

secundarios en buen estado de conservación de la serranía de la Paz. La localidad de muestreo se ubica en medio de las dos quebradas, en la vereda Sogamoso, sector Corintios del municipio de Betulia, cerca de los 600m de altura. En esta localidad predominan los potreros para ganadería hacia la parte baja de la vereda y hacia la parte alta, en la base de la serranía de La Paz los cultivos de cacao, los rastrojos en diferente estado de regeneración y el bosque secundario. (ISAGEN-UIS, 2011).

Cuenca de la quebrada El Ramo (RA). La quebrada La Ramera o El Ramo y la quebrada los Medios, nacen en cercanías del PNN Serranía de los Yariguíes y se unen formando la quebrada El Ramo, la cual desemboca en el embalse Topocoro. En general la cuenca de la quebrada El Ramo y sus afluentes están dominados por sistemas agroforestales y silvopastoriles. La localidad de muestreo se ubica sobre la cuenca de la quebrada los Medios, cerca de los 900m de altura. En esta localidad predominan los cultivos (cacao, aguacate, cítricos, plátano y café con sombrero), las demás coberturas vegetales están presentes en menor área, siendo más importantes los rastrojos bajos y los bosques riparios. (ISAGEN-UIS, 2011).

Cuenca de la quebrada Santa María (SM). La quebrada Santa María nace en el cerro de los Amores al norte de la presa de la central Sogamoso, el cual se encuentra adyacente a la continuación de la serranía de La Paz y desemboca en el embalse Topocoro. La cuenca de esta quebrada está formada por varios cuerpos de agua de pequeño tamaño que se unen cerca al nivel del embalse. La localidad de muestreo se ubica sobre la cuenca de la quebrada a 430m de altura cerca al vaso del embalse. En este sitio se observan potreros para ganado, rastrojos bajos y altos, producto de regeneración en potreros y cultivos que se han dejado como cinturón de protección

del embalse, al igual que parches de bosque ripario en la desembocadura de la quebrada. En la parte alta y de mayor inclinación se observan pequeños remanentes de bosque secundario. (ISAGEN-UIS, 2011).

3.2 Muestreo acústico

El muestreo acústico se realizó entre marzo y agosto del 2016 (**¡Error! No se encuentra el origen e la referencia.**). Se utilizó un Batlogger (® Elekon AG, Luzern, Switzerland), el cual registró la grabación automatizada de los chillidos de ecolocación. Para proteger el equipo de la lluvia y humedad éste se puso en una caja a prueba de agua (OtterBox StrongBoxes) con el cable del micrófono expuesto al exterior y 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 bordes de bosque identificados en el área de estudio entre las 5:30 pm y 5 am, con el fin de registrar los chillidos de ecolocación de los murciélagos en vuelo libre.

3.3 Análisis de datos Acústicos.

Las secuencias acústicas captadas en la zona de estudio con el Batlogger (® Elekon AG, Luzern, Switzerland), fueron incorporadas y revisadas con los programas BatExplorer, Raven Pro 64 1.4 (Bioacoustics Research Program, 2011) y BatScope 3.0 (Boesch & Obrist, 2013); dichas secuencias fueron inspeccionadas manualmente con el fin de detectar y registrar los chillidos acústicos que no fueron reconocidos por el programa con el fin de registrar la mayor cantidad de las especies grabadas. Estas secuencias acústicas fueron organizadas por localidad y fecha de

grabación, se seleccionaron aquellas secuencias acústicas que presentaron una baja relación señal-ruido y aquellas que contenían más de 3 chillidos en fase de búsqueda.

Las descripciones acústicas corresponden a los chillidos de la fase de búsqueda del comportamiento ecolocador, que son los que emite el murciélago para orientarse y detectar a sus presas mientras se desplaza en el medio (Zurc *et al.*, 2017). Para la caracterización de los chillidos se utilizaron seis parámetros acústicos siguiendo la metodología utilizada por Reyes-Garzon (2015) para la primera biblioteca acústica regional en Santander.

- Duración de la llamada
- Frecuencia inicial (FI en kHz)
- Frecuencia final (FF en kHz)
- Frecuencia máxima o pico (FME, en kHz)
- Forma del chillido: 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)
- Armónico de mayor energía (múltiplos de la frecuencia fundamental) y serán analizados utilizando el software Raven Pro (Chariff *et al.*, 2008)

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

parámetros por chillido observados por especie, con el fin de revelar las posibles diferencias en el diseño del chillido de ecolocación entre especies y géneros.

Adicionalmente, se realizó una descripción de los chillidos identificados a nivel de familia, especie o sonotipo (registros que no se lograron identificar a nivel de especie) y se asociaron estos registros con los ambientes de forrajeo identificados en cada cobertura; de manera complementaria los parámetros acústicos se analizarán mediante un análisis de clasificación, implementado en el paquete “Caret y RandomForest” (R Core Team, 2016). Este algoritmo está incluido dentro de los métodos denominados “machine learning”, en 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), pues este, 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).

3.4 Selección de datos acústicos para la calibración del software BatScope 3.0

Los datos acústicos para realizar la calibración del software BatScope 3.0 (Boesch & Obrist, 2013), se seleccionaron del trabajo realizado por Reyes-Garzón (2015), los cuales corresponden a la primera de la biblioteca acústica para Santander, estas secuencias fueron referenciadas utilizando la técnica de grabación Línea de vuelo, (Szewcza 2004) y se complementó con datos obtenidos durante el “Monitoreo de la Fauna Terrestre Existente en la Franja de Protección del Embalse de

la Central Hidroeléctrica Sogamoso y Áreas de Reserva Protectora” abordados en este trabajo en el periodo de tiempo de marzo a agosto de 2016.

Se seleccionaron de forma manual los chillidos de ecolocalización de 16 especies murciélagos insectívoros aéreos presentes en la biblioteca acústica de la Universidad Industrial de Santander construida por Reyes-Garzón (2015) la cual cuenta con 179.947 chillidos contenidos en 9073 secuencias lo cual corresponde a 210 horas de grabación (82.1 Gb de información) y se complementó la información con algunas secuencias registradas en este estudio utilizando el Software BatScope 3.0 y Raven Pro. Se filtraron y cortaron las secuencias que presentaron una baja relación señal ruido, ideales para realizar una identificación confiable de las especies, para la revisión e identificación taxonómica de los chillidos se utilizaron 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), y Jung *et al.*, (2014), En estos se recopila la información de las especies más comunes para el Neotrópico, a nivel regional, nacional y los trabajos de grado de Reyes-Garzón (2015) y Zurc *et al.*, (2017).

Los sonotipos elegidos se exportaron en formato Batcall; se seleccionó un mínimo 41 chillidos por especie, para ajustar los 40 parámetros usados por BatScope 3.0. Se tuvo en cuenta las alternaciones de frecuencias baja, media y alta descritas para algunas especies de las familias Molossidae y Emballonuridae (Jung *et al.*, 2007; Jung *et al.*, 2014). Finalmente, los chillidos seleccionados de las 16 especies serán utilizados para calibrar el algoritmo del software BatScope 3.0 para Santander-Colombia, dicha labor será realizada en colaboración con el “Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL”.

4. Resultados y Discusión

Durante el trabajo de campo, se grabaron 553.5 horas de grabación, lo cual corresponde a 217 Gb de información y 7119 secuencias acústicas, de las cuales mediante los filtros del software BatExplorer y la selección manual de las secuencias con baja relación señal ruido se extrajeron 561 secuencias con 7741 chillidos (Tabla 2).

Tabla 2.

Número de secuencias acústicas seleccionadas con baja relación señal ruido por localidad.

<i>Datos Seleccionados</i>			
Localidad	Secuencias	Chillidos	
Aguamieluda	224	1720	
Putana	16	873	
Santamaría	48	576	
Ramo	113	2675	
Máquina-Resumidero	147	1874	
Chafarota	13	23	
Total	561	7741	

4.1 Descripción de Sonotipos identificados en el área de estudio.

A cada una de las especies detectadas, se les extrajo los parámetros espectrales descritos en la Tabla 3 y se les asignó una identidad probable, dadas las bibliotecas existentes para la región (Reyes-Garzón, 2015) y otras regiones (Schnitzler *et al.*, 1994; Miller, 2003; Macías *et al.*, 2006; Jung *et al.*, 2007; Rivera-Parra & Burneo 2013; Orozco-Lugo *et al.*, 2013; Briones-Salas *et al.* 2013; Restrepo-Giraldo *et al.*, 2015); Zamora-Gutiérrez *et al.*, 2016; Zurc *et al.*, 2017; Arias-Aguilar, *et al.*, 2018). Algunas especies de las familias Emballonuridae, Molossidae y

Noctilionidae aquí reportadas, presentan alternaciones de frecuencia durante la fase de búsqueda, dichas alternaciones se definen como “Bajo, Medio y Alto”, dependiendo el caso (Tabla 3).

Tabla 3.

Parámetros acústicos de las especies de murciélagos insectívoros aéreos reportadas.

<i>Tipo de chillido/estructura</i>	<i>Dur [ms]</i>	<i>HF [kHz]</i>	<i>LF [kHz]</i>	<i>FME [kHz]</i>	<i>Armónico</i>	<i>NS/NC</i>
Vespertilionidae						
<i>Lasiurus ega</i>						
FM- Desc, QCF	6.6±2.41	43.08±4.78	33.04±1.88	35.31±2.38	Primero	61/736
<i>Myotis nigricans</i>						
FM- Desc, QCF	3.50±0.94	61.68±6.38	50.48±2.06	52.78±2.02	Primero	179/2381
<i>Myotis riparius</i>						
FM- Desc, QCF	2.82±0.52	86.12±12.52	59.72±1.20	62.47±3.55	Primero	13/89
<i>Rhoggesa io</i>						
FM- Desc, QCF	4.14±1.17	52.91±3.40	42.52±1.20	45.78±1.27	Primero	7/19
Emballonuridae						
<i>Centronycteris centralis</i>						
FM- CF-FM	4.28±0.99	40.9±0.40	35.80±1.70	39.77±0.46	Segundo	4/70
<i>Cormura brevirostris</i>						
Bajo/QCF- Asc	11.1±1.70	27.1±1.55	23.56±1.88	25.28±1.61	Segundo	2/5
Medio/QCF- Asc						2/2
Alto/QCF- Asc	11.6±1.66	33.83±0.45	29.08±0.79	31.55±0.42	Segundo	3/8
<i>Cyttarops alecto</i>						
CF-Recto	7.18±1.36	37.60±0.66	35.00±0.77	36.56±0.63	Segundo	9/222
<i>Saccopteryx bilineata</i>						
Bajo/QCF- Asc	7.51±1.72	45.81±1.34	41.64±1.55	44.12±1.51	Segundo	67/1094
Alto/QCF- Asc	7.13±1.62	48.54±0.84	44.54±1.12	47.01±0.95		71/1109
<i>Saccopteryx leptura</i>						
Bajo/QCF- Asc	6.49±0.79	55.05±0.46	49.76±0.76	52.88±0.69		2/16
Alto/QCF- Asc	6.12±0.84	57.4±0.70	52.59±1.05	55.66±0.96	Segundo	2/32
<i>Peropteryx kappleri</i>						
CF/Recto	7.16±2.02	34.08±1.86	31.31±2.01	32.87±1.98	Segundo	11/146
<i>Peropteryx macrotis</i>						
CF/Recto	6.89±1.39	40.58±1.13	37.62±1.30	39.50±1.08	Segundo	21/313
Molossidae						
<i>Eumops cf. glaucinus</i>						
QCF- Desc	14.82±2.87	26.51±3.33	19.35±2.76	22.43±2.48	Primero	19/95
<i>Molossops temminckii</i>						
QCF- Desc	5.68±1.25	50.96±0.79	43.57±2.03	46.09±2.28	Primero	1/13
<i>Molossus bondae</i>						
Bajo/QCF- Desc	12.33±1.97	32.98±1.80	26.55±2.23	30.73±1.74	Primero	57/386
Medio/QCF- Desc	12.17±2.08	38.05±1.77	32.18±1.65	35.57±1.19	Primero	36/132
Alto/QCF- Desc	11.88±3.23	43.66±4.03	35.67±2.19	40.06±2.16	Primero	13/25
<i>Molossus molossus</i>						
Bajo/QCF- Desc	6.03±1.56	35.95±1.64	30.91±2.12	34.37±1.59	Primero	40/89
Medio/QCF- Desc	5.55±2.05	39.63±1.17	34.57±1.31	38.25±1.02	Primero	63/131
Alto/QCF- Desc	5.03±1.15	42.24±0.88	37.40±1.06	40.91±0.64	Primero	37/56

<i>Tipo de chillido/estructura</i>	<i>Dur [ms]</i>	<i>HF [kHz]</i>	<i>LF [kHz]</i>	<i>FME [kHz]</i>	<i>Armónico</i>	<i>NS/NC</i>
<i>Cynomops cf. planirostris</i>						
FM-Desc. FM-Asce	13.68±3.66	26.74±1.78	19.64±2.18	22.53±1.96	Primero	5/30
Mormoopidae						
<i>Mormoops megalophylla</i>						
FM-Desc. QCF-Asc.FM-Desc	4.59±0.70	57.13±0.44	53.37±0.32	54.57±0.44	Segundo	1/9
Noctilionidae						
<i>Noctilio alvibentris</i>						
Bajo/QCF- Desc	5.40±1.93	59.30±5.37	38.47±1.75	47.13±3.67	Primero	8/57
Alto/QCF- Desc	9.22±1.14	72.7±0.59	65.20±1.80	71.18±2.04	Primero	1/1
<i>Noctilio leporinus</i>						
Bajo/QCF- Desc	3.97±1.06	49.89±3.83	26.89±3.45	41.04±9.19	Primero	22/68
Alto/QCF- Desc	3.57±1.15	51.47±5.15	44.77±5.94	49.23±4.94	Primero	1/3
Sonotipos						
<i>Sonotipo 03</i>						
FM-Desc	18.37±3.45	51.14±5.50	37.60±2.02	41.09±2.50	Segundo	5/34
<i>Sonotipo 04</i>						
FM-Asc	18.3±6.17	55.73±5.16	39.50±1.73	45.17±2.21	Segundo	5/99
<i>Sonotipo 05</i>						
FM-Asc	10.63±9.62	53.1±1.04	42.33±4.97	45.57±5.73	-	6/8
<i>Sonotipo 06 (Saccopteryx sp)</i>						
Bajo/QCF- Asc	5.89±1.16	43.05±1.42	39.49±1.88	41.48±2.47	-	4/6
<i>Sonotipo 11</i>						
FM-Desc	6.10±3.68	46.4±7.78	38.15±3.04	41.80±2.97	Primero	10/25
<i>Sonotipo 12</i>						
FM-Desc	14.6±9.21	43.13±2.48	27.87±7.04	31.77±6.93	Primero	7/93
<i>Sonotipo 15</i>						
FM- Desc, QCF	3.84±0.87	56.23±5.78	44.32±0.97	46.84±0.95	Primero	1/16
<i>Sonotipo 16</i>						
FM- Desc, QCF	4.80±1.54	59.93±2.73	52.73±0.95	54.69±1.01	Primero	5/17
<i>Sonotipo 17 (Eptesicus sp)</i>						
FM- Desc, QCF	11.10±3.86	40.59±2.19	30.82±0.97	33.15±1.36	Primero	4/46
<i>Sonotipo 20</i>						
FM-Desc	6.08±1.67	46.74±2.05	31.54±1.71	38.66±1.55	Primero	8/30
<i>Sonotipo 21</i>						
FM-Asc	10.41±5.00	25.80±2.96	15.81±0.62	19.45±1.45	Primero	3/3
<i>Sonotipo 22</i>						
FM-Asc	8.97±3.85	32.03±8.35	20.57±6.69	25.23±7.71	Primero	2/3
<i>Sonotipo 23</i>						
FM- Desc, QCF	17.34±4.63	48.36±6.18	35.53±4.02	39.33±4.20	Primero	2/2
<i>Sonotipo 24 (Saccopteryx sp)</i>						
Bajo/QCF- Asc	5.91±1.71	40.69±0.78	35.77±1.81	39.14±0.95	Primero	2/3

Dur: Duración en milisegundos; HF: Frecuencia alta en KHZ; LF: Frecuencia baja en KHZ; FME:

Frecuencia de máxima energía o frecuencia pico; Armónico en el que se emite mayor energía;

NC/NS: Numero de chillidos por Número de secuencias; Sonotipo: chillidos no asociados a una

especie; FM: Frecuencia modulada; QCF: Frecuencia Cuasi Constante; Desc: Descendiente; Asc:

Ascendente.

4.1.1 Familia Emballonuridae. Las especies de la familia Emballonuridae presentan un diseño de ecolocación uniforme, multi-armónico en una banda central con baja modulación y de estructura cuasiconstante (QCF). En el cual la mayor cantidad de energía (FME) se concentra en el segundo armónico. Rara vez, Saccopteryx pueden producir chillidos con FME en el armónico fundamental (Arias-Aguilar, *et al.*, 2018). 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 chillido (Jung *et al.*, 2007). Esta familia registro mayor representatividad acústica, con un total de siete especies pertenecientes a cinco géneros (Figura 1) con un total de 192 secuencias acústicas y 3017 chillidos, de estos el 73% corresponden a *S. bilineata* (Tabla 3).

Por otro lado, en el análisis se evidencian secuencias acústicas a las que se les asigna una identidad probable de *Cyttarops cf. alecto*, sin embargo, esta especie no se encuentra reportada para el departamento de Santander en las listas oficiales, considerando la confiabilidad de las características acústicas para la aproximación a nivel de especies y en las descripciones acústicas para esta especie en Brasil y Panamá (Anexo 1) realizadas por Arias-Aguilar *et al.*, (2018) y Jung *et al.*, (2007), los cuales muestran similitud estructural y espectral con los datos aquí obtenidos; por lo tanto se asigna como *Cyttarops cf. alecto*, sin embargo es necesario comprobar su presencia por métodos de captura tradicionales y realizar grabaciones acústicas limpias por línea de vuelo o cámara de vuelo.

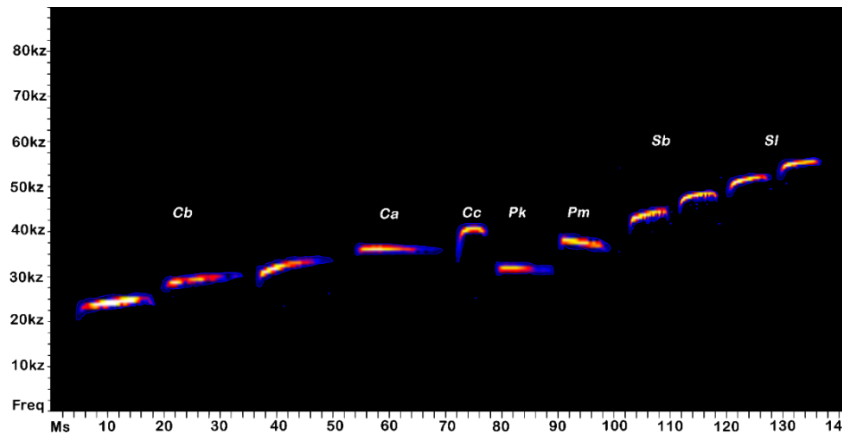


Figura 1. Sonograma registrados de la familia Emballonuridae. Freq:Frecuencia (KHZ); MS: tiempo (milisegundos). Cb: *Cormura brevirostris*; Ca: *Cyttarops alecto*; Cc: *Centronycteris centralis*; Pk: *Peropteryx kappleri*; Pm: *Peropteryx macrotis*; Sb: *Saccopteryx bilineata*; Sl; *Saccopteryx leptura*.

Los sonotipos sugeridos en este estudio como *C. brevirostris* muestran parámetros acústicos similares a los reportados por Jung *et al.*, (2007) en Panamá. En este trabajo, los autores describen los chillidos con las tres alternaciones de frecuencia (alta, media y baja) con FME: 31.4 ± 0.4 KHz con duración de 8.6 ± 1.6 ms para la alternación de frecuencia alta; FME: 28.1 ± 0.6 KHz con duración de 8.2 ± 1.8 ms para la alternación de frecuencia media y finalmente FME: 25.2 ± 1.5 KHz con 8.2 ± 2.0 ms para la alternación de frecuencia baja, estos parámetros se encuentran dentro de las desviaciones estándar de los chillidos aquí reportados. Sin embargo en esta investigación se observa una ligera diferencia en la alternación de frecuencia alta entre 4-5 KHz más arriba (Tabla 3), si se considera que estas variaciones se pueden deberse a las diferencias geográficas y ambientales en las que forrajea las especies (Zurc *et al.*, 2017). De igual manera, los registros acústicos reportados para esta especie en la biblioteca acústica del Museo de Zoología QCAZ por

Rivera *et al.*, (2015) en Ecuador muestran similitud espectral a los reportados en el presente estudio, validando la asignación aquí propuesta.

Las especies *S. bilineata*, *S. leptura*, *P. macrotis* y *P. kapleri* aquí reportadas coinciden con los registros realizados por Reyes-Garzón en el 2015 y depositadas en la biblioteca acústica regional de la Universidad Industrial de Santander.

4.1.2 Familia Vespertilionidae. Generalmente, la familia Vespertilionidae exhibe chillidos cortos de frecuencia modulada descendiente (FM) con una terminación cuasi constante (QCF); en la mayoría de las especies que presentan este comportamiento, el componente estructural más importante es la frecuencia mínima y la frecuencia de máxima energía (FME), la cual es emitida en el primer armónico(O'Farrell *et al.*, 1999; Miller, 2003).

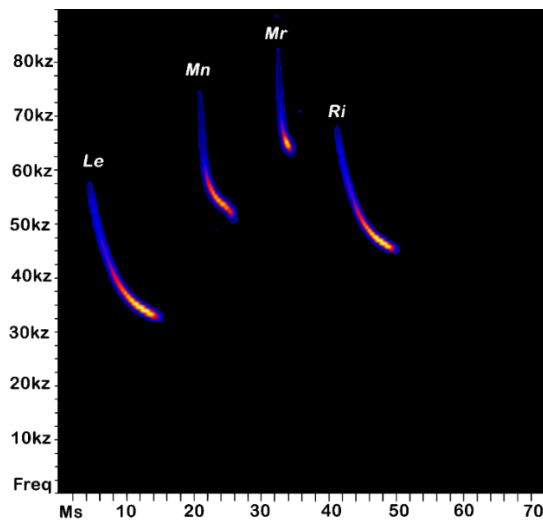


Figura 2. Sonotipos registrados para la familia Vespertilionidae. Freq:Frecuencia (KHZ); MS: tiempo (milisegundos). Le: *Lasiurus ega*; Mn: *Myotis nigricans*; Mr: *Myotis riparius*; Ri: *Rhoggesa io*.

Se registraron cuatro especies de esta familia (Figura 2), pertenecientes a tres géneros (*Myotis*, *Lasiurus* y *Rhogeessa*) con un total de 260 secuencias acústicas y 3225 chillidos de ecolocación en fase de búsqueda; de los cuales *M. nigricans* registró la mayor representatividad con 73.8% de toda la actividad. Los registros encontrados e identificados como *Lasiurus cf. ega*, deben ser corroborados por métodos de captura, pues los parámetros acústicos de esta especie se solapan con especies del género *Eptesicus* y pueden llevar a una identificación taxonómica errónea.

Nuestros registros para esta especie, coinciden con los descritos por Arias-Aguilar *et al.*, (2018) para Brasil y difieren de lo reportado por Zamora-Gutiérrez *et al.*, (2016); sin embargo, si se considera las desviaciones estándar, los datos se ajustan más los de *L. ega*; un caso similar ocurre con los registros obtenidos para *Rhogeessa io*.

Por otra parte, las especies *M. nigricans*, *M. riparius* coinciden con la biblioteca regional construida por Reyes-Garzón, (2015) y con los registros reportados por Arias-Aguilar *et al.*, (2018) y difieren considerablemente de los reportados por Rivera *et al.*, 2015 en Ecuador.

4.1.3 Familia Noctilionidae. En Colombia, se encuentran registradas las dos únicas especies de esta familia (*N. albiventris* y *N. leporinus*), sus chillidos de ecolocalización son muy característicos, presenta dos alternaciones de frecuencia en la fase de búsqueda (baja y alta), el primero inicia con una FM ascendente, la cual se hace QFC y finalmente decae en FM descendiente; el segundo chillido (Alto) es similar al primero sin embargo la FM final desciende abruptamente. (Arias-Aguilar, *et al.*, 2018)

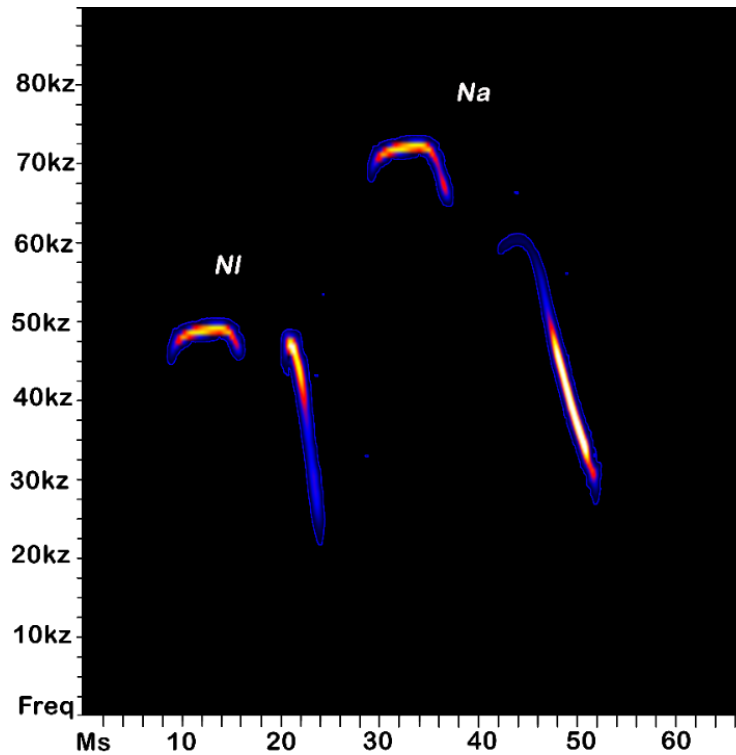


Figura 3. Sonotipos registrados para la familia Noctilionidae. Freq:Frecuencia (KHZ); MS: tiempo (milisegundos). NI: *Noctilio leporinus*; Na: *Noctilio albiventris*.

Se registraron las dos especies de esta familia, *N. leporinus* y *N. albiventris* (Figura 3), ambos registros asociados a la localidad de la quebrada el Ramo con nueve secuencias y 56 chillidos para *N. leporinus* y 23 secuencias con 71 chillidos para *N. albiventris*.

Los parámetros acústicos de estas dos especies presentan características espectrales únicas que los hacen fácil de reconocer e identificar a nivel de especie; los parámetros acústicos aquí registrados coinciden con los ya reportados por otros investigadores para Brasil, Ecuador, México y Santander-Colombia por (Arias-Aguilar *et al.*, 2018; Rivera *et al.*, 2015; Zamora-Gutiérrez *et al.*, 2016 y Reyes-Garzón, 2015).

4.1.4 Familia Molossidae y Mormoopidae. Los chillidos de ecolocalización de Molossidae tienen FME en el armónico principal, presentan señales largas y de baja modulación emitidas a frecuencias bastante bajas (Jung *et al.*, 2014). Por lo general, los chillidos muestran alternancia de frecuencia (baja, media, alta) irregular, la amplitud es variable y presentan gran plasticidad como es el caso de *Molossops temminckii*.

En el caso de la Familia Mormoopidae, los chillidos de ecolocalización son muy distinguibles: suelen ser multi-armónicos y la FME está en el segundo armónico; los chillidos tienen la forma de Blazy-z, aunque a veces no son totalmente evidentes (O'Farrell & Miller, 1999).

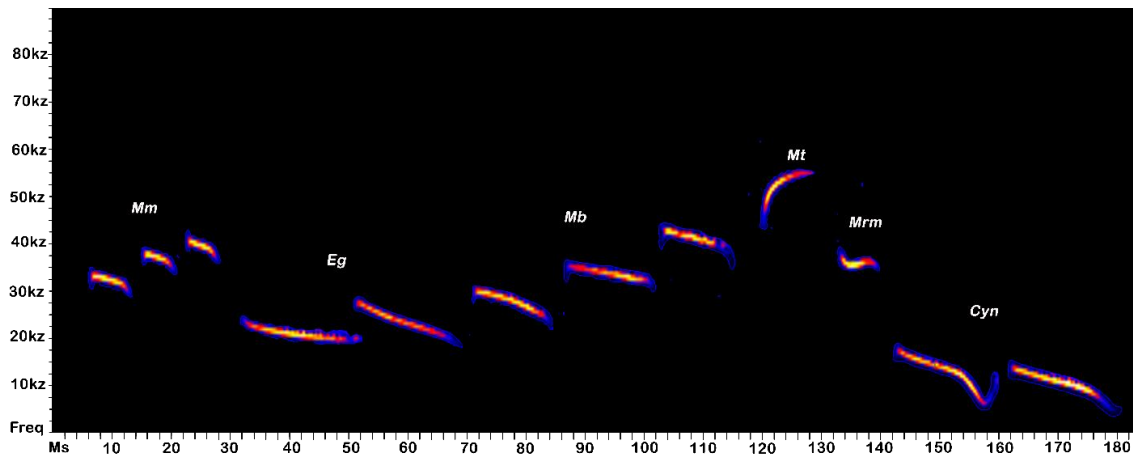


Figura 4. Sonotipos registrados para las familias Molossidae y Mormoopidae. *Freq:* Frecuencia (KHZ); *MS:* tiempo (milisegundos). *Mm;* *Molossus molossus*; *Eg:* *Eumos cf. Glaucinus*; *Mb:* *Molossus bondae*; *Mt:* *Molossops temminckii*; *Mrm:* *Mormoops megalophylla*; *Cyn:* *Cynomoops sp.*

Se registraron cinco especies de la familia Molossidae (Figura 4), agrupadas en cuatro géneros; de éstos *Molossus* es el más representativo con 246 secuencias que corresponden al 90.4% de la

totalidad de registros para esta familia. Por otra parte, la familia Mormoopidae solo se encuentra representada por una especie *M. megalophylla*, la cual fue registrada en la localidad de la quebrada El Ramo. A partir de los parámetros espectrales publicados por Zamora-Gutiérrez *et al.*, (2016) en México, se le asignó identidad probable a la especie *M. megalophylla*, los cuales presentan gran similitud en sus características estructurales y espectrales, presentando solo una ligera variación en las frecuencias mínimas.

En nuestros registros encontramos sonotipos que se asociaron a los ya reportados para *E. glaucinus* por Reyes-Garzón, (2015). En el caso del sonotipo asignado a *C. planirostris*, nuestros datos se ajustan más a los publicados por Arias-Aguilar *et al.*, (2018) en Brasil que a los reportados por Reyes, (2015), sin embargo, los chillidos mantienen una estructura similar y varían poco en sus parámetros espectrales, considerando la plasticidad que presenta este género en sus chillidos acústicos y que las condiciones ambientales como la temperatura y humedad, además de los hábitats de forrajeo pueden incidir en cambios de las frecuencias en los chillidos, se manejó como la misma especie.

Los sonotipos asociados a *M. molosus* y *M. bondae* y *M. temminckii* en general se ajustan a los publicados por Reyes-Garzón, (2015) para la misma región y a los publicados en Brasil (Arias-Aguilar *et al.*, 2018), México (Zamora-Gutiérrez *et al.*, 2016) y Ecuador (Rivera *et al.*, 2015), sin embargo es posible observar en la matriz de confusión realizada por el random forest (Anexo 2) que nuestros datos para *M. bondae* en su alternación de frecuencia alta fueron interpretados como *M. molosus* medio, esto pudo ocurrir ya sea por una mala identificación por parte nuestra producto de la similitud que presentan estas especies en sus chillidos.

4.1.5 Sonotipos. De los 15 sonotipos encontrados (Figura 5), solo ocho se lograron identificar a nivel de familia; seis concuerdan con las características descritas para la familia Vespertilionidae (Sonotipos 3,15,16, 17,20 y 23) en donde la frecuencia de máxima energía (FME) se emite en el primer armónico y los chillidos presentan una estructura frecuencia modulada descendiente (FM) con una terminación cuasi constante (QCF). Si se consideran las observaciones y la caracterización manual, el sonotipo 15 presenta parámetros acústicos por debajo de las desviaciones estándar de *M. nigricans* reportadas para la región por Reyes-Garzón (2015) (HF: 68.6 ± 2.2 ; LF: 50.6 ± 1.3 y FME: 53.3 ± 1.1), por otra parte los parámetros acústicos (FME y LF) del sonotipo 16 se encuentran por encima de la desviación estándar reportada para *M. nigricans*; teniendo en cuenta lo anterior y considerando la cantidad de pulsos detectados (93 para el sonotipo 15 y 16 para el sonotipo 16), se optó por no realizar una aproximación más allá del nivel de familia; sin embargo al ser detectados en cuatro de las seis localidades, estas variaciones se pueden atribuir a cambios en los ambientes de forrajeo, para lo cual se hacen necesario aumentar el número de grabaciones limpias y comprobar la presencia de las especies por métodos de captura (Figura 5).

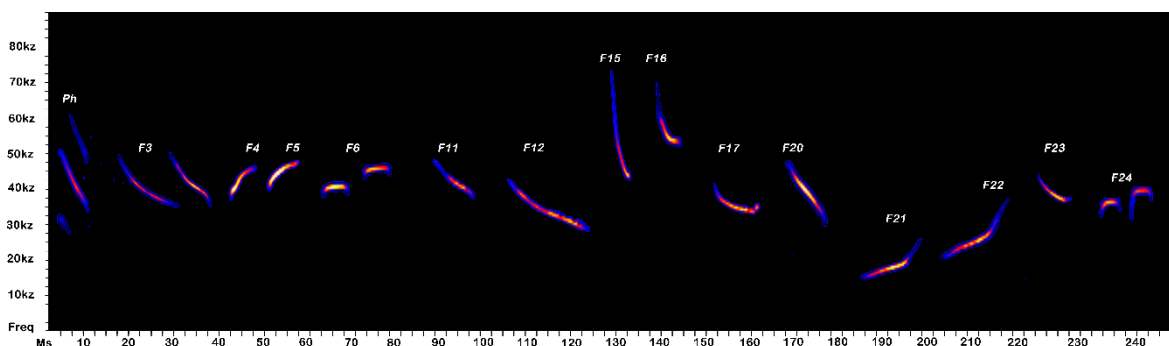


Figura 5. Sonogramas registrados en el área de estudio que no se lograron asociar a una especie. Freq:Frecuencia (KHZ); MS: tiempo (milisegundos). Phyllostomidae (Ph); F, referente a Sonotipo.

Los sonotipos 6 y 24, presentan una estructura similar a los reportados para la familia Emballonuridae en donde el chillido se comporta de forma cuasiconstante (QCF) y emite la frecuencia de máxima energía (FME) en el segundo armónico; en estos sonotipos se pudo registrar alternancia de frecuencia baja y alta, típicas del género *Saccopteryx*, Aunque, al no tener evidencia confirmada de otra especie diferente a *Saccopteryx bilineata* y *Saccopteryx leptura* cerca al área de estudio (Reyes-Garzón, 2015 y Rodríguez-Moreno *et al.*, 2011) no se realizó aproximación más allá del nivel de familia. Adicionalmente, se reporta un chillido perteneciente a la familia Phyllostomidae (Figura 6) el cual corresponde al primer registro de esta familia para la biblioteca acústica regional de la Universidad Industrial de Santander, al no ser de nuestro interés en este proyecto, no se incluyeron sus parámetros acústicos; lo mismo sucede con los chillidos sociales, de los cuales se reportan solo en el sonograma.

La mayoría de los sonotipos registrados, se asocian a especies de la familia Vespertilionidae, dos de los seis registros presentan estructura y parámetros similares al género *Eptesicus*: Sonotipos 03 (HF: 51.14 ± 5.5 ; LF: 37.60 ± 2.02 y FME: 41.09 ± 2.50) y Sonotipo 17: (HF: 40.60 ± 2.19 ; LF: 30.82 ± 0.97 y FME: 33.15 ± 1.39), sin embargo, al carecer de información suficiente y de una biblioteca de referencia no fue posible realizar la identificación a nivel de especie. Los parámetros acústicos del sonotipo 3, están en el rango estadístico de un registro reportado por Reyes-Garzón (2015) como *Eptesicus sp* en el Cerro la Paz, municipio de Lebrija, próximo a al área de estudio en esta investigación (Tabla 4), por lo tanto, se infiere que posiblemente se trate de la misma especie, aunque debe confirmarse su presencia con métodos de captura y realizar grabaciones limpias con línea o cámaras de vuelo.

Tabla 4.

Comparación sonotipo 3 y 17 con Reyes-Garzón 2015

Referencia	Dur[ms]	HF[KHz]	HL[KHz]	FME [KHz]
Sonotipo 3	18.37±3.45	51.14±5.50	37.60±2.02	41.09±2.50
Sonotipo 17	11.10±3.86	40.60±2.19	30.82±0.97	33.15±1.39
Reyes 2015	4.8±0.8	66.5±3.2	36.8±0.7	40.4±4.3

Dur: Duración en milisegundos; HF: Frecuencia alta en KHZ; LF: Frecuencia baja en KHZ;

FME: Frecuencia de máxima energía o frecuencia pico; Armónico en el que se emite mayor energía.

4.2 Inventario de especies

De las 561 secuencias óptimas, se identificaron 19 especies de murciélagos insectívoros aéreos, distribuidas en cinco familias (14 géneros) lo cual corresponde al 45.2% de las especies reportadas y con distribución potencial para el departamento de Santander (Solari *et al.*, 2013; Mantilla-Meluk *et al.*, 2014; Reyes-Garzón, 2015); 13 de las 19 especies registradas ya habían sido reportadas por Reyes-Garzón, (2015) en la biblioteca acústica de la Universidad Industrial de Santander. Se identificaron los parámetros acústicos de las especies *Centronycteris centralis*, *Cynomops cf. planirostris*, *Cyttarops alecto*, *Lasiurus ega*, *Noctilio leporinus* y *Rhogeessa io*. (Tabla 3 y Tabla 5). Estas descripciones son importantes para evaluar las diferencias entre poblaciones y especies, lo cual puede proporcionar información sobre las causas de la variación acústica respecto a las características geográficas o ambientales (O'Farrell *et al.*, 2000).

Tabla 5.

Lista de especies identificadas en el área de estudio a partir de las acústicas.

Familia	Especie	IUCN
Emballonuridae	<i>Centronycteris centralis</i>	LC
Emballonuridae	<i>Cormura brevirostris</i>	LC
Emballonuridae	<i>Cyttarops alecto</i>	LC
Emballonuridae	<i>Peropteryx kappleri</i>	LC
Emballonuridae	<i>Peropteryx macrotis</i>	LC
Emballonuridae	<i>Saccopteryx bilineata</i>	LC
Emballonuridae	<i>Saccopteryx leptura</i>	LC
Molossidae	<i>Cynomops cf. planirostris</i>	LC
Molossidae	<i>Eumops cf. glaucinus</i>	LC
Molossidae	<i>Molossops temminckii</i>	LC
Molossidae	<i>Molossus bondae</i>	LC
Molossidae	<i>Molossus molossus</i>	LC
Mormoopidae	<i>Mormoops megalophylla</i>	LC
Noctilionidae	<i>Noctilio alvibentris</i>	LC
Noctilionidae	<i>Noctilio leporinus</i>	LC
Vespertilionidae	<i>Rhogeessa io</i>	LC
Vespertilionidae	<i>Lasiurus cf. ega</i>	LC
Vespertilionidae	<i>Myotis nigricans</i>	LC
Vespertilionidae	<i>Myotis riparius</i>	LC

LC: Preocupación menor, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

IUCN. Ninguna de las especies aquí reportadas presenta categoría de amenaza según la IUCN o libros rojos.

Adicionalmente, se encontraron 15 sonotipos de los cuales 9 se logró dar identidad probable a nivel de familia, 4 no se lograron asociar a un patrón acústico conocido y se registraron dos posibles chillidos sociales (Tabla 3).

4.3 Representatividad de especies por localidad

La representatividad de especies de murciélagos insectívoros aéreos para cada localidad se obtuvo en consideración el total de registros (sonotipos identificados a nivel de especie y sonotipos sin identificar); se reportaron 26 sonotipos en la quebrada él Ramo y 21 para la quebrada Máquina-

resumidero; las demás localidades registraron una representatividad de 15 especies para la quebrada la Putana; 14 en la quebrada Aguamieluda; finalmente 8 y 4 especies para las quebradas Santa María y Chafarota respectivamente. Siendo la quebrada El Ramo la que presenta una mayor representatividad de especies de murciélagos insectívoros aéreos. (Figura 6).

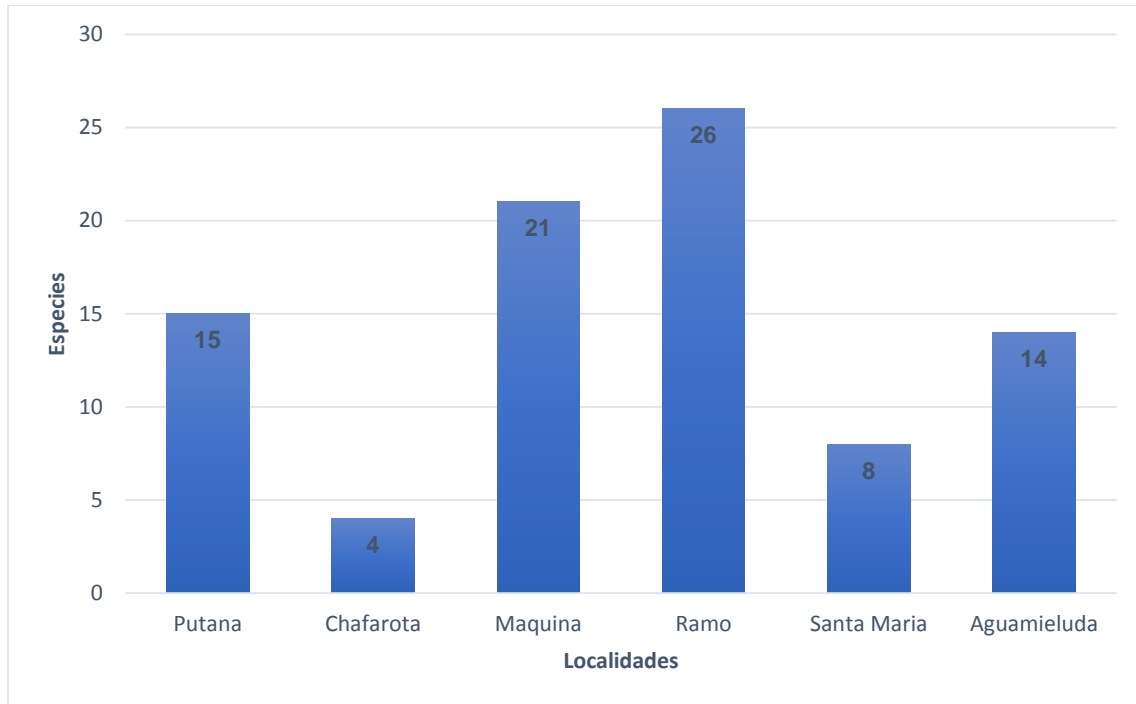


Figura 6. Número de especies de murciélagos insectívoros aéreos por localidad

Es importante resaltar que cuatro de las seis localidades (Cuenca quebrada La Aguamieluda (AM), quebrada La Chafarota (CH), quebradas La Máquina y Resumidero (MR), quebrada La Santa María (SM) presentan los 3 ambientes de forrajeo: EA: Espacios abiertos, EB; Espacios de borde, EC; Espacios cerrados; mientras que las quebradas La Putana (PU) y Máquina y Resumidero (MR) y el ramo no presentan ambientes de forrajeo de espacios cerrados, asociado a las coberturas de vegetación secundaria (Tabla 6).

Tabla 6.

Representatividad de sonotipos por ambientes de forrajeo en el área de estudio.

Familia	Sonotipo	Localidad					
		PU	CH	MA	RA	SM	AG
		EA, EB	EA, EB, EC	EA, EB, EC	EA, EB	EA, EB, EC	EA, EB, EC
Vespertilioni dae	<i>Lasiurus ega</i>	x	x	x	x	x	x
	<i>Myotis nigricans</i>	x	x	x	x	x	x
	<i>Myotis riparius</i>		x	x			x
	<i>Rhoggesa io</i>	x	x	x			
Emballonurid ae	<i>Centronycteris centralis</i>				x		
	<i>Cormura brevirostris</i>				x		
	<i>Cyttarops alecto</i>					x	x
	<i>Saccopteryx bilineata</i>	x		x	x	x	x
	<i>Saccopteryx leptura</i>				x		x
	<i>Peropteryx kappleri</i>			x	x	x	x
	<i>Peropteryx macrotis</i>			x	x	x	x
Molossidae	<i>Eumops cf. glaucinus</i>	x		x			x
	<i>Molossops temminckii</i>			x			
	<i>Molossus bondae</i>	x		x	x	x	
	<i>Molossus molossus</i>	x		x	x		
	<i>Cynomops cf. planirostris</i>			x	x		x
Mormoopida e	<i>Mormoops megalophylla</i>				x		
Noctilionidae	<i>Noctilio albiventris</i>	x		x			
	<i>Noctilio leporinus</i>	x		x			
Sonotipos	<i>Sonotipo 03</i>	x		x	x		
	<i>Sonotipo 04</i>	x			x		
	<i>Sonotipo 05</i>	x			x		
	<i>Sonotipo 06</i>	x		x	x		
	<i>Sonotipo 11</i>	x			x		
	<i>Sonotipo 12</i>	x			x		
	<i>Sonotipo 15</i>			x	x	x	x
	<i>Sonotipo 16</i>			x	x		
	<i>Sonotipo 17</i>			x	x		x
	<i>Sonotipo 20</i>				x		x
	<i>Sonotipo 21</i>				x		
	<i>Sonotipo 22</i>				x		
<i>Sonotipo 23</i>			x	x			
<i>Sonotipo 24</i>			x	x		x	

Localidades de muestreo acústico: Quebrada La Aguamieluda (AM); Quebrada La Chafarota (CH); Quebradas La Máquina-Resumidero (MR), Quebrada La Santa María (SM); Quebradas La Putana (PU) y Quebrada el Ramo (RA): Ambientes de forreo: Espacios abiertos (EA); Espacios de borde (EB); Espacios cerrados (EC).

Encontramos que las especies de la familia Vespertilionidae se encuentran altamente representadas en los diferentes ambientes de forrajeo, siendo las especies *L. ega* y *M. nigricans*, las únicas especies que forrajean en todas las coberturas vegetales. Así mismo, las especies *C. centralis* y *C. alecto* se detectaron solo en la quebrada el Ramo, esta localidad presenta ambientes de forrajeo de espacios abiertos y espacios de borde. Las especies de la familia Molossidae y Mormoopidae, *M. temminckii* y *M. megalophylla* solo presento registros acústicos en la quebrada Maquina-Resumidero (MR) y en la quebrada el Ramo (RA) respectivamente, ambas especies pertenecientes a familias de forrajeo en espacios abiertos (Schnitzler & Kalko, 2001). Las especies de la familia Noctilionidae se encuentran registradas en las quebradas La Putana (PU) y Maquina-Resumidero (MR), ambas localidades con alta disponibilidad de recurso hídrico (ISAGEN-UIS, 2011), es especial MR, la cual se encuentra próxima al área del embalse, ofreciendo un ambiente de forrajeo idóneo para estas especies que forrajea sobre la superficie del agua cazando insectos y peces (Kalko y Schnitzler, 1998).

4.4 Actividad acústica por localidad

En este estudio, relacionamos de los hábitats de forrajeo: espacios abiertos (EA); espacios de borde (EB) y espacios cerrados (EC) propuestos por Fenton (1990) con las coberturas vegetales reportadas por ISAGEN-UIS (2011) para las 6 localidades de estudio (Tabla 7).

Tabla 7.

Coberturas vegetales y ambientes de forrajeo para cada localidad de muestreo.

Localidad	Tipos de coberturas*	Ambiente forrajeo
Municipio: Betulia		
Cuenca quebrada La Aguamieluda (AM)	BR, BS, RA, CU.	EA, EB, EC
Cuenca quebrada La Putana (PU)	PA, BR, RA, RB, CU.	EA, EB
Cuenca quebrada La Chafarota (CH)	CU, PA, BR, BS, RA, RB.	EA, EB, EC
Cuenca quebradas La Máquina y Resumidero (MR)	BR, BS, RA, CU.	EA, EB, EC
Municipio: Zapatoca		
Cuenca quebrada El Ramo (RA)	BR, RA, RB, CU.	EA, EB
Municipio: Girón		
Cuenca quebrada La Santa María (SM)	BR, BS, RB, RA.	EA, EB, EC

*BR: Bosque ripario, BS: Bosque secundario, RA: Rastrojo alto, RB: Rastrojo bajo, CU: Cultivos o agroecosistemas, PA: Pastos arbolados. EA: Espacios abiertos, EB; Espacios de borde, EC; Espacios cerrados.

Las coberturas vegetales de cultivos o agroecosistemas, pastos arbolados, rastrojo bajo y alto se manejaron como espacios abiertos; las coberturas de bosque ripario y pastos arbolados se manejaron como espacios de borde y finalmente el bosque secundario se manejó como espacios cerrados para el forrajeo de murciélagos insectívoros aéreos (Tabla 7).

Las identidades probables dadas a los sonotipos coinciden con las familias, géneros y algunas especies reportadas por otros estudios para los diferentes ambientes de forrajeo (Schnitzler & Kalko, 2001; Schnitzler *et al.*, 2003; Denzinger & Schnitzler, 2013 y Reyes-Garzón, 2015) en donde se plantea que las familias que generalmente forrajean en espacios abiertos emiten señales de búsqueda de banda estrecha (Molossidae, por ejemplo, *Molossus*, *Promops*, *Tadarida*), (Rhinopomatidae, *Rhinopoma*), (Emballonuridae, p. ej., *Diclidurus*, *Peropteryx*, *Taphozous*) y

(Vespertilionidae, p. ej., *Lasiurus*, *Nyctalus*); mientras que los murciélagos que cazan insectos en hábitats de espacios de borde generalmente emiten chillidos mixtos de banda estrecha y banda ancha, principalmente murciélagos (Vespertilionidae, p. Ej., *Eptesicus*, *Myotis*, *Pipistrellus*), (Mormoopidae, p. Ej., *Mormoops*, *Pteronotus* , excepto *P. parnellii*). (Emballonuridae, por ejemplo, *Saccopteryx*); por otro lado el género *Myotis* (*M.nigricans*), se han reportado variaciones en su estructura acústica al forrajear en ambientes abiertos y cerrados (Siemers et al., 2001; Schnitzler & Kalko., 2001; Reyes-Garzón, 2015). Los murciélagos que buscan y capturan insectos, en un espacio cerrado, interior de la vegetación o cerca del suelo, deben hacer frente a dos situaciones simultaneas, evadir obstáculos y localizar su presa diferenciando los ecos de insectos con los ecos de los objetos de fondo, estas especies, según Schnitzler & Kalko, (2001) se asocian a familias del viejo mundo como (Rhinolophidae, Hipposideridae) y algunas especies genero *Pteronotus* (Mormoopidae). Sin embargo, durante los muestreos acústicos no se reportaron especies pertenecientes a este género, por lo tanto, no se profundizará en este gremio.

De las 6 localidades de muestreo, 2 sobresalen por su alta riqueza de especies de murciélagos insectívoros aéreos, la quebrada “El Ramo” que según el estudio de impacto ambiental realizado por ISAGEN-UIS, (2011); se caracteriza por presentar sistemas agroforestales y silvopastoriles en donde predominan los cultivos, las demás coberturas vegetales están presentes en menor área, siendo más importantes los rastrojos bajos y los bosques riparios; proporcionando hábitats de forrajeo de espacios abiertos (Rastrojos bajos) y espacios de borde (Bosque ripario y cultivos) en donde se registraron especies de las familias Vespertilionidae, Emballonuridae, Molossidae y Mormoopidae (Tabla 6), lo cual coincide con otros estudios realizados en el departamento (Reyes-Garzón, 2015) y propuesto por Schnitzler & Kalko, (2001). En esta localidad se registró una

riqueza específica de 26 especies, de estas *Myotis nigricans* y *Saccopteryx bilineata* presentan mayor actividad acústica que las demás especies con un total de 884 chillidos para *S.bilineata* y 736 para *M.nigricans*; el primero considerado una especie de forrajeo en espacios de borde, y el segundo como se mencionó anteriormente adapta su estructura acústica para forrajear en “EA” y “EB”, según lo definido por Schnitzler y Kalko (2001); estos murciélagos realizan dos tareas al mismo tiempo: deben encontrar insectos que vuelan cerca de borde de la vegetación, y deben navegar simultáneamente a lo largo de estos objetivos y evitar colisiones, lo cual representa un problema para la detección y la clasificación de los ecos de las presas, para solucionar estos problemas, los murciélagos que forrajean en espacios de borde suelen emitir chillidos mixtos (de banda estrecha y de banda ancha), en sus chillidos en la fase de búsqueda, un ejemplo claro de esto es el caso de *S.bilineata* (Emballonuridae), el cual emite un componente (FM-QCF-FM), en donde los componentes de banda estrecha facilitan enormemente la detección de presas, y los componentes FM de banda ancha son muy adecuados para la localización y caracterización de objetivos además de evitar colisiones (Schnitzler & Kalko 2001).

En el caso de *M. nigricans*, en situaciones de borde, reacciona aumentando la modulación de sus señales, y acortando la duración del chillido para evitar el solapamiento, mientras que en espacios abiertos sucede lo contrario, reduce la modulación y aumenta la duración del chillido ante la ausencia del enmascaramiento producido por la vegetación (Siemers et al., 2001; Reyes-Garzón, 2015).

Se reportó otras especies de la familia Emballonuridae y Molossidae los cuales se relacionan con los espacios abiertos en la quebrada El Ramo (Tabla 6), estas especies presentan

comportamientos de ecolocalización de banda estrecha (CF-QCF) con una pequeña modulación hacia arriba o hacia abajo, a menudo, estos murciélagos producen dos, tres o más alternaciones de frecuencia, lo que da como resultado intervalos largos de pulso (Schnitzler & Kalko 2001). Este tipo de señales relativamente largas están adaptadas para la detección a larga distancia de insectos en espacios abiertos y también pueden proporcionar cierta información basada en destellos (ecos) producidos por las alas que revolotean de un insecto. Algunos estudios como (Schnitzler & Kalko 1998; Barclay & Brigham 1991) relacionan este tipo de chillidos con el tamaño de las presas, en donde las señales largas (aproximadamente 8-25 ms) de baja frecuencia están adaptadas para la detección de insectos grandes a largas distancias, mientras que los murciélagos con señales más cortas y una frecuencia más alta pueden detectar insectos que son más pequeños y cercanos (Schnitzler & Kalko, 2001).

En cuanto a la quebrada La Máquina, se identificaron 21 sonotipos, de estos a 14 se les asignó una identidad probable a nivel de especie. La actividad acústica en esta localidad se vio representada nuevamente por *S. bilineata* (427) y *M. nigricans* (641). Esta localidad se caracteriza por presentar pequeñas fuentes de agua que nacen en la parte alta de la vertiente oriental de la serranía de La Paz y desembocan en el embalse Topocoro a su vez presenta zonas con parches de rastrojo alto en regeneración que se unen el cinturón de protección del embalse con los bosques secundarios en buen estado de conservación de la serranía de la Paz (ISAGEN-UIS, 2011). Predominan los potreros para ganadería hacia la parte baja de la vereda y hacia la parte alta, en la base de la serranía de La Paz los cultivos de cacao, los rastrojos en diferente estado de regeneración y el bosque secundario proporcionado hábitas de forrajeo como espacios abiertos (potreros), espacio de borde y espacios cerrados (Bosque secundario y rastrojos altos). En esta localidad se

registraron las dos especies de la familia Noctilionidae, estas se caracterizan por forrajear sobre la superficie de aguas tranquilas y despejadas en donde emiten chillidos mixtos de CF y FM de alta intensidad con duración media, bastante similares a las señales QCF-FM de los murciélagos mormópidos. (Kalko & Schnitzler, 1998). Relacionamos la representatividad de especies de murciélagos insectívoros aéreos (MIA) con el grado de intervención antrópica en las coberturas vegetales naturales para la creación de potreros y cultivos, los cuales constituyen ambientes de forrajeo de espacios abiertos y espacios de borde, ideales para el forrajeo de las familias Molossidae, Vespertilionidae y Emballonuridae aquí registradas. Por otro lado los registros de *N.leporinus* y *N.albiventris* en la quebrada La Putana se asocian a las coberturas de bosques riparios y la cercanía de este punto de muestreo al embalse Topocoro.

4.5 Validación estadística

Se realizó un análisis de clasificación Random Forest con los paquetes Caret y RandomForest en el software R Studio 3.5.1, se utilizó una matriz de datos con 7727 chillidos en donde se tuvo en consideración las diferentes alternaciones de frecuencia presentadas por las especies de las familias Molossidae, Emballonuridae y Noctilionidae; además, se utilizó como variable categórica las identificaciones taxonómicas realizadas a partir de bibliotecas de referencia; el entrenamiento se realizó con los parámetros por defecto sugeridos por los paquetes de análisis y con el 30% de los datos para entrenamiento y el análisis con el 70% para el análisis.

El análisis de clasificación Random Forest logró clasificar correctamente la mayoría de las variables dentro de los grupos establecidos (tasa de error del 3.08%) y una precisión estimada del

98% soportado por el estadístico Kappa. El análisis también extrajo las variables que más contribuyeron a la discriminación de los sonotipos, donde se resalta la “Frecuencia de Máxima Energía (FME)” y la “Frecuencia mínima (FI)”, como las variables que más aportan a la discriminación de las especies (Figura 7). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros estudios y bibliotecas acústicas en donde las descripciones acústicas se basan en el armónico en el cual se produce la frecuencia de máxima energía (FME), la estructura y duración del chillido (Rivera *et al.*, 2015; López-Baucells *et al.*, 2016; Arias-Aguilar *et al.*, 2018).



Figura 7. Variables importantes para la discriminación de Sonotipos en el modelo. Max (Frecuencia Máxima); Min (Frecuencia Mínima); Peak (Frecuencia Pico); Dur (Duración).

En general, el análisis presentó una óptima clasificación para los sonotipos que se lograron identificar a nivel de especie utilizando bibliotecas de referencia (Anexo 1), sin embargo, los sonotipos que no fue posible determinar presentaron un alto porcentaje de error de clasificación (Anexo 2), y por lo tanto se relaciona este resultado con el bajo número de chillidos por sonotipos.

Según los resultados obtenidos en la matriz de confusión y las clases de error (Anexo 2), los sonotipos identificados como *Cynomops cf planirostris*, fue catalogado de acuerdo a sus parámetros acústicos como *Eumops glaucinus* 15 veces (33.3%); *Cormura brevirostris* en su alternación media de frecuencia fue catalogado erróneamente en la alternación alta y como *M. bondae* en su alternación de frecuencia media, presentando una alta probabilidad de error de clasificación para esta especie. *Cyttarops alecto*, característico por presentar una estructura con frecuencia cuasi constante, fue catalogado en un 3.37% como *Peropteryx macrotis* y finalmente los sonotipos 06 y 24, se consideró que corresponden a chillidos de la familia Emballonuridae y catalogados por el random forest como *Saccopteryx bilineata* en su alternación de frecuencia baja en un 24.4%; respecto al sonotipo 24, este fue catalogado erróneamente como *Peropteryx macrotis* con una probabilidad del 16.25%.

Los sonotipos 04,05,11,17,20,22 y 23 presentaron una alta probabilidad de clasificación errónea, esto ocurre por el bajo número de chillidos encontrados, lo cual afecta el entrenamiento del algoritmo, siendo necesario aumentar los muestreos acústicos y realizar capturas con métodos tradicionales que permitan identificar correctamente estos sonotipos.

4.6 Selección de datos acústicos para la calibración del software BatScope

Los chillidos acústicos compartidos con el “Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL” fueron seleccionados en su mayoría de la biblioteca acústica diseñada por Reyes-Garzón, 2015, seleccionando los chillidos con una menor relación señal ruido de las especies referenciadas por línea de vuelo y se complementó dicha información con registros

acústicos de este proyecto, de tal manera que se cumpliera con el mínimo de chillidos por especie y alternación de frecuencia requeridos por el Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL.

Se enviaron 1572 chillidos distribuidos en 4 familias (Molossidae, Emballonuridae, Vespertilionidae y Noctilionidae) con un total de 14 especies confirmadas y dos a nivel de género (Tabla 8 y Anexo 3).

Tabla 8.

Numero de chillidos enviados a Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL

Género/Especie	N. chillidos
<i>Eptesicus furinalis</i>	41
<i>Eptesicus sp</i>	54
<i>Eumops glaucinus</i>	48
<i>Molossops temminckii</i>	76
<i>Molossus bondae</i>	141
<i>Molossus molossus</i>	165
<i>Myotis nigricans</i>	160
<i>Myotis riparius</i>	53
<i>Noctilio albiventris</i>	83
<i>Noctilio leporinus</i>	181
<i>Peropteryx kappleri</i>	59
<i>Peropteryx macrotis</i>	225
<i>Peropteryx sp</i>	51
<i>Rhynchonycteris naso</i>	50
<i>Saccopteryx bilineata</i>	121
<i>Saccopteryx leptura</i>	64
Total	1572

Los registros acústicos obtenidos e identificados en este proyecto no se incluyeron en este paquete de datos enviado debido a que es necesario realizar grabaciones limpias, ya sea por línea de vuelo o cámaras de vuelo para poder realizar un correcto entrenamiento de los algoritmos de clasificación; por otro lado, aun no se cuenta con programas de identificación automatizado a partir

de datos acústicos para que incluya especies del neotrópico, en este sentido es de vital importancia seguir alimentando las bibliotecas acústicas regionales para llegar a un consenso que permita desarrollar o calibrar herramientas de clasificación que faciliten las caracterizaciones taxonómicas a partir de registros acústicos en murciélagos insectívoros aéreos.

Es importante resaltar que los murciélagos insectívoros aéreos aún no se describen adecuadamente en el neotrópico. Por lo tanto, se hace necesario aumentar la investigación acústica en murciélagos para llenar los vacíos de conocimiento, de tal forma que esta herramienta permita realizar mejores evaluaciones de impacto ambiental y programas de monitoreo.

En este orden de ideas la construcción de bibliotecas acústicas regionales es indispensable para este tipo de evaluaciones ecológicas y debido a la ausencia de éstas (solo una en construcción para el departamento de Santander), hace que las comparaciones para realizar una identificación taxonómica a partir de datos acústicos, se deben realizar con las bibliotecas acústicas más cercanas publicadas ej: México (Zamora-Gutiérrez *et al.*, 2016), Panamá (Jung *et al.*, 2007), Ecuador (Rivera *et al.*, 2015), Brasil (Arias-Aguilar *et al.*, 2018); sin embargo, aunque exista información publicada sobre las características de los chillidos de ecolocación de la mayoría de estas especies en algunas áreas geográficas, ésta no es directamente aplicable a otras áreas ya que existe evidencia de factores como condiciones climáticas, ubicación geográfica, estructura del hábitat, altura del vuelo y varios otros factores fisiológicos y ambientales que pueden dar lugar a una gran variación en estructura de chillido dentro de una especie particular (ej. Guillén *et al.*, 2000; O'Farrell *et al.*, 2000; Barclay & Brigham, 2004). Por lo tanto, se hace una invitación a la comunidad científica interesada en ecología de murciélagos y bioacústica a seguir alimentando las bibliotecas regionales

de tal manera que a futuro se logre tener muestras representativas de las variaciones inter e intra específica de las especies en los diferentes ambientes de forrajeo y condiciones ambientales presentes en el departamento de Santander y en Colombia en general.

5. Conclusiones

Se identificaron un total de 34 sonotipos, de los cuales solo a 19 se les logro asignar una identidad probable a nivel de especie y 9 a nivel de familia, esto corresponde al 45.2% de las especies reportadas y con distribución potencial para el departamento de Santander.

Se registran los parámetros acústicos regionales para las especies *Centronycteris centralis*, *Cynomops cf. planirostris*, *Cyttarops alecto*, *Lasiurus ega*, *Noctilio leporinus* y *Rhogeessa io*; nuestras descripciones corresponden a los chillidos de la fase de búsqueda y fueron depositadas en la biblioteca acústica en construcción de la Universidad Industrial de Santander a cargo de la Escuela de Biología. Las localidades con mayor representatividad de murciélagos insectívoros aéreos en el área de estudio corresponden a las quebradas el Ramo con 26 sonotipos y Maquina-Resumidero con 22 sonotipos; la primera próxima al PNN Serranía Yariguies y a la segunda próxima al embalse topocoro.

Las familias Emballonuridae y Molossidae fueron las más representativas en las diferentes áreas de estudio, lo cual refleja el alto grado de intervención antrópica ya que genera grandes espacios abiertos y de borde producto de la creación de potreros y cultivos.

Referencias Bibliográficas

- Adams, R. A., & Pedersen, S. C. (Eds.). (2013). Bat Evolution, Ecology, and Conservation. *Springer Science & Business Media*. New York, pp. 479-501.
- Aguirre, L.F., (2007). Historia natural, distribución y conservación de los murciélagos de Bolivia. *Mastozoología Neotropical*. 15: 158–160.
- Aldridge, H.D.J.N., and Rautenbach, I. L. (1987). Morphology, echolocation and resource partitioning in insectivorous bats. *J. Anim. Ecol.* 56, 763–778.
- Barclay R. M. R. Brigham R. M. (1991). Prey detection, dietary niche breadth, and body size in bats: Why are aerial insectivorous bats so small?. *American Naturalist*. 137: 693–703.
- Barclay, R. M., & BRIGHAM, R. M. (2004). Geographic variation in the echolocation calls of bats: a complication for identifying species by their calls. *Bat echolocation research: tools, techniques, and analysis*. Austin, Texas, 144-149.
- Barnett, A. A., Sampaio, E. M., Kalko, E. K., Shapley, R. L., Fischer, E., Camargo, G., & Rodríguez-Herrera, B. (2006). Bats of Jaú National Park, central Amazônia, Brazil. *Acta Chiropterologica*, 8(1), 103-128.
- Bat Conservation International. (2016). Global bat species richness. Recuperado de: <http://www.batcon.org/why-bats/bats-are/bats-are-everywhere> [Accessed June 5, 2016].
- Boesch, R. & Obrist M.K. (2013) BatScope - Implementation of a BioAcoustic Taxon Identification tool. Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf, Switzerland.
- Brigham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, and H. Limpens. (2004). Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis. *Bat Conservation International. National Fish and*

Wildlife Foundation. .

- 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 (Tesis para optar el título de Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana, estado de apure, Venezuela.
- Chariff, A., Waak, A.M. & Strickman, L.M. (2008). Raven Pro 1 . 3 User ' s Manual. Cornell Laboratory of Ornithology,Ithaka, NY, (March).
- Collen, A. L. (2012). The evolution of echolocation in bats: a comparative approach. (Tesis Doctoral). University College London.
- Denzinger A, Schnitzler HU. (2013) Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Front Physiol* 4:164.
- Denzinger, A., & Schnitzler, H. U. (2004). Perceptual tasks in echolocating bats. *Dynamic perception. Akademische Verlagsgesellschaft*, Berlin, 33-38.
- Denzinger, A., Kalko, E. K., & Jones, G. (2004). Ecological and evolutionary aspects of echolocation in bats. *Echolocation in bats and dolphins*, 311-326.
- Denzinger, A., Siemers, B. M., Schaub,A., and Schnitzler, H.-U. (2001). Echolocation by the barbastelle bat, *Barbastella barbastellus*. *J. Comp.Physiol. A* 187, 521–528.
- Fenton M. B. (1999). Describing the echolocation calls and behaviour of bats. *Acta Chiropterologica* 1: 127–136.
- Fenton, M. B. (1990). The foraging behaviour and ecology of animal-eating bats. *Canadian Journal of Zoology*, 68(3), 411-422.

- Fenton, M.B. and Bell, G.P. (1981) Recognition of species of insectivorous bats by their echolocation calls. *J. Mammal.* 62, 233–243
- Gannon, W.L. y Bogdanowicz, W. eds. (2000). Contributions to the study of bats: field use of acoustic detectors. *Acta Chiropterologica*, Volume 2.
- Griffin D. R. Webster F. A. Michael C. R. (1960). The echolocation of flying insects by bats. *Animal Behaviour* 3: 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.
- ISAGEN-UIS. (2011). Actividades de salvamento de la fauna terrestre incluidos insectos, durante adecuación de sitios de obra, proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Informe Técnico.
- Jung K, Kalko EKV, von Helversen O. (2007) Echolocation calls in Central American emballonurid bats: signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology* 272: 125–137.
- Jung K, Molinari J, Kalko EKV. (2014) Driving Factors for the Evolution of Species-Specific Echolocation Call Design in New World Free-Tailed Bats (Molossidae). *PLoS ONE* 9(1)
- Kalko E. K. V. Schnitzler H. U. (1989). The echolocation and hunting behavior of Daubenton's bat, *Myotis daubentoni*. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 24: 225–238.
- Kalko, E. K., Handley, C. O., & Handley, D. (1996). Organization, diversity, and long-term dynamics of a Neotropical bat community. In *Long-term studies of vertebrate communities* (pp. 503-553).
- Kalko, E. K., Schnitzler, H. U., Kaipf, I., & Grinnell, A. D. (1998). Echolocation and foraging behavior of the lesser bulldog bat, *Noctilio albiventris*: preadaptations for piscivory?.

Behavioral Ecology and Sociobiology 42(5): 305-319.

Kalko, E. K., Villegas, S. E., Schmidt, M., Wegmann, M., & Meyer, C. F. (2008). Flying high— assessing the use of the aerosphere by bats. *Integrative and Comparative Biology* 48(1): 60-73.

Kalko, E.K.V. y Handley Jr., C.O. (2001). Neotropical bats in the canopy: diversity, community structure, and implications for conservation. *Plant Ecology* 153: 319–333

Kalko, E.K.V., Estrada-Villegas, S., Schmidt, M., Wegmann, M. y Meyer, C.F.J. (2008). Flying high - assessing the use of the aerosphere by bats. *Integrative and Comparative Biology* 48, 60–73.

Krausman, P. R. (1999). Some basic principles of habitat use. *Grazing behavior of livestock and wildlife*, 70, 85-90.

Kunz, T.H (ed.). (1982). Ecology of Bats. *Plenum Press*, New York and London, xviii pp . 425

Liaw, A. & Wiener, M. (2002). Classification and regression by random forest. *R News*, 2, 18–22.

Limpens, H. J. G. A. (2004). Field identification: using bat detectors to identify species. *Bat echolocation research: tools, techniques and analysis*. Edited by RM Brigham, EKV Kalko, G. Jones, S. Parsons, and HJGA Limpens. *Bat Conservation International*, Austin, Texas, 46-57.

López-Baucells, A., Rocha, R., Bobrowiec, PED, Palmeirim, JM and Meyer, CFJ. (2016), Field guide to Amazonian Bats , *National Institute of Amazonian Research (INPA)*, Manaus, Brazil.

Macías, S., Mora, E.C. & García, A. (2006). Acoustic Identification of Mormoopid bats: a survey during the evening exodus. *Journal of Mammalogy* 87(2): 324–330.

Macswiney, M., Clarke, F. & Racey, P. (2008). what you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology* 45(5) :1364–1371.

- Mantilla-Meluk, H., Ramírez-Chaves, H. E., Jiménez-Ortega, A. M., & Rodríguez-Posada, M. E. (2014). Emballonurid bats from Colombia: Annotated checklist, distribution, and biogeography. *Therya*, 5(1), 229-255.
- Meyer, C. F., Aguiar, L., Aguirre, L. F., Baumgarten, J., Clarke, F. M., Cosson, J. F., ... & Henry, M. (2011). Accounting for detectability improves estimates of species richness in tropical bat surveys. *Journal of Applied Ecology* 48(3): 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 (Doctoral dissertation, University of Kent at Canterbury, *Durrell Institute of Conservation and Ecology*) p.292.
- Miller, B. W. (2004). Acoustic surveys and non-phylostomid neotropical bats: how effective are they? *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis*, 58.
- 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): 457-463.
- Mora, E. C., & Torres, L. (2008). Echolocation in the large molossid bats *Eumops glaucinus* and *Nyctinomops macrotis*. *Zoological science* 25(1): 6-13.
- Neuweiler, G. (1989). Foraging ecology and audition in echolocating bats. *Trends Ecol. Evol.* 4, 160-166.
- Neuweiler, G. (2000). The biology of bats. *Oxford University Press on Demand*. Oxford, New York.
- Norberg, U. M., and J. M. V. Rayner. (1987). Ecological morphology and flight in bats (Mammalia: Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philos. Tran. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 316:335-427.

- O'Farrell, M. J., Corben, C., & Gannon, W. L. (2000). Geographic variation in the echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*). *Acta Chiropterologica*, 2(2), 185-196.
- Obrist, M. K., Boesch, R., & Flückiger, P. F. (2004). Variability in echolocation call design of 26 Swiss bat species: consequences, limits and options for automated field identification with a synergetic pattern recognition approach. *Mammalia mamm*, 68(4), 307-322.
- Ochoa, J., O'Farrell, M. J., & Miller, B. W. (2000). Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela. *Acta Chiropterologica* 2(2): 171-183.
- O'Farrell, M. J., & Miller, B. W. (1999). Use of Vocal Signatures for the Inventory of Free-flying Neotropical Bats1. *Biotropica* 31(3): 507-516.
- Orozco-Lugo, Lorena, Guillén-Servent, Antonio, Valenzuela-Galván, David, & Arita, Héctor T.. (2013). Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya*, 4(1), 33-46. <https://dx.doi.org/10.12933/therya-13-103>
- Pech-Canche, J. M., MacSwiney, C., & Estrella, E. (2010). Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya* 1(3): 221-228.
- Ramírez-Chaves, H., Suárez-Castro, A., & González-Maya, J. F. (2016). Cambios recientes a la lista de los mamíferos de Colombia. *Mammalogy Notes* 3(1): 1-9.
- Restrepo-Giraldo, C., Guillén-Servent, A. & Toro-Restrepo, B., (2015). *Uso de Microhábitat de los murciélagos insectívoros aéreos en tres ecoparques de la ciudad de Manizales* (Tesis para optar el título de Biólogo). *Universidad de Caldas, Caldas, Colombia*
- Reyes-Garzón, O., (2015). *Biblioteca de llamados de ecolocalización de los murciélagos insectívoros aéreos presentes en la cuenca media del río Lebrija-Santander* (Tesis para optar

- el título de Biólogo), Escuela de Biología, Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Rivera, M. D., Vallejo, A. F. y Burneo, S. F. (2015). Mamíferos del Ecuador. Versión 2018.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/Ecolocacion/>, 27-06/2018.
- Rivera-Parra, P., & Burneo, S. F. (2013). Primera biblioteca de llamadas de ecolocalización de murciélagos del Ecuador. *Therya*, 4(1), 79-88.
- Rodriguez-Moreno, R.A, Ortega,J., Ramirez-Pinilla, M.P., Serrano-Cardozo, V.H. (2004) "Anfibios, Reptiles & Mamíferos. Área de influencia. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Guía Ilustrada" En: Colombia. ed:Division de publicaciones UIS ISBN: 9789588819174. p.168
- Root R. B. (1967). The niche exploitation pattern of the blue-gray gnatcatcher. *Ecological Monographs* 37: 317–50.
- Schnitzler, H. U. (1998). How echolocating bats search and find food. *Bat biology and conservation*, 183-196.
- Schnitzler, H. U., & Kalko, E. K. (2001). Echolocation by Insect-Eating Bats We define four distinct functional groups of bats and find differences in signal structure that correlate with the typical echolocation tasks faced by each group. *Bioscience* 51(7): 557-569.
- Schnitzler, H. U., Kalko, E. K., Kaipf, I., & Grinnell, A. D. (1994). Fishing and echolocation behavior of the greater bulldog bat, *Noctilio leporinus*, in the field. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 35(5): 327-345.
- Schnitzler,H.U.,Moss,C.F.,and Denzinger, A. (2003). From spatialorientation to food acquisition inecholocating bats. *Trends Ecol. Evol.*18, 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.
- Solari, S., Muñoz-Saba, Y., Rodríguez-Mahecha, J. V., Defler, T. R., Ramírez-Chaves, H. E., & Trujillo, F. (2013). Riqueza, endemismo y conservación de los mamíferos de Colombia. *Mastozoología neotropical* 20(2): 301-365.
- Szewczak, J. M. (2004). Advanced analysis techniques for identifying bat species. *Bat echolocation research: tools, techniques and analysis*. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA, 121-126.
- Teeling, E. C. (2009). Hear, hear: the convergent evolution of echolocation in bats?. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(7), 351-354.
- Thomas, J. A. (1999). *Advances in the Study of Echolocation in Bats and Dolphins*. WESTERN ILLINOIS UNIV MACOMB.
- Virraruel Irala, C. & Perez Justiniano, O., 2014. CLARIBEL, V. I., & OLGA, P. J. (2014). Evaluación del uso de hábitat de los murciélagos insectívoros durante la época húmeda en el centro de estudios del bosque tropical “Alta Vista”-Santa Cruz. *Revista científica de la Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad Autónoma Gabriel René Moreno UAGRM*, 3(2).” - Santa Cruz.
- Walters, C. L., Freeman, R., Collen, A., Dietz, C., Fenton, M. B., Jones, G., & Parsons, S. (2012). A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology*, 49(5), 1064-1074.
- Walters, C.L., Freeman, R., Collen, A., Dietz, C., Fenton, M.B., Jones, G. et al. (2012). A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology*, pp. 1064–1074

- Zamora-Gutierrez, V., Lopez-Gonzalez, C., Gonzalez, M. C. M., Fenton, B., Jones, G., Kalko, E. K., ... & Jones, K. E. (2016). Acoustic identification of Mexican bats based on taxonomic and ecological constraints on call design. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(9), 1082-1091.
- Zurc, Danny & Guillén-Servent, Antonio & Solari, Sergio. (2017). Chillidos de ecolocación de murciélagos emballonuridae en una sábana xerófila-semiseca del Caribe Colombiano. *Mastozoología Neotropical*. 24. 201-218.

Apéndices

Apéndice A. Bibliotecas acústicas para MIA en centro y sur América utilizadas como referencia.

Familia	sp	FME	FH	FL	Dur	Referencia	Reg
Emballonuridae	<i>C. brevirostris</i>	25.28±1.61	27.1±1.55	23.56±1.88	11.1±1.70	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>C. brevirostris</i>	31.55±0.42	33.83±0.45	29.08±0.79	11.6±1.66	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>C. brevirostris</i>	36.56±0.63	37.60±0.66	35.00±0.77	7.18±1.36	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>C.alecto</i>	35.9 ± 0.4			9.8 ± 1.6	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>C.alecto</i>	35.9 0.4			9.8 1.6	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>C.alecto cf</i>	36.56±0.63	37.60±0.66	35.00±0.77	7.18±1.36	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>C.brevirostris</i>	31.36	32.52	29.01	11.97	Rivera et al., 2015	Ec
Emballonuridae	<i>C.brevirostris H</i>	31.4±0.4			8.6±1.6	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>C.brevirostris l</i>	25.2±1.5			8.2±2.0	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>C.brevirostris m</i>	28.1±0.6			8.2±1.8	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>C.centralis</i>	41.3 ± 0.3			5.9 ± 1.4	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>C.centralis</i>	51.3 1.8			7.2 1.5	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>C.centralis cf</i>	39.77±0.46	40.9±0.40	35.80±1.70	4.28±0.99	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>C.greenhalli</i>		25.2 ± 1.3	17.4 ± 3.6	15.9 ± 2.1	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>C.greenhalli</i>		29 ± 1.5	21.1 ± 4.6	14.8 ± 2.4	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>P. macrotis</i>	39.50±1.08	40.58±1.13	37.62±1.30	6.89±1.39	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>P.kappleri</i>	31.6 ± 1.6			9.6 ± 2.2	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>P.kappleri</i>	31.6 1.6			9.6 2.2	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>P.kappleri</i>	33.2±2.0	34.4±1.7	32.6±2.0	13.9±2.5	Zurc et al., 2017	Col
Emballonuridae	<i>P.kappleri</i>	39.58	40.16	36	7.29	Rivera et al., 2015	Ec
Emballonuridae	<i>P.kappleri</i>	32.87±1.98	34.08±1.86	31.31±2.01	7.16±2.02	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>P.macrotis</i>	41.61 ± 2.38	41.87 ± 2.48	37.54 ± 2.30	7.30 ± 1.30	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra

Emballonuridae	<i>P.macrotis</i>	41.61±2.38	41.87±2.48	37.54±2.30	7.30±1.30	Zamora-Gutiérrez et al., 2016	Mx
Emballonuridae	<i>P.macrotis</i>	38.9	0.9		9.3	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>P.macrotis</i>	40.5±4.0	41.2±4.4	39.4 ±1.3	10.4±3.1	Zurc et al., 2017	Col
Emballonuridae	<i>S.bilineata</i>	47.29 ± 5.68	48.55 ± 7.33	44.10 ± 5.11	7.40 ± 1.58	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>S.bilineata</i>	47.29±5.68	48.55±7.33	44.10±5.11	7.40±1.58	Zamora-Gutiérrez et al., 2016	Mx
Emballonuridae	<i>S.bilineata</i>	46.46	46.81	43.41	7.22	Rivera et al., 2015	Ec
Emballonuridae	<i>S.bilineata h</i>	46.8 ± 0.8	47.2 ± 0.8	46 ± 0.8	8.8 ± 1.0	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>S.bilineata h</i>	46.8	1.1		7.6	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>S.bilineata H</i>	44.9±1.0	45.4±1.1	43.8±1.4	8.2±2.0	Zurc et al., 2017	Col
Emballonuridae	<i>S.bilineata h</i>	47.01±0.95	48.54±0.84	44.54±1.12	7.13±1.62	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>S.bilineata h</i>	45,3±1,0	48,7±1,3	45,3±1,0	6,0±1,0	Reyes-Garzón., 2015	Col
Emballonuridae	<i>S.bilineata l</i>	44.5 ± 0.7	45 ± 0.8	43.7 ± 0.7	9.2 ± 1.1	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>S.bilineata l</i>	44.5	1.3		7.5	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>S.bilineata l</i>	42.4±1.3	43.2±1.3	41.0±1.4	8.1±1.5	Zurc et al., 2017	Col
Emballonuridae	<i>S.bilineata l</i>	44.12±1.51	45.81±1.34	41.64±1.55	7.51±1.72	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>S.bilineata l</i>	43±1,0	46,5±0,7	43±1,0	5,7±1,2	Reyes-Garzón., 2015	Col
Emballonuridae	<i>S.canescens</i>	55.4±1.0	56.0±1.0	53.4±1.0	5.5±0.9	Zurc et al., 2017	Col
Emballonuridae	<i>S.leptura</i>	50.58 ± 2.48	51.27 ± 2.50	46.66 ± 3.84	6.78 ± 2.28	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>S.leptura</i>	50.58±2.48	51.27±2.50	46.66±3.84	6.78±2.28	Zamora-Gutiérrez et al., 2016	Mx
Emballonuridae	<i>S.leptura</i>	53.31	54.52	51.47	6.76	Rivera et al., 2015	Ec
Emballonuridae	<i>S.leptura h</i>	54.61 ± 1.8			6.8 ± 1.2	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>S.leptura h</i>	54.6	1.8		6.8	Jung et al., 2007	Pan
Emballonuridae	<i>S.leptura H</i>	48.7±8.2	49.3±1.1	47.5±1.0	9.0±1.0	Zurc et al., 2017	Col
Emballonuridae	<i>S.leptura h</i>	55.66±0.96	57.4±0.70	52.59±1.05	6.12±0.84	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>S.leptura h</i>	54,8±0,4	56,9±0,4	49,5±0,3	8,0±0,7	Reyes-Garzón., 2015	Col
Emballonuridae	<i>S.leptura l</i>	51.3 ± 1.8			7.2 ± 1.5	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Emballonuridae	<i>S.leptura l</i>	51.3	1.		7.2	Jung et al., 2007	Pan

Emballonuridae	<i>S.leptura L</i>	46.9±1.2	47.3±1.0	45.1±1.2	8.0±2.0	Zurc et al., 2017	Col
Emballonuridae	<i>S.leptura l</i>	52.88±0.69	55.05±0.46	49.76±0.76	6.49±0.79	Este estudio	Col
Emballonuridae	<i>S.leptura l</i>	51,9±0,6	54,1±0,5	46,7±1,3	8,0±0,5	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>C. planirostris</i>	22.53±1.96	26.74±1.78	19.64±2.18	13.68±3.66	Este estudio	Col
Molossidae	<i>C. planirostris</i>	29,3±0,7	17,9±2,2	29,3±0,7	17,7±0,6	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>C.planirostris</i>	25	28.8 ± 1.3	21.1 ± 2.4	16.1 ± 1.9	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Molossidae	<i>C.planirostris</i>	28	32.9 ± 1.1	24.3 ± 4.6	15.9 ± 2.3	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Molossidae	<i>E. glaucinus</i>	22.90.9	28.3±0.8	19.5±0.8	0.5±0.05	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>E.glaucinus</i>		20.3 ± 0.3	29.3 ± 4.2	16.7 ± 4.5	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Molossidae	<i>E.glaucinus</i>	22.43±2.48	26.51±3.33	19.35±2.76	14.82±2.87	Este estudio	Col
Molossidae	<i>M. temminckii</i>	46.09±2.28	50.96±0.79	43.57±2.03	5.68±1.25	Este estudio	Col
Molossidae	<i>M.bondae h</i>	40.06±2.16	43.66±4.03	35.67±2.19	11.88±3.23	Este estudio	Col
Molossidae	<i>M.bondae h</i>	41,6±1,2	34,9±1,2	41,6±1,2	9,9±1,3	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>M.bondae l</i>	30.73±1.74	32.98±1.80	26.55±2.23	12.33±1.97	Este estudio	Col
Molossidae	<i>M.bondae l</i>	32,9±1,5	26,4±2,3	32,9±1,5	12,3±1,8	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>M.bondae m</i>	35.57±1.19	38.05±1.77	32.18±1.65	12.17±2.08	Este estudio	Col
Molossidae	<i>M.bondae m</i>	37,6±1,5	30,9±2,4	37,6±1,5	11,3±1,4	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>M.molossus</i>	38.38 ± 4.59	38.93 ± 4.57	34.71 ± 4.09	4.22 ± 1.55	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Molossidae	<i>M.molossus</i>	38.38±4.59	38.93±4.57	34.71±4.09	8.72±2.49	Zamora- Gutiérrez et al., 2016	Mx
Molossidae	<i>M.molossus</i>	38.16	38.78	35.59	12.01	Rivera et al., 2015	Ec
Molossidae	<i>M.molossus h</i>	39.8 ± 1.2			10.4 ± 2.2	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Molossidae	<i>M.molossus h</i>	40.91±0.64	42.24±0.88	37.40±1.06	5.03±1.15	Este estudio	Col
Molossidae	<i>M.molossus h</i>	42,4±1,0	36,7±2,3	42,4±1,0	6,8±1,2	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>M.molossus l</i>	33.5 ± 1.2			10.4 ± 1.4	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Molossidae	<i>M.molossus l</i>	34.37±1.59	35.95±1.64	30.91±2.12	6.03±1.56	Este estudio	Col
Molossidae	<i>M.molossus l</i>	35,6±0,9	29,7±1,3	35,6±0,9	7,3±0,9	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>M.molossus m</i>	36.8 ± 1.0			10.2 ± 1.3	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Molossidae	<i>M.molossus m</i>	38.25±1.02	39.63±1.17	34.57±1.31	5.55±2.05	Este estudio	Col
Molossidae	<i>M.molossus m</i>	39,1±1,2	33,7±2,8	39,1±1,2	6,9±1,0	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>M.temminckii</i>	41,2±1,2	53,3±1,0	41,2±1,2	7,4±0,8	Reyes- Garzón., 2015	Col
Molossidae	<i>M.temminckii</i>	71,9±1,2	53,1±1,4	71,9±1,2	5,3±0,8	Reyes- Garzón., 2015	Col

Mormoopidae	<i>M.megalophylla</i>	52.00±2.19	55.66±2.62	42.10±2.35	4.78±1.62	Zamora-Gutiérrez et al., 2016	Mx
Mormoopidae	<i>M.megalophylla</i>	54.57±0.44	57.13±0.44	53.37±0.32	4.59±0.70	Este estudio	Col
Noctilionidae	<i>N. alviventris h</i>	71.18±2.04	72.7±0.59	65.20±1.80	9.22±1.14	Este estudio	Col
Noctilionidae	<i>N. alviventris l</i>	47.13±3.67	59.30±5.37	38.47±1.75	5.40±1.93	Este estudio	Col
Noctilionidae	<i>N. leporinus h</i>	49.23±4.94	51.47±5.15	44.77±5.94	3.57±1.15	Este estudio	Col
Noctilionidae	<i>N. leporinus l</i>	41.04±9.19	49.89±3.83	26.89±3.45	3.97±1.06	Este estudio	Col
Noctilionidae	<i>N.albiventris</i>	52.47 (48.37– 57.28)	44.83 (42– 49.18)	67.51 (67.04– 68.11)	9.99 (9.12– 10.73)	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Noctilionidae	<i>N.albiventris</i>	52.47	67.51	44.83	9.99	Rivera et al., 2015	Ec
Noctilionidae	<i>N.albiventris h</i>	72,8±0,7	64,6±1,4	72,8±0,7	9,0±0,9	Reyes-Garzón., 2015	Col
Noctilionidae	<i>N.albiventris l</i>	37,8±1,9	72,6±0,6	37,8±1,9	11,9±1,2	Reyes-Garzón., 2015	Col
Noctilionidae	<i>N.leporinus</i>	48.6 ± 3.9	74.1 ± 1.4	38.9 ± 4.9	7.8 ± 1.1	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Noctilionidae	<i>N.leporinus</i>	31.03±3.45	50.96±5.22	23.52±3.42	8.41±3.44	Zamora-Gutiérrez et al., 2016	Mx
Noctilionidae	<i>N.leporinus</i>	34.61	50.68	27.61	12.72	Rivera et al., 2015	Ec
Vespertilionidae	<i>E.brazi.chiri</i>	32 ± 2.6			7.6 ± 1.6	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Vespertilionidae	<i>E.brazi.chiri</i>	37.6 ± 1.3	40.4 ± 2.1	36.4 ± 1.4	7.1 ± 1.9	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Vespertilionidae	<i>E.brasiliensis</i>	37.12 ± 6.07	55.83 ± 11.48	37.12 ± 6.07	7.80 ± 3.77	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Vespertilionidae	<i>E.brasiliensis</i>	37.12±6.07	55.83±11.48	32.93±3.46	7.80±3.77	Zamora-Gutiérrez et al., 2016	Mx
Vespertilionidae	<i>E.furinalis</i>	39.77±3.55	56.34±8.69	37.05±1.23	6.91±1.72	Zamora-Gutiérrez et al., 2016	Mx
Vespertilionidae	<i>Eptesicus sp</i>	40.4±4.3	66.5±3.2	36.8±0.7	4.8±0.8	Reyes-Garzón., 2015	Col
Vespertilionidae	<i>L.ega</i>	31.3 ± 1.3	27.3 ± 2.5		9.4 ± 1.2	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Vespertilionidae	<i>L.ega</i>	32.2 ± 1.2	34.9 ± 1.6	31.1 ± 1.4	8.7 ± 2.5	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Vespertilionidae	<i>L.ega</i>	55.20±5.41	61.13±4.50	37.45±0.98	2.93±0.51	Zamora-Gutiérrez et al., 2016	Mx
Vespertilionidae	<i>Lasiurus ega</i>	35.31±2.38	43.08±4.78	33.04±1.88	6.6±2.41	Este estudio	Col
Vespertilionidae	<i>M.keasi</i>	59.99±1.72	88.47±9.72	58.71±2.06	3.30±0.87	Zamora-Gutiérrez et al., 2016	Mx
Vespertilionidae	<i>M.nigricans</i>	54.2 ± 0.04	61.5 ± 2.3	50.9 ± 0.6	7.2 ± 0.3	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Vespertilionidae	<i>M.nigricans</i>	48.25	76.9	38.53	3.41	Rivera et al., 2015	Ec
Vespertilionidae	<i>M.nigricans</i>	52.78±2.02	61.68±6.38	50.48±2.06	3.50±0.94	Este estudio	Col

Vespertilionidae	<i>M.nigricans</i>	68,6±2,2	50,6±1,3	68,6±2,2	5,4±1,0	Reyes-Garzón., 2015	Col
Vespertilionidae	<i>M.riparius</i>	58.1 ± 2.5		58–60	5 ± 1.3	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Vespertilionidae	<i>M.riparius</i>	66.56	102.8	61.57	4.38	Rivera et al., 2015	Ec
Vespertilionidae	<i>M.riparius</i>	62.47±3.55	86.12±12.5 2	59.72±1.20	2.82±0.52	Este estudio	Col
Vespertilionidae	<i>M.riparius</i>	84,8±9,1	60,3±1,8	84,8±9,1	3,2±0,4	Reyes-Garzón., 2015	Col
Vespertilionidae	<i>R.io</i>	52.4 ± 3.7	99.6 ± 6.5	39.6 ± 3.9	2.8 ± 0.6	Arias-Aguilar et al. 2018	Bra
Vespertilionidae	<i>R.io</i>	45.78±1.27	52.91±3.40	42.52±1.20	4.14±1.17	Este estudio	Col

Apéndice C. Datos enviados al Swiss Federal Research Institute WSL

Swiss Federal Research Institute WSL
 Eidg. Forschungsanstalt WSL
 Institut fédéral de recherches WSL
 Istituto federale di ricerca WSL

Universidad Industrial de Santander
 To whom it may concern

Birmensdorf, May 10, 2017

Dr. Martin K. Obrist
 Biodiversity and Conservation Biology
 Phone +41-44-739 24 66, fax +41-44-739 22 15
 martin.obrist@wsl.ch



Subject: Confirmation of acoustic bat data delivery by *Jefferson Sanchez Castrillon*

Dear reader at Industrial University of Santander

I herewith confirm, that I received a considerable amount of ultrasound echolocation recordings of Colombian bats from *Jefferson Sanchez Castrillon* as listed in the table to the right.

The data will be used to train an upcoming version of BatScope*, a free software for the automated identification of bats by their echolocation calls.

We are very grateful for the contribution of Jefferson Sanchez Castrillon from Universidad Industrial de Santander to this novel nature conservation tool. The source of the recordings will be duly acknowledged in the software.

Yours sincerely

Dr. Martin Obrist
 Senior Researcher

* <http://www.batscope.ch>

Genus / Species	N calls
<i>Eptesicus furinalis</i>	41
<i>Eptesicus sp.</i>	54
<i>Eumops glaucinus</i>	48
<i>Molossops temminckii</i>	76
<i>Molossus bondae</i>	141
<i>Molossus molossus</i>	165
<i>Myotis nigricans</i>	160
<i>Myotis riparius</i>	53
<i>Noctilio albiventris</i>	83
<i>Noctilio leporinus</i>	181
<i>Peropteryx kappleni</i>	59
<i>Peropteryx macrotis</i>	225
<i>Peropteryx sp.</i>	51
<i>Rhynchonycteris naso</i>	50
<i>Saccopteryx bilineata</i>	121
<i>Saccopteryx leptura</i>	64
Total	1572