

ANÁLISIS DE LOS PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN DE ALGUNAS ESPECIES DE
MURCIÉLAGOS PRESENTES EN LA REGIÓN ANDINA Y PACÍFICA DEL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO – COLOMBIA

JOHANA ALEJANDRA ARÉVALO CORTÉS
JOHN EDISSON TULCAN FLORES

UNIVERSIDAD DE NARIÑO.
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO
2018

ANÁLISIS DE LOS PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN DE ALGUNAS ESPECIES DE
MURCIÉLAGOS PRESENTES EN LA REGIÓN ANDINA Y PACÍFICA DEL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO – COLOMBIA

JOHANA ALEJANDRA ARÉVALO CORTÉS
JOHN EDISSON TULCAN FLORES

Trabajo de grado presentado para optar al título de Biólogo

Asesorado por

Jhon Jairo Calderón Leyton
MSc. Universidad del Valle

Silvia Alexandra Montenegro Muñoz
MSc. Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD DE NARIÑO.
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO

2018

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado, son responsabilidades exclusivas de su autor”.

Artículo 1 del Acuerdo N°. 32 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

Jhon Jairo Calderón Leyton

Asesor

Silvia Montenegro

Asesor

Danny Urrego Cárdenas

Jurado

Ronald Fernández

Jurado

San Juan de Pasto, 21 de Agosto 2018.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de investigaciones posgrados y relaciones internacionales por el apoyo y financiamiento para la realización de esta investigación.

A la Universidad de Nariño por brindarnos todas las herramientas necesarias para cultivar el conocimiento en la formación como biólogos.

Al grupo de Investigación en Ecología Evolutiva (GIEE) por brindarnos la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos en sus proyectos.

Al Museo de Historia Natural PSO CZ - Colección mastozoológica por brindarnos el espacio y formación para la identificación de las especies.

Agradecemos en especial a nuestros asesores Jhon Jairo Calderón, por confiar y apoyar las nuevas ideas generando espacios y oportunidades para la investigación. Silvia Montenegro por su orientación, compañía y apoyo en este trabajo. Gracias por las puertas que nos han abierto.

A los jurados evaluadores, Danny Zurc y Ronald Fernández por sus valiosos comentarios, recomendaciones y conocimientos que fueron una contribución importante para la culminación de este documento.

A la Universidad Veracruzana – Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias/ Poza Rica - Tuxpan y a la Universidad de Nariño - Programa de Biología por permitirnos realizar la estancia de investigación del proyecto “Biodiversidad en el área privada de conservación Tlalhpan, Papantla, Veracruz en el cual recibimos capacitación para el monitoreo acústico de murciélagos insectívoros, además del análisis de dichos sonidos mediante software especializado.

Al doctor Juan Manuel Pech por su entusiasmo y pasión por las enseñanzas en la bioacústica de los murciélagos, a todos los integrantes del grupo de investigación de Vertebrados Terrestres en Veracruz – México y a Elena Torres por brindarnos su amistad y compartir sus experiencias y conocimientos.

A todas las familias que nos abrieron las puertas de sus hogares y nos acompañaron en la fase de campo pues gracias a ellos fue posible la ubicación de los ejemplares.

A todas aquellas personas que fueron parte de este proceso: Sonia Mahecha Vahos, Erick García, Osvaldo Arcos, Arsenio Hidalgo, Juan Luis Guerra, Elizabeth Ortega Tatyana Ruano y Milena Villarreal

A nuestros compañeros por su amistad en el proceso de aprendizaje.

Mil gracias a todos y que Dios los bendiga.

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a mis padres y mi hermana, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, con todo el amor les digo muchas gracias por todo el apoyo que me han brindado en el transcurso de mi vida, y ahora que hago realidad uno de mis más grandes anhelos quiero agradecer todo el amor, paciencia y comprensión para conmigo por todo y mucho más muchas gracias.

Johana Arevalo Cortes

Siempre he pensado que nos formamos a través de las vivencias y experiencias con las personas que nos rodean. Esto no hubiera sido posible sin el apoyo y comprensión de mis padres, mi hermano y mi princesa Maleja, gracias por su amor incondicional. A mi vida han llegado personas maravillosas que me han hecho crecer y mejorar, y entre esas personas quiero dar las gracias a mi compañera Johana por las vivencias, viajes, risas y momentos que compartimos en esta travesía. Y todos los que alguna vez pude conocer mil gracias, esto es para ustedes.

John Edison Tulcan Flores

RESUMEN

Los inventarios de biodiversidad en ocasiones se ven sesgados por los diversos métodos utilizados en la colecta; en el caso de los murciélagos, la técnica de monitoreo acústico ha demostrado ser complementaria a los métodos convencionales de muestreo. De los variados pulsos de ecolocalización que emiten, los de fase de búsqueda se sabe que son característicos de familias, géneros y especies, lo cual permite realizar la correcta identificación, esto proporciona la aplicación de un método no invasivo para muestrear especies de quirópteros logrando así obtener inventarios más completos. Este trabajo presenta el primer estudio de monitoreo acústico de murciélagos pertenecientes a las familias Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae para el departamento de Nariño, de las cuales se obtuvo siete especies y un total de 140 secuencias de los pulsos de ecolocalización provenientes de la región Andina y Pacífica del departamento. Las especies *M. riparius* y *L. blossevillii* fueron registrados por primera vez para la zona. *Myotis albescens*, *M. keaysi*, *M. riparius* y *Lasiurus blossevillii*, presentaron pulsos de frecuencia modulada con una parte final cuasi constante, *Molossus molossus* y *Tadarida brasiliensis* pulsos constantes y cuasi constantes, y *Saccopteryx bilineata* frecuencias cuasi constantes, por lo cual, la morfología de dichos pulsos permite separar a cada familia; así mismo, cada especie presentó diferentes frecuencias (Frecuencia inicial, frecuencia final y ancho de banda) y variables temporales (Intervalo y duración) que los hacen distinguibles debido a la flexibilidad de los pulsos de ecolocalización que esta mediada por variaciones en el hábitat y las estrategias de alimentación. El análisis y la respectiva comparación entre los pulsos de ecolocalización emitidos por murciélagos permite realizar una identificación, por lo tanto, este estudio enriquece los esfuerzos que se vienen realizando en la colección de sonidos para el departamento de Nariño y Colombia.

Palabras clave: Bioacústica, variables temporales, variables espectrales, Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae.

ABSTRACT

Biodiversity surveys are sometimes biased by the various methods used to collect them; In the case of bats, the acoustic monitoring technique has been shown to be complementary to conventional sampling methods. Of the varied pulses of echolocation that they emit, those of phase of search are known to be characteristic of families, genus and species, which allows to make the correct identification, this provides the application of a non-invasive method to sample species of bats, thus achieving obtain more complete inventories. This work presents the first study of acoustic monitoring of bats belonging to the families Vespertilionidae, Molossidae and Emballonuridae for the department of Nariño, of which seven species and a total of 140 recordings from the Andean and Pacific region of the department were obtained. The species *M. riparius* and *L. blossevillii* were registered for the first time for the area. *Myotis albescens*, *M. keaysi*, *M. riparius* and *Lasiurus blossevillii*, presented frequency-modulated pulses with a quasi-constant final part, *Molossus molossus* and *Tadarida brasiliensis* constant and quasi-constant pulses, and *Saccopteryx bilineata* quasi-constant frequencies, therefore, the morphology of said pulses allow to separate each family; likewise, each species presented different frequencies (initial frequency, final frequency and bandwidth) and temporal variables (interval and duration) that make them distinguishable due to the flexibility of the pulses of echolocation that is mediated by variations in the habitat and feeding strategies. The analysis and the respective comparison between the echolocation pulses emitted by bats allows for an identification, therefore, this study enriches the efforts that are being made in the collection of sounds for the department of Nariño and Colombia.

Key words: Bioacoustics, temporal variables, spectral variables, Vespertilionidae, Molossidae and Emballonuridae.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	19
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
MARCO TEÓRICO.....	20
FAMILIA VESPERTILIONIDAE.....	20
FAMILIA MOLOSSIDAE.....	21
FAMILIA EMBALLONURIDAE	22
ECOLOCALIZACIÓN EN MURCIÉLAGOS.....	22
CARACTERÍSTICAS DE LOS PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN	25
COMPARACIÓN DE PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS	29
ÁREA DE ESTUDIO.....	29
MUESTREO DE INDIVIDUOS	30
IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES.....	30
MEDIDAS CRANEALES A UTILIZAR EN LA IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES .	31
GRABACIÓN DE LOS SONIDOS EMITIDOS POR LOS MURCIÉLAGOS.....	32
Con murciélagos previamente capturados.....	32
Grabaciones en cuarto de vuelo.	33
Grabaciones en línea de vuelo o tirolesa.....	33
Grabaciones obtenidas en recorridos.	34
ANÁLISIS DE DATOS ACÚSTICOS	34
RESULTADOS.....	36
DESCRIPCIÓN DE LOS PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN.....	36
FAMILIA VESPERTILIONIDAE.....	36
<i>Myotis albescens</i>	36
<i>Myotis keaysi</i>	36
<i>Myotis riparius</i>	37
<i>Lasiurus blossevillii</i>	37

FAMILIA MOLOSSIDAE	40
<i>Molossus molossus</i>	41
<i>Tadarida brasiliensis</i>	41
FAMILIA EMBALLONURIDAE	42
<i>Saccopteryx bilineata</i>	42
DIFERENCIAS ENTRE LAS VARIABLES TEMPORALES Y ESPECTRALES DE LAS SIETE ESPECIES DE MURCIÉLAGOS REGISTRADAS.....	43
COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES REGISTRADAS EN DOS LOCALIDADES Y A TRAVÉS DE DIFERENTE MÉTODO DE GRABACIÓN.....	46
DISCUSIÓN	48
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Forma del uropatagio en el género <i>Myotis</i> (Díaz et al., 2016).....	21
Figura 2. Procesamiento neuronal de modulaciones de frecuencia en el sistema auditivo de murciélagos (Elemans et al., 2011).....	23
Figura 3. Sonograma perteneciente a la especie <i>Tadarida brasiliensis</i> indicando las fases de llamada (Ossa, 2010)	24
Figura 4. Variación en morfológica de los pulsos de ecolocalización de: a) <i>Molossus molossus</i> b) <i>Myotis nigricans</i> c) <i>Promops</i> sp. d) <i>Molossops temmincki</i> e) <i>Molossus rufus</i> y f) <i>Eumops</i> sp. (Barboza et al., 2006)	25
Figura 5. Tipos de frecuencia más usados: A: Frecuencia modulada, B: Frecuencia constante y C: Frecuencia casi constante (Kalko y Aguirre, 2007, citado por (Figueroa, 2006)	26
Figura 6. Medición de parámetros de los pulsos de ecolocalización	27
Figura 7. Sitios muestreados en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño.	29
Figura 8. Partes y medidas morfológicas externas en murciélagos (Díaz et al., 2016). 30	
Figura 9. Morfología y morfometría craneal: Longitud mayor del cráneo (LTC), Longitud maxilar (HSD), Longitud del dentario (HID), Longitud mandibular (LM), Longitud del palatino (LP), Longitud entre los molares (MM), Longitud de la bulla timpánica (LB), Ancho del mastoideo (AM), Ancho entre los caninos (CC), Constricción postorbital (CP), Ancho de la caja craneal (ACC) y Ancho del arco cigomático (AC) (Díaz et al., 2016).....	31
Figura 10. Diagrama línea de vuelo o tirolesa (Rivera Parra & Burneo, 2013).....	33

Figura 11. Fotografía de espécimen (A - D) y sonograma de los pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda (E) correspondiente a: *M. albescens* (A - *M. a*), *M. keaysi* (B - *M. k*), *M. riparius* (C - *M. r*) y *L. blossevillii* (D - *L. b*) presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño.. 37

Figura 12. Comparación entre A. Fstar, B. Fend, C. Fpmin, D. Fpmax, E. Fpmean, F. Fppeak, G. Duración, H. Intervalo, I. Ancho de banda. 1. *M. albescens*, 2. *M. keaysi*, 3. *M. riparius*, 4. *L. blossevillii*. 39

Figura 13. Análisis discriminante realizado con las cuatro especies pertenecientes a la familia Vespertilionidae distribuidas en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño – Colombia..... 40

Figura 14. Fotografía de espécimen (A y B) y sonograma de los pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda (C) correspondiente a: *Molossus molossus* (A - *M. m*) y *Tadarida brasiliensis* (B - *T. b*) presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño..... 41

Figura 15. Especimen y sonograma correspondiente a *S. bilineata* presente en el municipio de Tumaco - Granja Experimental Maragrícola..... 43

Figura 16. Sonograma correspondiente a las siete especies, *M. albescens* (*M. a*), *M. keaysi* (*M. k*), *M. riparius* (*M. r*), *L. blossevillii* (*L. b*), *Molossus molossus* (*M. m*) y *Tadarida brasiliensis* (*T. b*) y *Saccopteryx bilineata* (*S. b*) presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño. 44

Figura 17. Análisis de componentes principales para las especies pertenecientes a las familias Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae. 45

Figura 18. Análisis discriminante realizado con las especies pertenecientes a las familias Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae. 45

Figura 19. Sonograma correspondiente a la especie *M. molossus* obtenido a partir del método vuelo libre (A) y línea de vuelo (B).. 47

LISTA DE ANEXOS

Anexo1. Localidades del departamento de Nariño de donde proceden los registros ...	62
Anexo 2. Listado de las grabaciones correspondientes a las siete especies de murciélagos registradas para las tres familias (Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae).....	62
Anexo 3. Listado de ejemplares colectado de las familias Molossidae, Vespertilionidae y Emballonuridae.	64
Anexo 4. Características de los pulsos de ecolocalización de <i>M. albescens</i> registrados en los Municipios de Puerres y La Llanada.....	66
Anexo 5. Pruebas de análisis de varianza (ANOVA de una vía prueba no paramétrica Kruskal Wallis) para cada variable espectral y temporal de las especies de la familia Vespertilionidae.....	70
Anexo 6. Resultados del Análisis Discrimínate realizado con las cuatro especies de la familia Vespertilionidae. a) Valores absolutos de correlación entre cada uno de las variables y las funciones discriminantes, b) resultadas de la clasificación en donde el 66,10 % de los individuos están clasificados correctamente tanto <i>a priori</i> como en la clasificación de AD.....	73
Anexo 7. Resultados prueba T - student o su respectiva prueba no paramétrica U de Mann-Whitn para las especies de la familia Molossidae en donde el P – valor < 0.05 indica diferencias significativas entre las especies <i>M. molossus</i> y <i>T. brasiliensis</i> para cada una de las variables.	75
Anexo 8. Resultados Análisis de Componentes Principales para las siete especies de murciélagos registradas en este estudio en donde los primeros componentes explican la mayor parte de la varianza de los datos	81
Anexo 9. Resultados del Análisis Discriminante realizado con las tres familias (Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae).....	81

Anexo 10. Resultados prueba T - student para la especie *M. albescens* registrada en las localidades de Puerres y La Llanada, para cada una de las variables en donde el P – valor >0.05 indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos localidades. 83

Anexo 11. Resultados prueba T - student para la especie *M. molossus* registrada en las localidades de Taminango y Barbacoas, en donde la variable Frecuencia inicial presentó diferencias estadísticamente significativas (P – valor < 0.05). 89

GLOSARIO

Ecolocalización: Es la ubicación de los objetos a través de ecos, que implica la transmisión de pulsos de sonido usando la laringe y las cuerdas vocales. Estos pulsos se reflejan en el murciélago como ecos de los objetos. Las orejas del murciélago detectan estos ecos y el cerebro analiza las diferencias espectrales entre el pulso de salida y el eco de retorno para formar una imagen tridimensional de su ambiente

Frecuencia constante: (CF, por sus siglas en inglés) son pulsos de larga duración sin variación en frecuencias.

Frecuencia modulada: (FM) son pulsos que empiezan con una frecuencia alta y descienden rápidamente alcanzando una frecuencia menor en un corto periodo de tiempo

Frecuencia cuasi constante: (QCF) que son un punto intermedio entre CF y FM, las cuales pueden presentar variaciones en duración, frecuencia y ancho de banda.

Fstart: Frecuencia de inicio de la selección que se analiza.

Fend: Frecuencia final de la selección que se analiza.

Fpmin: Frecuencia mínima del espectro completo, es la estimación de la frecuencia de señal mínima.

Fpmax: Frecuencia máxima del espectro completo es la estimación de la frecuencia de señal máxima.

Fpmean: Frecuencia media del espectro completo es la frecuencia media ponderada de potencia del espectro.

Fppeak: Frecuencia pico del espectro completo es la frecuencia máxima del espectro.

Duración: la cual es el periodo de tiempo comprendido entre el punto inicial y el punto final del pulso medidos en milisegundos)

INTRODUCCIÓN

Los murciélagos (Orden Chiroptera) son uno de los grupos más investigados y diversificados de la clase Mammalia, representando un 20% de los mamíferos presentes en la región neotropical, constituyéndose como un componente clave en la dinámica de los ecosistemas terrestres (Meyer, 2008; Ballesteros, & Racero-Casarrubia, 2012); sin embargo, existen dificultades para la organización del conocimiento que se tiene de ellos, debido a la falta de información en las historias de vida y problemas asociados a la identificación dado por las similitudes morfológicas entre especies (Ceballos & Ehrlich, 2009).

Otra de las dificultades que presenta este grupo es su captura con redes de niebla y métodos tradicionales lo que conlleva a problemas en la obtención de datos de abundancia y uso del hábitat (Preatoni et al., 2005). Por esta razón, en los últimos años se ha consolidado la aplicación de los pulsos de ecolocalización, en fase de búsqueda o forrajeo, como base para la identificación taxonómica, puesto que permite enriquecer las descripciones tradicionales, elucidar parte de sus características comportamentales, establecer patrones de actividad y definir la presencia de especies raras o en peligro de extinción (Pye & Flinn, 1964; Bell, 1980; Fullard, Simmons, & Saillant, 1994; Rautenbach, Whiting, & Fenton, 1996; McCracken, Hayes, Cevallos, Guffey, & Romero, 1997; Ahlén, 1999; O'Farrell & Gannon, 1999; Schulze, Seavy, & Whitacre, 2000; Parsons & Jones, 2000; Russo & Jones, 2002; Brigham, Kalko, Jones, Parsons & Limpens, 2004; Orozco-Lugo, Guillén-Servent, Valenzuela, & Arita, 2013; Crome & Richards, 2014).

Dada la variación que se puede presentar en los pulsos de ecolocalización, Orozco-Lugo et al., (2013), sugieren que es necesario realizar una descripción de las vocalizaciones de murciélagos para cada localidad de estudio puesto que presentan variación relacionada con la duración del pulso y las frecuencias (O'Farrell & Miller, 1997).

El departamento de Nariño es considerado como un importante reservorio de fauna en Colombia; sin embargo, las investigaciones en el orden Chiroptera son escasas y las existentes se enfocan principalmente en análisis de interacciones, patrones de actividad y abundancia, presentando vacíos de información referente a los pulsos de ecolocalización emitidos por las especies de murciélagos (Martinez, 2007; Ramirez & Noguera, 2010). Por lo tanto, en este estudio se describe y establece diferencias entre las variables espectrales (frecuencias) y variables temporales (tiempo) de algunas especies de murciélagos presentes en la región Andina y Pacífica del departamento.

Además, el análisis y la respectiva comparación entre los pulsos de ecolocalización emitidos por murciélagos permiten realizar una identificación y en esta medida este estudio aporta a la futura conformación de la primera colección de pulsos de ecolocalización emitidos por murciélagos en el departamento de Nariño, que enriquecerá los esfuerzos que se vienen realizando en la colección de sonidos para el departamento y el país.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar y comparar los pulsos de ecolocalización de algunas especies de murciélagos presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño – Colombia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir los parámetros acústicos (frecuencias y variables temporales) de algunas especies de murciélagos presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño – Colombia.

Establecer diferencias entre las señales acústicas (frecuencias y variables temporales) de algunas especies de murciélagos presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño Colombia.

MARCO TEÓRICO

Los murciélagos o también llamados mamíferos voladores (Orden Chiroptera) constituyen el grupo más diversificado de la clase Mammalia en la región neotropical, constituido por dos subórdenes: Yinpterochiroptera correspondientes a los murciélagos del viejo mundo y Yangochiroptera (murciélagos verdaderos) siendo en su mayoría de tamaño pequeño y con un sistema de ecolocalización basado en sonidos que se producen en la laringe (Flores & Chumacero, 2010). Son un componente clave en la dinámica de los ecosistemas terrestres debido a la función que cumplen como dispersores de semillas, polinizadores, control de poblaciones de insectos, entre otros (Pérez & Ahumada, 2005; Altringham, 2011).

Es uno de los más diversos y con gran número de especies especialmente en ecosistemas neotropicales; para Colombia se registra aproximadamente 205 especies de murciélagos los cuales poseen una gran variación ya sea en sus dietas (hematófagos, frugívoros, nectarívoros, insectívoros y carnívoros), morfología y/o tamaño, lo cual, les permite ocupar diferentes hábitats encontrándose desde tierras bajas hasta bosques montanos (Ramírez & Noguera, 2010; Díaz, Solari, Aguirre, & Aguiar, 2016). Por su parte, el departamento de Nariño presenta seis familias (Phyllostomidae, Molossidae, Noctilionidae, Emballonuridae, Thyropteridae y Vespertilionidae) con una riqueza de 76 especies de murciélagos, reportados en la investigación de Ramírez & Noguera, (2010)

A diferencia de la familia Phyllostomidae, las familias Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae, reportadas en esta investigación, son difíciles de registrar a través de métodos convencionales de captura, tales como, redes de niebla, trampas de arpa, redes entomológicas, ya que vuelan a grandes alturas. No obstante, su especializado sistema de ecolocalización permite identificar especies a través de patrones de la estructura de los pulsos de ecolocalización al emplear detección acústica (Natural, 2012).

FAMILIA VESPERTILIONIDAE.

La familia Vespertilionidae cuenta con 48 géneros y 407 especies, distribuidas en todo el mundo principalmente en los trópicos; en Colombia se reconocen alrededor de cinco géneros y 22 especies, su distribución está relacionada a su principal ámbito alimenticio insectívoro, por ende, donde hay vegetación suficiente para mantener la vida de los insectos, se presentará esta familia (Hooper, Reeder, Hansen, Bussche, & Van , 2003).

Generalmente habitan en zonas templadas y poseen una distribución de rango amplio, que comprende desde bosques tropicales hasta desiertos. Los géneros que comprende esta familia para el departamento de Nariño son *Eptesicus*, *Rhoguesa*, *Histiotus* y *Myotis* (Ramírez & Noguera, 2010; obs. per); se caracterizan por sus hábitos de alimentación insectívora, son de tamaño pequeño, cola larga que llega hasta el borde del uropatagio (Figura 1), las especies de este género vuelan a diferentes alturas (1 y 20 m de altura) debido a sus alas largas y estrechas, habitan en sotobosques densos y presentan un sistema de ecolocalización desarrollado que les permite detectar a sus presas u objetos (Díaz, Solari, Aguirre, & Aguiar, 2016; Ossa, et al., 2010).

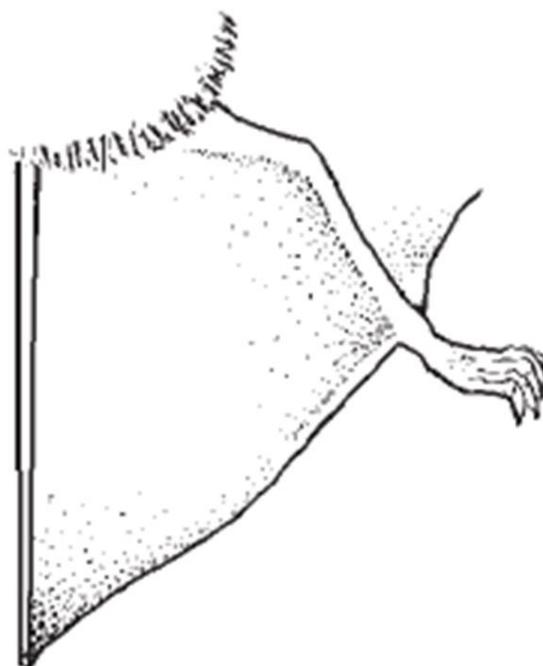


Figura 1. Forma del uropatagio en el género *Myotis* (Díaz, et al., 2016).

FAMILIA MOLOSSIDAE.

La familia Molossidae está compuesta por murciélagos insectívoros de vuelo rápido (aproximadamente 8 m/s) y en espacios abiertos sobre dosel, pueden llegar a los tres mil metros de altura; razón por la cual, la captura lejos de sus refugios resulta difícil (Idoeta, De Santis, & Barquez, 2012).

Actualmente existen 100 especies distribuidas en 16 géneros (Gardner, 2007), para el departamento de Nariño se registran cinco géneros (*Eumops*, *Cynomops*, *Tadarida*, *Molossus* y *Promops*); se caracterizan por presentar una cola que se extiende más allá

del borde libre del uropatagio y alas angostas que le permiten tener un vuelo rápido y alta maniobrabilidad en zonas abiertas (Canals, Iriarte-Díaz, Olivares, & Novo, 2001).

FAMILIA EMBALLONURIDAE

La familia Emballonuridae está compuesta por 47 especies para la región tropical y subtropical del viejo y nuevo mundo donde se incluyen murciélagos con una longitud de cuerpo entre 3,5 y 10 cm. Los integrantes de esta familia poseen una glándula sacular en el propatagio la cual produce sustancias con olor que les permite marcar territorio (Gardner, 2007).

Para Colombia se reportan 17 especies de embalonúridos presentes en tierras bajas y cercanas a la línea ecuatorial, los cuales, pueden producir pulsos de ecolocalización intensos que pueden ser detectados a través de sistemas de detección acústica (O'Farrell & Miller, 1997; Ramírez & Noguera, 2010)

ECOLOCALIZACIÓN EN MURCIÉLAGOS

Algunos murciélagos han desarrollado diferentes pulsos de ecolocalización de acuerdo al lugar donde habitan, las presas, el desarrollo de la especie y su sistema auditivo (Korine & Kalko, 2005), los murciélagos se dividen en dos categorías de acuerdo a los últimos análisis filogenómicos realizados al orden: los que ecolocalizan y los que no ecolocalizan; los murciélagos Yinpterochiroptera (provenientes del viejo mundo), sólo el género *Rousettus* ha desarrollado señales de ecolocalización vocal, produciendo chasquidos de la lengua; los Pteropodidae no ecolocalizan, estos murciélagos se basan en señales visuales y olfativas para la orientación y forrajeo (Armitage, 2010; Möhres & Kulzer, 1956)

Según Flores & Chumacero (2010) los quirópteros son un grupo monofilético, que proviene probablemente de un mamífero insectívoro arborícola de hábitos nocturnos y que podría estar caracterizado por producir ultrasonidos los cuales se producen en la laringe como mecanismo de comunicación, razón por la cual se cree que la ecolocalización evolucionó primero en los murciélagos insectívoros con el fin de orientación y prevención de obstáculos, por ello, las vocalizaciones emitidas eran rudimentarias y no funcionales para localizar el alimento (Simmons & Geisler, 1998)

Yangochiroptera ha desarrollado un sistema de ecolocalización especializado utilizando la laringe y las cuerdas vocales, a través de la oscilación inducida por flujo de cuerdas vocales, que terminan con membranas muy finas (Figura 2A). La tensión en

los pliegues y las membranas determina su frecuencia de oscilación y por lo tanto, la frecuencia de los sonidos producidos se incrementa por la rotación del cartílago tiroideo alrededor de la articulación cricotiroides (Figura 2B) y es controlada principalmente por el músculo cricotiroides (Elemans, Mead, Jakobsen, & Ratcliffe, 2011).

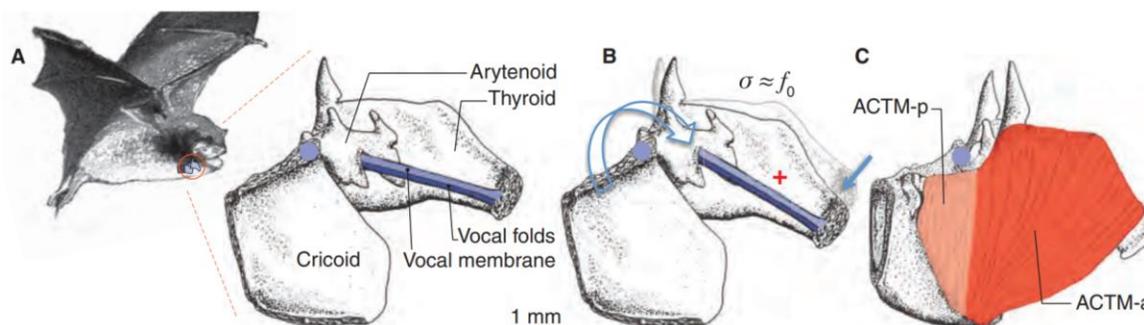


Figura 2. Modulación de frecuencia de sonido durante la ecolocalización: (A) representación esquemática del mecanismo de control de frecuencia de ecolocalización ilustrado en la laringe de murciélago vespertilionido, cuerdas vocales (azul oscuro) y las membranas vocales (azul claro) (B) La rotación (flechas azules) del cartílago tiroideo alrededor de la articulación cricotiroides (círculo azul) hace que las cuerdas vocales y las membranas se estiren y efectúen la aducción mientras el cartílago aritenoides permanece estacionario. Esta rotación aumenta el pliegue y la longitud y tensión de la membrana (más en rojo) y aumenta la frecuencia fundamental del sonido producido. (C) El músculo cricotiroides anterior (ACTM) controla la rotación cricotiroides y consiste en una parte anterior (ACTM-a) y posterior (ACTM-p). La relajación del ACTM-a produce una disminución de f_0 (frecuencia más baja) durante la producción de sonidos (Elemans et al., 2011).

Este mecanismo se da principalmente para especies con hábitos de alimentación insectívora; los cuales, emiten pulsos de sonido con el propósito de obtener información sobre los objetos que le rodean a partir del análisis de los ecos que se reflejan (Guillén, Juste, & Ibáñez, 2000).

El sistema de ecolocalización posee dos componentes principales, un elemento emisor de sonidos de alta frecuencia y un elemento receptor, el murciélago recibe esos ecos y el cerebro analiza las diferencias espectrales creando una imagen tridimensional de su entorno, está representado por los oídos en asociación con el sistema nervioso (Stoffberg, 2007).

Las señales acústicas emitidas por los murciélagos varían en duración (desde 0.2 a 50 ms), frecuencia (12 a 200 KHz) y también, cambian dependiendo de la función, es decir, en señales de búsqueda o difieren de acuerdo al enfoque de la presa (Hopkins, 2004), según Jung, Kalko, & Helversen (2007) se puede encontrar tres fases: pulsos de

búsqueda, pulsos de acercamiento a la presa y pulsos de fase terminal; en la Figura 3 se ilustran los pulsos en fase de búsqueda en *Tadarida brasiliensis*, usadas para detectar la presa con un rango de frecuencia estrecho y con una duración más larga, los pulsos de acercamiento a la presa, donde aumenta el rango de frecuencia y disminuye su duración y los pulsos en fase terminal, cuando el murciélago está por capturar su presa, en estas el rango de frecuencia disminuye y la duración es mínima (Ossa, 2010).

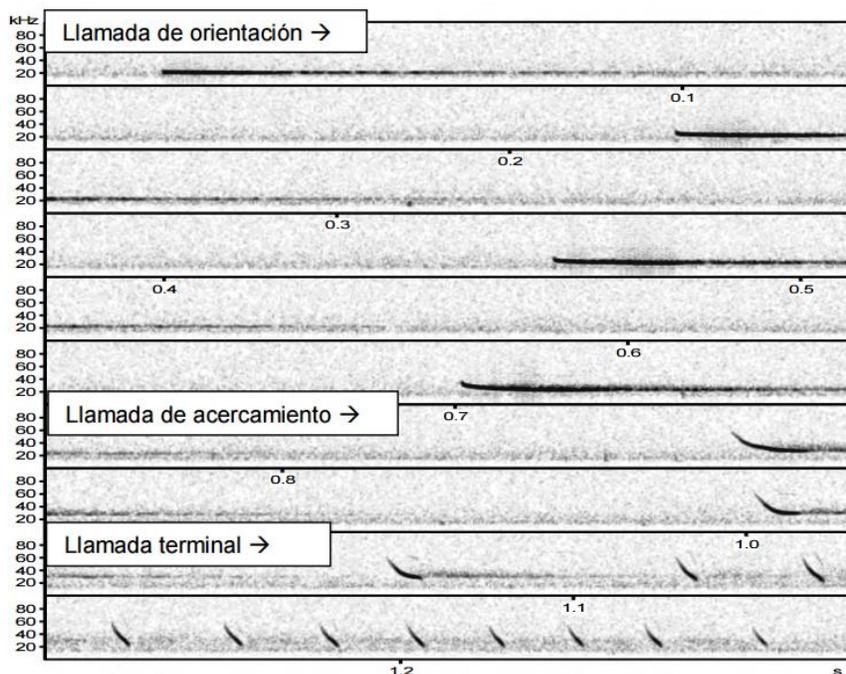


Figura 3. Sonograma perteneciente a la especie *Tadarida brasiliensis* indicando las fases de llamada (Ossa, 2010).

Los pulsos de ecolocalización pueden presentar variaciones (Armitage et al., 2010) en murciélagos no phyllostomidos como se muestra en la Figura 4, en la que se comparan a *Molossus molossus*, *Myotis nigricans*, *Promops* sp., *Molossop temminckii*, *Molossus rufus* y *Eumops* sp. (Barboza; Aguirre & Kalko, 2006).

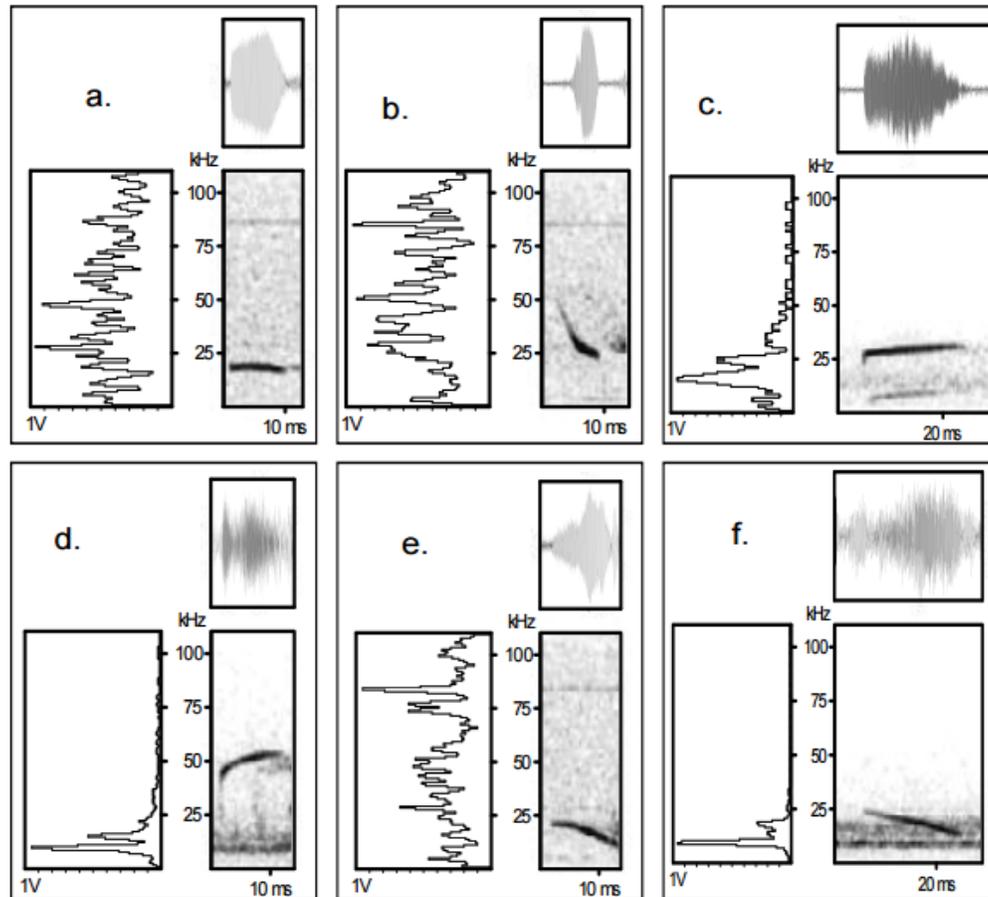


Figura 4. Variación en el diseño de pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda de: a) *Molossus molossus* b) *Myotis nigricans* c) *Promops* sp. d) *Molossops temminckii* e) *Molossus rufus* y f) *Eumops* sp. (Barboza et al., 2006).

CARACTERÍSTICAS DE LOS PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN

Los pulsos de ecolocalización pueden ser de tres tipos, frecuencia constante (CF, por sus siglas en inglés – Figura 5.A) son pulsos de larga duración sin variación en frecuencias, frecuencia modulada (FM - Figura 5.B) son pulsos que empiezan con una frecuencia alta y descienden rápidamente alcanzando una frecuencia menor en un corto periodo de tiempo y frecuencia cuasi constante (QCF - Figura 5.C) que son un punto intermedio entre CF y FM, las cuales pueden presentar variaciones en duración, frecuencia y ancho de banda (Figura 5) (Rivera Parra, 2011)

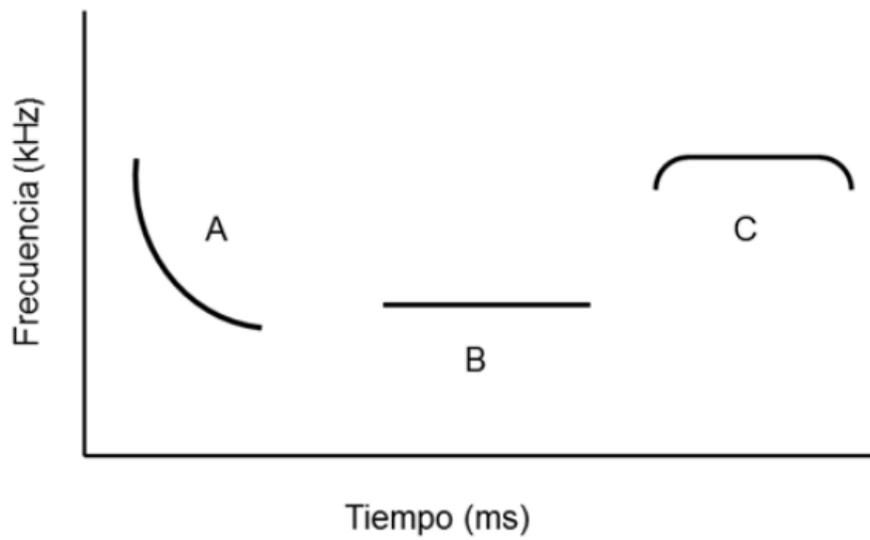


Figura 5: Tipos de frecuencia más usados: A: Frecuencia modulada, B: Frecuencia constante y C: Frecuencia casi constante (Kalko y Aguirre, 2007, citado por (Figuroa, 2006).

Además, algunos de los parámetros de medición de los pulsos de ecolocalización emitidos por murciélagos presentan parámetros como la frecuencia (medida en kilohertzios) entre las que se encuentra: F_{start} (Frecuencia de inicio de la selección que se analiza), F_{end} (Frecuencia final de la selección que se analiza), F_{pmin} (Frecuencia mínima del espectro completo, es la estimación de la frecuencia de señal mínima), F_{pmax} (Frecuencia máxima del espectro completo es la estimación de la frecuencia de señal máxima), F_{pmean} (Frecuencia media del espectro completo es la frecuencia media ponderada de potencia del espectro), F_{ppeak} (Frecuencia pico del espectro completo es la frecuencia máxima del espectro). En cuanto a los parámetros relacionados con tiempo (medidos en milisegundos) se encuentra la duración, la cual es el periodo de tiempo comprendido entre el punto inicial y el punto final del pulso (Figura 6) (Rivera-Parra, 2011).

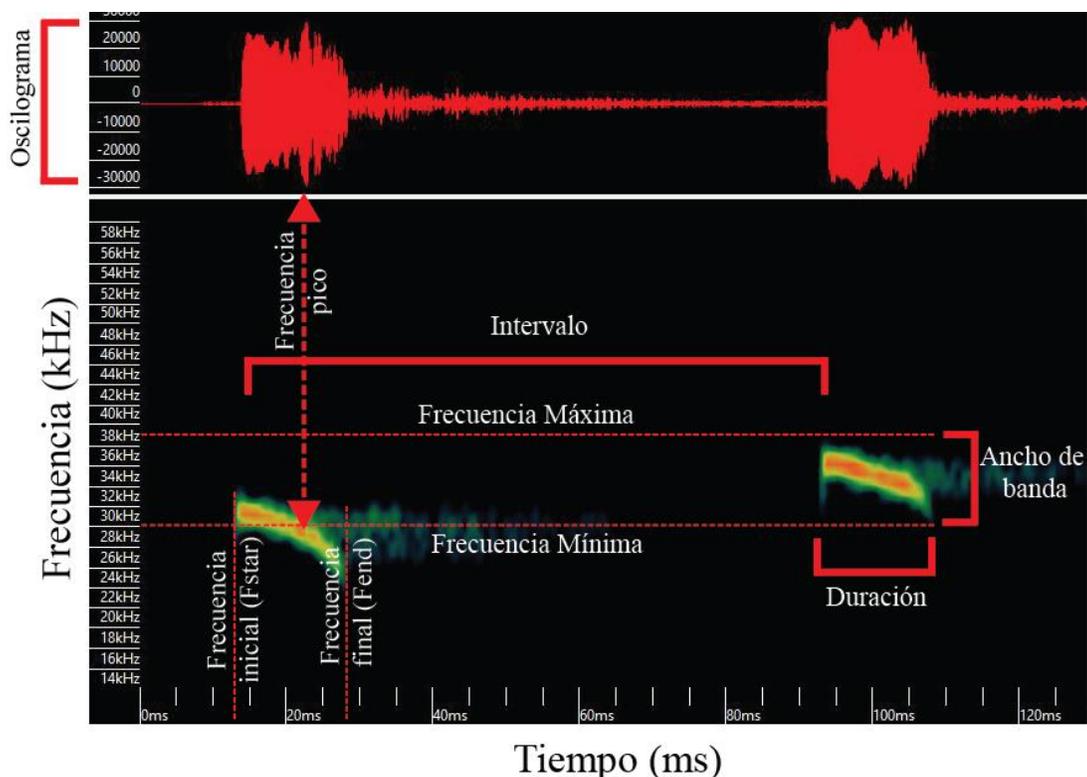


Figura 6. Medición de parámetros de los pulsos de ecolocalización.

COMPARACIÓN DE PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN

La sincronización exacta de los músculos del interior de la laringe determina la apertura y cierre de la glotis, produciendo el comienzo y el final de la llamada, así como su frecuencia. Esta actuación coordinada de los distintos músculos podría dar los diversos tipos de ecolocalización.

Según (Schnitzler & Kalko, 2001), los murciélagos presentan cambios en los pulsos de ecolocalización que pueden variar en frecuencia, duración y nivel de presión del sonido, lo que puede verse afectado por la estructura de las señales que también cambian dependiendo de la necesidad, es decir, cuando las especies de quirópteros están cazando o se acercan a la presa.

Cuando se realizan comparaciones entre especies del suborden Yangochiroptera como filostómidos y no filostómidos se registran diferencias entre las frecuencias y duración de los pulsos; por ejemplo, murciélagos no filostómidos presentan frecuencias iniciales de 23 y 87,4 kHz, frecuencias terminales entre 11,1 y 56,4, duración entre 2,5 y 20,8 ms y un intervalo entre cada pulso de 5,9 a 199,6. Estas variaciones se dan por las fases de búsqueda o fase de acercamiento (decrecimiento de la duración y los

intervalos entre cada pulso) y la fase terminal en donde se realiza la captura de la presa, en este momento se acelera la repetición de los pulsos y la duración es más corta (Barboza et al., 2006) en cuanto a los murciélagos filostómidos emiten pulsos de ecolocalización relativamente largas (hasta 7.2 ms) e intensas de armónico único (Mora & Macías, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El departamento de Nariño está localizado al extremo suroeste de Colombia en la frontera con la República del Ecuador, entre los 00°31'08" y 02°41'08"N, y los 76°51'19" y 79°01'34"W; con una extensión de 33.268 km² y un gradiente de elevación desde 0 hasta 4764 m.s.n.m. Se divide en tres regiones geográficas: la región Pacífica al occidente de los Andes nariñenses, la región Andina en el Nudo de los Pastos y parte sur del Macizo Colombiano, de donde se desprenden la cordillera Occidental y la cordillera Centro-Oriental; y la región del Piedemonte Amazónico al oriente de Nariño y occidente del Putumayo (Solarte & Narvaez, 2007).

Se realizaron muestreos en diferentes municipios del departamento de Nariño entre ellos Túquerres, Santacruz, Samaniego, Ricaurte, Barbacoas, Sandoná, Pasto, Chachagüí, Puerres, Funes, Tumaco, Colón Génova, Taminango y Linares, (Figura 7) (Anexo 1).

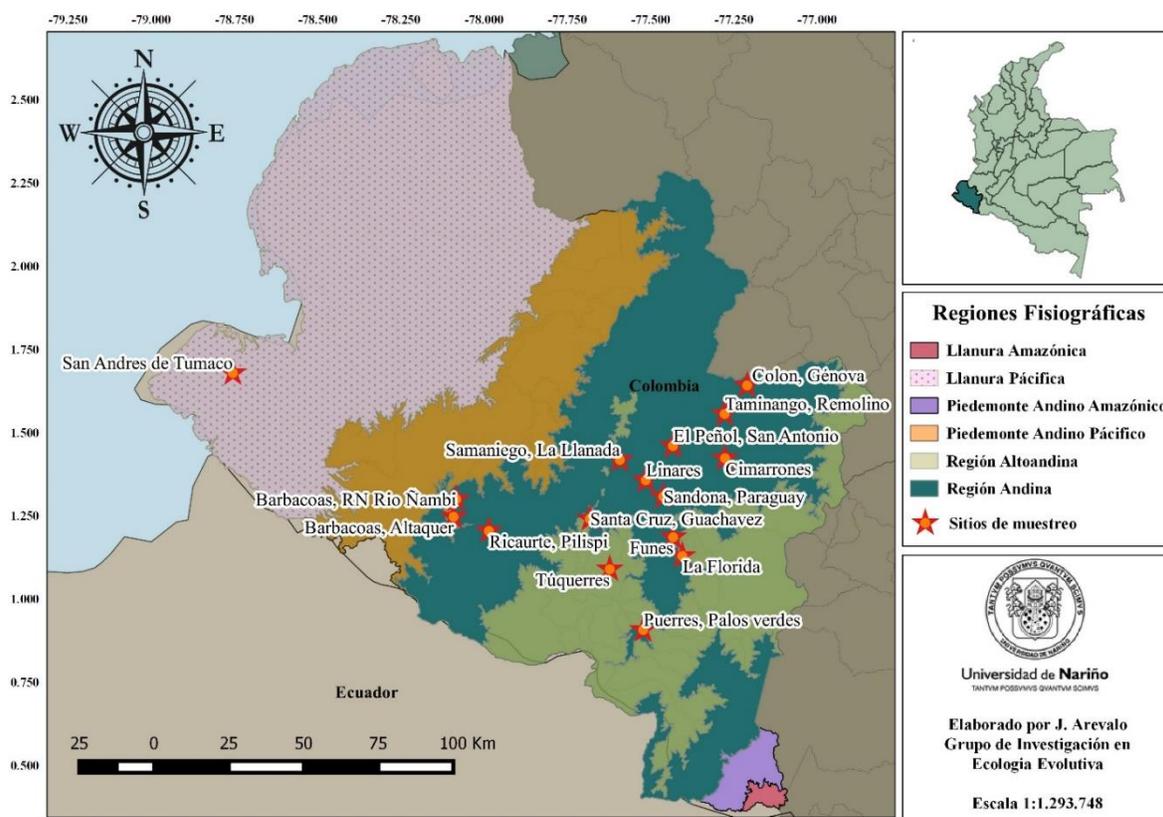


Figura 7. Sitios muestreados en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño.

MUESTREO DE INDIVIDUOS

Se realizaron salidas de campo durante cuatro meses (diciembre a abril) en intervalos de tiempo de tres días por cada sitio de muestreo y se colectaron máximo diez ejemplares de cada especie, mediante diez redes de niebla ubicadas en sotobosque y dosel en zonas cercanas a fuentes de agua o en lugares que fuesen refugio para los murciélagos, con el fin de incluir diferentes tipos de hábitat como zonas abiertas o cerradas y aumentar la detectabilidad en un periodo comprendido entre las 18:00 horas y las 6:00 horas. Se realizó revisiones periódicas cada media hora.

A los individuos capturados se les tomó diferentes medidas morfométricas: longitud total (LT), longitud de la cola (LC), pie de longitud (LP), oreja (Or), trago (Tr), tibia (Tb) largo del antebrazo (AB), calcáneo (Cal) y peso (P) (Figura 8).

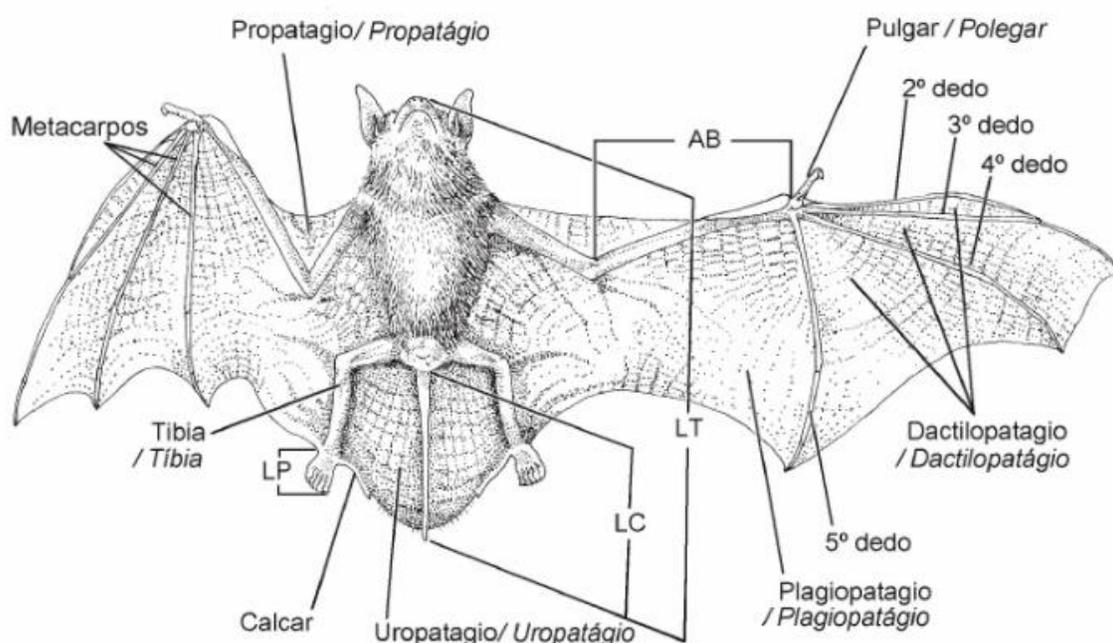


Figura 8. Partes y medidas morfológicas externas en murciélagos (Díaz et al., 2016).

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES

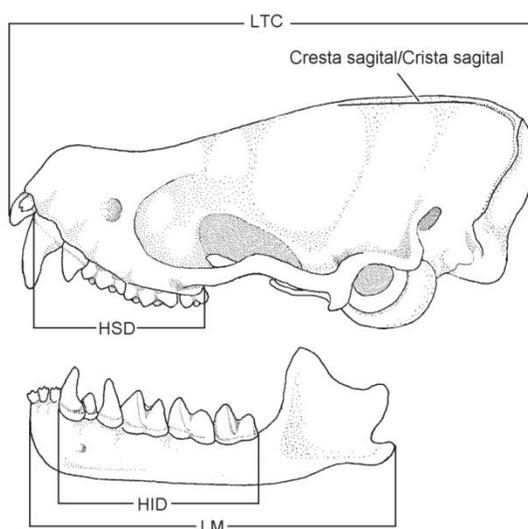
La identificación de los ejemplares se llevó a cabo mediante las claves taxonómicas y material bibliográfico de referencia como los libros de Mammals of South América, Vol 1 (Gardner, 2007), Clave de Identificación Taxonómica de Mamíferos de Sudamérica

(Díaz et al, 2016) y literatura especializada como descripciones originales de grupos de especies.

Cuando los murciélagos presentaron dificultad en la identificación se procedió a realizar su preparación y se depositaron en la Colección de Mastozoología del Museo de Historia Natural PSO CZ de la Universidad de Nariño donde fueron ingresados en montaje de piel incluyendo su cráneo (Resolución 1376 del 2013 artículo 6 la cual establece el permiso de colecta y la Resolución número 0068 de Enero 22 del 2002 por la cual se establece el procedimiento para los permisos de estudios con fines de investigación científica en la diversidad biológica y se adoptan otras determinaciones con los artículos primero, segundo y tercero). Estos individuos se compararon con los ejemplares de la colección.

MEDIDAS CRANEALES A UTILIZAR EN LA IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES

Las medidas craneales (Figura 9) utilizadas para la identificación de los ejemplares son: longitud mayor del cráneo, longitud cóndilo canino, longitud cóndilo incisivo, ancho mastoideo, constricción postorbital, ancho de los caninos, ancho de los molares, longitud maxilar y longitud mandibular.



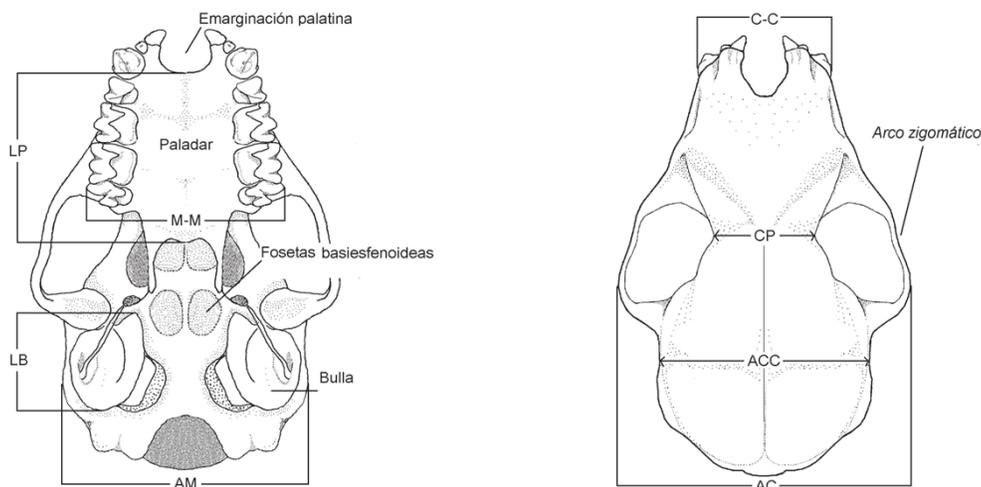


Figura 9. Morfología y morfometría craneal: longitud mayor del cráneo (LTC), Longitud maxilar (HSD), Longitud del dentario (HID), Longitud mandibular (LM), Longitud del palatino (LP), Longitud entre los molares (MM), Longitud de la bulla timpánica (LB), Ancho del mastoideo (AM), Ancho entre los caninos (CC), Constricción postorbital (CP), Ancho de la caja craneal (ACC) y Ancho del arco cigomático (AC) (Díaz et al., 2016).

GRABACIÓN DE LOS SONIDOS EMITIDOS POR LOS MURCIÉLAGOS

Los pulsos de ecolocalización fueron registrados en campo con la grabadora Echo Meter EM3+ (Wildlife Acoustics) que obtiene los pulsos de los murciélagos en formato .wav y los reproduce a tiempo expandido, es decir, que los pulsos de ecolocalización emitidos por los murciélagos son grabados con sus características originales y luego son reproducidos a una velocidad menor utilizando software Kaleidoscope versión 4.5.0.

Los equipos de grabación fueron configurados para obtener los registros acústicos con las condiciones máximas y mínimas posibles para este, desde los 10 kHz hasta 250 kHz.

Las secuencias a analizar fueron grabadas en tres situaciones diferentes:

Con murciélagos previamente capturados.

En este caso se capturó murciélagos insectívoros mediante redes de niebla, ubicadas a una altura desde los 0,1 metros hasta los siete metros, durante tres días

consecutivos por cada zona de muestreo. Posterior a su captura e identificación hasta nivel de especie se procedió a grabar bajo dos situaciones en cuarto de vuelo y línea de vuelo.

Grabaciones en cuarto de vuelo.

Se liberaron en cuartos o lugares con dimensiones de mínimo 2x2 m² con el fin de permitir que el murciélago emita los sonidos de la manera más aproximada a las condiciones en las que lo haría en libertad y asegurar la calidad de las grabaciones. Cuando el individuo estuvo tranquilo se dejó solo en el lugar aislado y se empezó a obtener grabaciones de sus pulsos de ecolocalización durante 30 minutos.

Grabaciones en línea de vuelo o tirolesa.

Con el fin de evitar interferencias en las grabaciones, se seleccionó un espacio abierto donde la presencia de otras especies de murciélagos sea mínima, se realizó un barrido acústico previo en el lugar escogido para identificar y diferenciar las especies presentes del individuo que fue grabado; posteriormente se ubicó dos tubos de aluminio a una distancia aproximada de 5 m una de la otra. Entre los dos tubos se extendió una hebra de igual longitud donde se inserta una argolla metálica, la cual se encuentra a su vez atada a una hebra de hilo de Nylon de dos metros cuyo extremo fue atado a manera de lazo en el pie del murciélago con el objetivo que este se desplazara sobre la línea de vuelo procurando que quedara lo suficientemente ajustado para no lastimar al individuo y evitar que pudiese escapar mientras se realiza el registro acústico (Figura 10) (Rivera-Parra & Burneo, 2013; Pinilla & Rodríguez-Bolaños, 2013).



Figura 10. Diagrama, línea de vuelo o tirolesa (Rivera-Parra & Burneo, 2013).

A cada grabación se le asignó un código único de identificación (año _ mes_ día_hora_localidad_ especie. # grabación). Para esta situación se grabó como mínimo

cinco individuos de cada especie y se analizó el número de secuencias obtenidas en el intervalo de tiempo ya mencionado para cada uno.

Grabaciones obtenidas en recorridos.

Se tomaron secuencias de grabaciones hechas en recorridos nocturnos de las 18:00a 6:00 h con el equipo Echo Meter ME3+ durante el tiempo de muestreo en redes. Para esto, se procedió a hacer grabaciones en recorridos libres con el fin de obtener la mayor cantidad de pulsos de ecolocalización de murciélagos teniendo en cuenta las grabaciones obtenidas con los murciélagos previamente capturados. Las grabaciones obtenidas fueron guardadas y se les asignó un código único de identificación (año _ mes_ día_ hora_ localidad_ punto de geo-referenciación_# grabación). Cabe notar que las secuencias se obtuvieron en diferentes fechas y recorridos con el fin de tener la certeza de que fueron emitidas por individuos diferentes.

ANÁLISIS DE DATOS ACÚSTICOS

De las tres situaciones de grabación planteadas anteriormente se obtuvo archivos en formato .wav mínimo diez secuencias para cada especie, las cuales se seleccionaron aleatoriamente para evitar la pseudoreplicación. Los parámetros espectro-temporales de las señales acústicas para cada individuo se analizaron en el programa Kaleidoscope versión 4.5.0, con el cual, se obtuvo frecuencia más alta (Hif), frecuencia más baja (Lof), frecuencia inicial (start), frecuencia final (edn), frecuencia de máxima energía, ancho de banda y duración de cada pulso, duración del intervalo entre pulsos y duración de cada vocalización (Figura 6). (Rivera-Parra & Burneo, 2013).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para los análisis estadísticos se tuvo en cuenta las grabaciones obtenidas en las tres situaciones. Inicialmente se obtuvieron estadísticos descriptivos tales como promedio y desviación estándar y posteriormente se obtuvo la normalidad medida mediante prueba Shapiro-Wilk – alfa 0.05, homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene.

Teniendo en cuenta la normalidad de los datos mediante la prueba Shapiro-Wilk y la homogeneidad de los datos mediante la prueba de Levene con un alfa de 0.05, se realizó una prueba ANOVA para los datos con una distribución normal y Kruskal Wallis (Kw), prueba no paramétrica, para los datos que no presentaron una distribución normal, con el fin de establecer diferencias estadísticamente significativas entre grupos

(especies de la familia Vespertilionidae) para cada una de las variables (frecuencia más alta (Hif), frecuencia más baja (Lof), frecuencia inicial (start), frecuencia final (edn), ancho de banda y duración). En todas las pruebas se manejó un alfa de 0,05. Este análisis se realizó en el programa PAST versión 2.17c.

Los análisis estadísticos aplicados a la familia Molossidae fueron T - student (prueba paramétrica) y U Mann-Whitn (prueba no paramétrica), teniendo en cuenta la normalidad y homogeneidad de los datos, con el fin de identificar que variables (espectrales y temporales) permiten diferenciar entre las dos especies reportadas en esta investigación.

Con el fin de identificar las principales tendencias de variación he identificar agrupaciones naturales de los pulsos de ecolocalización entre las especies registradas se realizó un análisis exploratorio de componentes principales (PCA). Para ello se tomó los datos de las variables transformadas con logaritmo decimal, con el fin de obtener una distribución normal multivariada de los datos en el morfoespacio.

Se realizó un análisis discriminante (AD) con el fin de diferenciar entre especies reportadas para la familia Vespertilionidae y también para diferenciar entre las especies de las tres familias (Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae), además, con un AD se obtuvo los parámetros más informativos para separar entre especies utilizando los datos de las variables espectrales y temporales (Rivera-Parra & Burneo, 2013).

RESULTADOS

Durante el periodo de muestreo comprendido entre diciembre de 2017 hasta abril 2018 se obtuvieron 140 grabaciones de los pulsos de ecolocalización de algunas especies de murciélagos presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño, para un esfuerzo de muestreo de 3.925 red. hora (Anexo 2).

Utilizando redes de niebla y detección de los refugios, se logró capturar siete especies de murciélagos pertenecientes a las familias Vespertilionidae (*Myotis albescens*, *M. keaysi*, *M. riparius*, *Lasiurus blossevillii*) Molossidae (*Molossus molossus*, *Tadarida brasiliensis*) y Emballonuridae (*Saccopteryx bilineata*); y se depositaron en total 41 especímenes en la colección biológica PSO CZ de la Universidad de Nariño (Anexo 3).

Uno de los aportes importantes de este estudio es el registro de *M. riparius* y *L. blossevillii* por primera vez para el departamento de Nariño, lo cual, proporciona evidencia adicional de que el número de especies de murciélagos en el departamento de Nariño es probablemente subestimado y sugiere que este tipo de estudios ayudan a complementar los inventarios.

DESCRIPCIÓN DE LOS PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN

FAMILIA VESPERTILIONIDAE.

Los pulsos observados asignados a la familia Vespertilionidae se caracterizan por presentar componentes de frecuencia modulada (FM), con barridos descendentes, amplias bandas de frecuencia y corta duración. Para esta familia se registraron las siguientes especies:

Myotis albescens.

Para la especie *M. albescens* (Figura 11A - *M. a*) se registraron 30 grabaciones en vuelo libre y línea de vuelo presentes en los municipios de Puerres y La Llanada respectivamente; para cada una de las variables el resumen estadístico se presenta en el Anexo 4

Myotis keaysi.

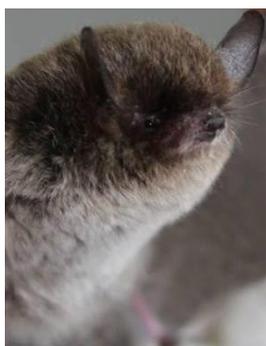
Esta especie (Figura 11 B - *M.k*) fue registrada en la Reserva Natural Rio Ñambi con un total de 20 grabaciones en vuelo libre y tirolesa, no obstante, solo se analizaron las grabaciones en vuelo libre y se obtuvo su respectivo resumen estadístico (Anexo 4).

Myotis riparius.

Uno de los aportes más destacables de este estudio es el registro de *M. riparius* (Figura 11C - *M.r*) por primera vez para el departamento de Nariño (Institución Educativa Ricaurte, Ricaurte, Nariño, Colombia). La falta de muestreos sistemáticos puede ser la principal causa por la cual esta especie no se registró con anterioridad. En total se analizaron 10 secuencias y se realizó el resumen estadístico para cada variable (Anexo 4).

Lasiurus blossevillii.

Esta especie también es un nuevo registro para el departamento de Nariño (Figura 11D -*L. b*); solo se presentó en el Municipio de Peñol con un total de 10 grabaciones, el análisis de cada una de las variables se presenta en el Anexo 4.



A



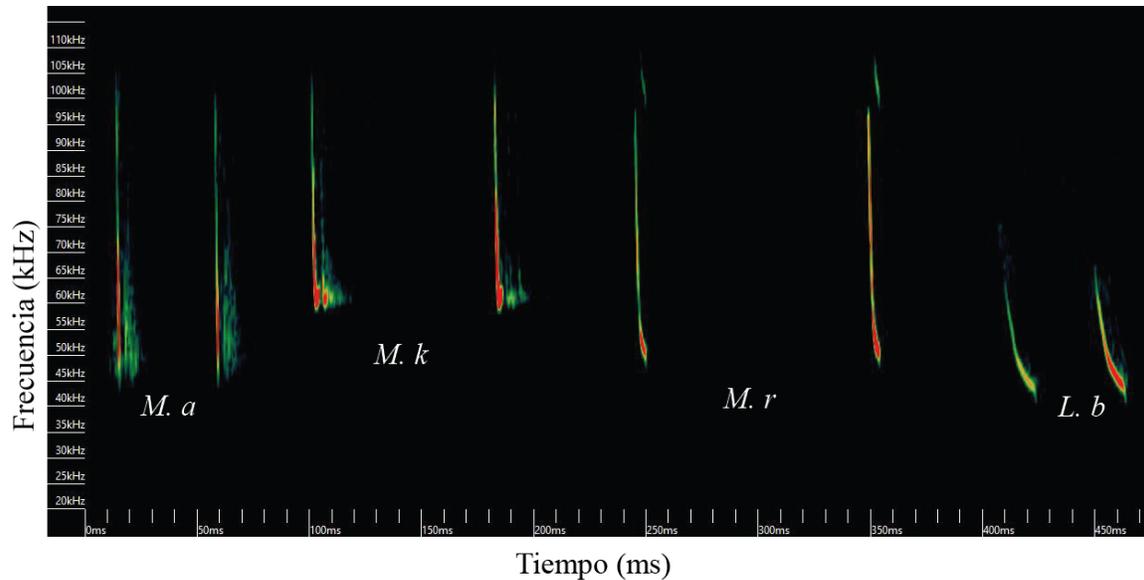
B



C



D



E
 Figura 11. Fotografía de espécimen (A - D) y sonograma de los pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda (E) correspondiente a: *M. albescens* (A - *M. a*), *M. keaysi* (B - *M. k*), *M. riparius* (C - *M. r*) y *L. blossevillii* (D - *L. b*) presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño.

Teniendo en cuenta la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, para cada una de las variables obtenidas de los pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda de las cuatro especies de murciélagos (*M. albescens*, *M. keaysi*, *M. riparius* y *L. blossevillii*) registradas en la familia Vespertilionidae (Anexo 5), se obtuvo que las nueve variables (espectrales y temporales) presentaron diferencias estadísticamente significativas (P-valor < 0.05).

En la figura 12 se representa mediante gráficos de cajas y bigotes la distribución de los datos de cada una de las variables analizadas para las cuatro especies de la familia Vespertilionidae, donde las variables frecuencia inicial (Figura 12-A) y frecuencia final (Figura 12-B) presentan diferencias en la mediana para los pulsos de ecolocalización para las cuatro especies de murciélagos registradas.

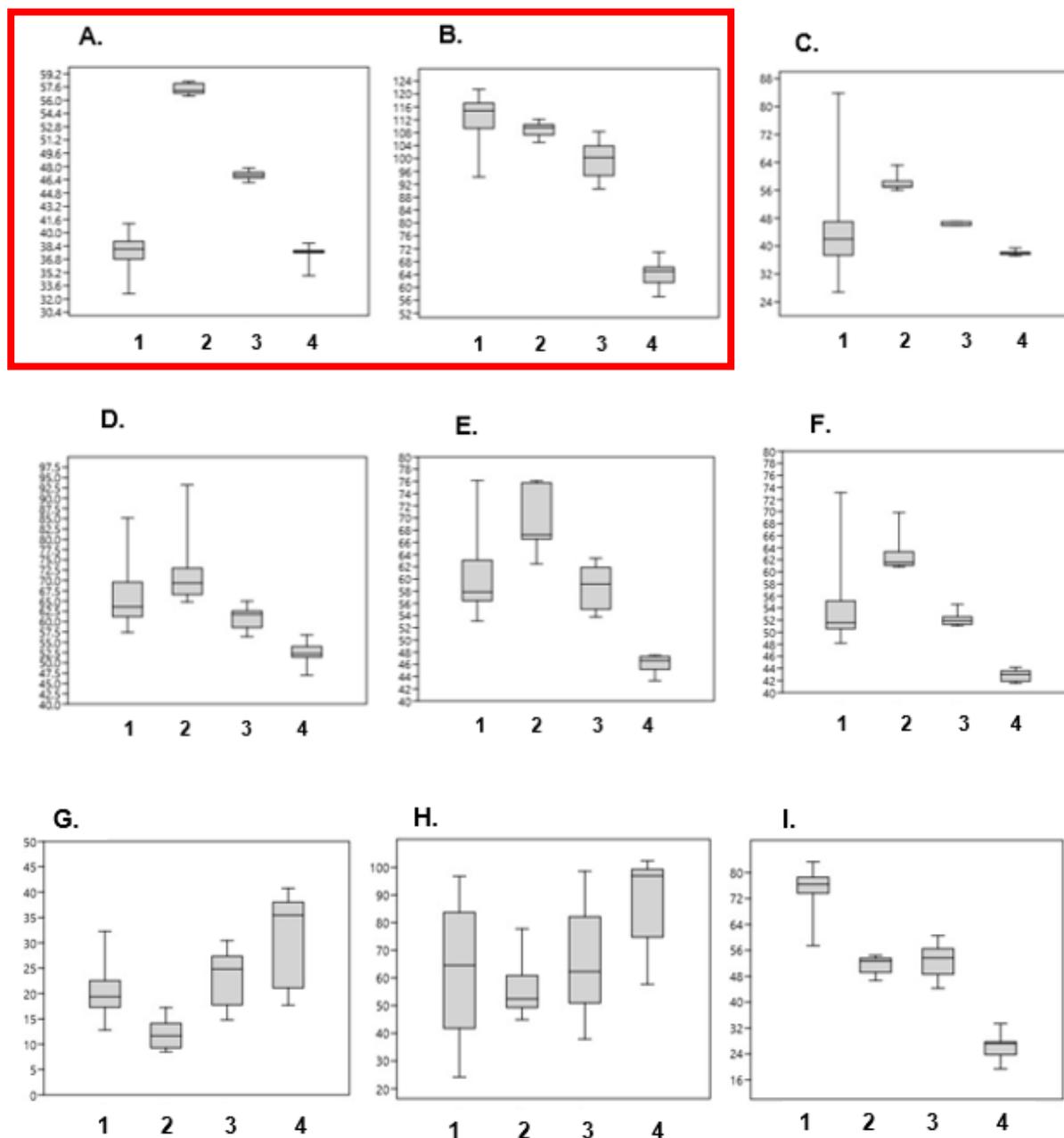


Figura 12. Comparación entre A. Fstar, B. Fend, C. Fpmin, D. Fpmax, E. Fpmean, F. Fppeak, G. Duración, H. Intervalo, I. Ancho de banda. 1. *M. albescens*, 2. *M. keaysi*, 3. *M. riparius*, 4. *L. blossevillii*.

Con el fin de observar diferenciación entre las cuatro especies de la familia Vespertilionidae se realizó un Análisis Discriminante (AD) (Figura 13) dando como

resultado una clasificación *a priori* correcta del 66.10 % (Anexo 6), esto se debe a que la estructura de los pulsos de ecolocalización para esta familia son muy similares en donde los parámetros frecuencia final y ancho de banda fueron los más informativos al momento de separar especies.

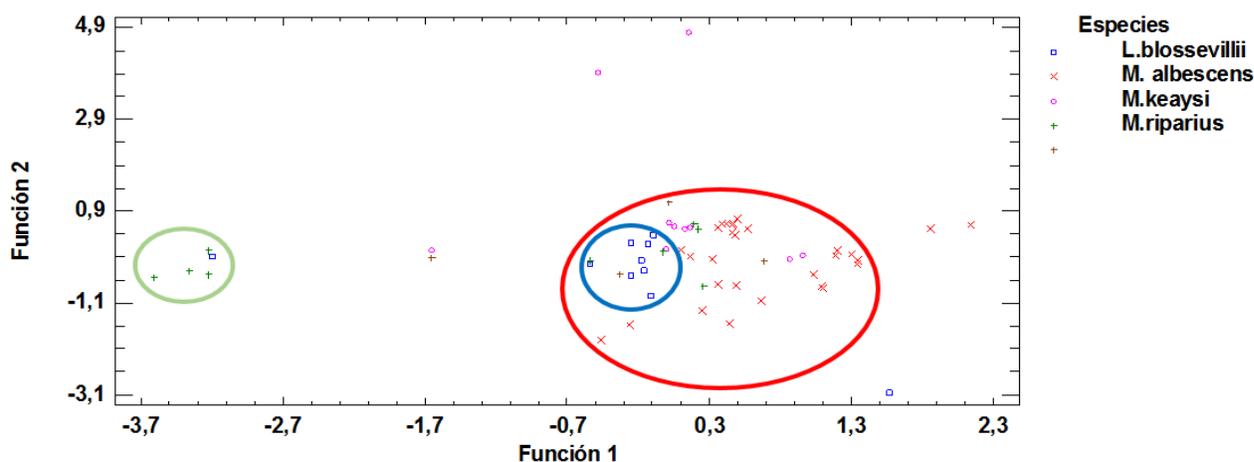


Figura 13. Análisis discriminante realizado con las cuatro especies pertenecientes a la familia Vespertilionidae distribuidas en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño – Colombia.

FAMILIA MOLOSSIDAE

Los pulsos de la familia Molossidae presentaron una mayor complejidad comparados con los de la familia Vespertilionidae; ya que para la especie *M. molossus* presentó variaciones en la emisión de pulsos a diferentes frecuencias en una misma secuencia ecolocadora. A pesar de su complejidad los pulsos observados que fueron asignados potencialmente a especies de molósidos conservan características distintivas de los pulsos de ecolocalización de esta familia.

Los pulsos observados para esta familia presentan combinaciones de frecuencias constantes (FC) y frecuencias cuasi constantes (QFC), se caracterizan a su vez por ser pulsos de larga duración combinados con grandes segmentos de banda estrecha.

A cada conjunto de datos obtenidos a partir de la medición de las variables en cada una de las secuencias se les calculó las medidas de tendencia central y variación. La síntesis de los datos de las secuencias asignadas a la familia Molossidae se presenta para cada especie.

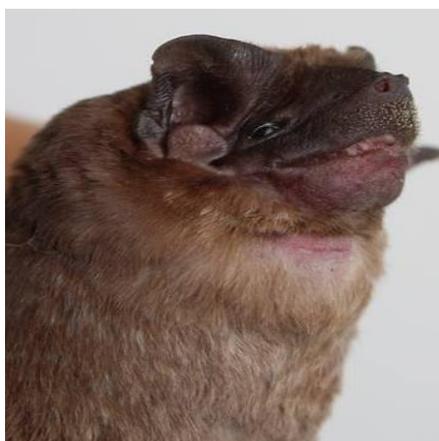
Molossus molossus.

Los pulsos de ecolocalización de esta especie (Figura 15 C - *M. m*) varían tanto en forma como en los parámetros de frecuencia en el sonograma (Figura 15C - *T. b*) los pulsos de ecolocalización presentan una estructura de frecuencia cuasi constante y con pulsos de diferentes frecuencias que consiste en un pulso de menor frecuencia (Pulso 1) seguido por uno de mayor frecuencia (Pulso 2) (Anexo 4), lo que indica que los individuos de *M. molossus* alternan la frecuencia de sus pulsos en fase de búsqueda.

Esta especie fue registrada en los municipios de Barbacoas y Taminango con un total de 26 grabaciones en vuelo libre y línea de vuelo; no obstante, para el análisis solo se tomó secuencias en vuelo libre.

Tadarida brasiliensis.

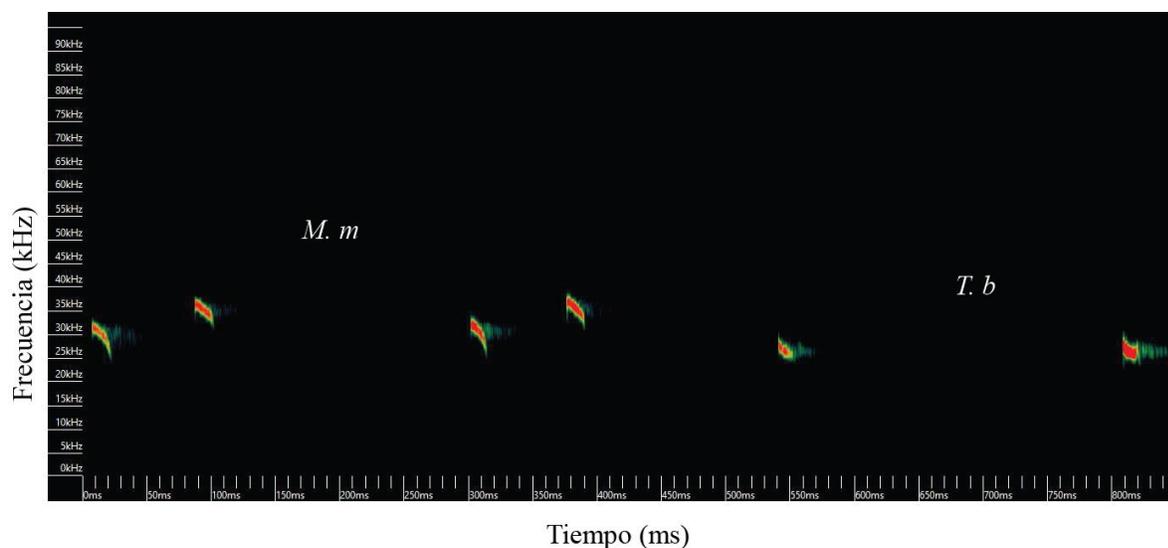
Para la especie (Figura 14-C) se realizó el análisis de 10 secuencias y para cada variable se realizó su respectivo resumen estadístico (Anexo 4). Los pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda para esta especie son de tipo constante (FC) y cuasi constante (QCF), con un rango variable de frecuencias y duración (Figura 14-D).



A



B



C
 Figura 14. Fotografía de espécimen (A y B) y sonograma de los pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda (C) correspondiente a: *Molossus molossus* (A - *M. m*) y *Tadarida brasiliensis* (B - *T. b*) presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño.

Se realizó la prueba T- student o su respectiva prueba no paramétrica U de mann – whitney a cada una de las variables analizadas con las dos especies registradas en la familia Molossidae, dando como resultados diferencias estadísticamente significativas (P - valor < 0.05) para las nueve variables analizadas (Anexo 7).

FAMILIA EMBALLONURIDAE

Los pulsos de ecolocalización de esta familia son de banda estrecha y multi-armónica con frecuencia cuasi constante (QCF) y la frecuencia de energía máxima está presente en el segundo armónico (Jones & Teeling, 2006; Jung et al., 2007; Ratcliffe, Jakobsen, Kalko, & Surlykke, 2011)

Saccopteryx bilineata.

Esta especie fue registrada en Tumaco (Granja Experimental Maragrícola) con un total de 10 grabaciones en recorridos libres y línea de vuelo; el resumen estadístico para cada una de las variables del segundo armónico principal se presenta en el Anexo 4.

Por lo general las especies pertenecientes al género *Saccopteryx* tienen la particularidad de emitir señales en las que alternan pulsos de frecuencias altas y bajas sin embargo, en este estudio *S. bilineata* no presentó este patrón (Figura 15).

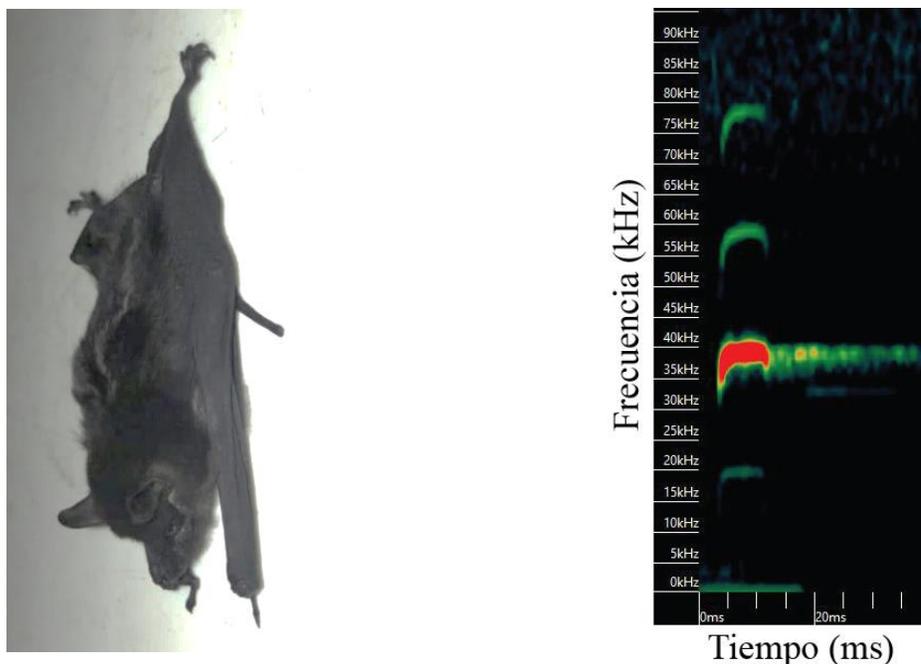


Figura 15. Espécimen y sonograma correspondiente a *S. bilineata* presente en el municipio de Tumaco - Granja Experimental Maragrícola.

DIFERENCIAS ENTRE LAS VARIABLES TEMPORALES Y ESPECTRALES DE LAS SIETE ESPECIES DE MURCIÉLAGOS REGISTRADAS

En la Figura 16 se presentan los sonogramas de los pulsos de ecolocalización de las siete especies reportadas en este estudio, donde se puede apreciar que las especies pertenecientes a la familia Vespertilionidae presentan pulsos de frecuencia modulada con una parte final cuasi constante y con barridos descendentes como es el caso de la especie *L. blossevillii*.

Por otro lado, los pulsos de la familia Molossidae presentan frecuencias constantes y cuasi constantes y la especie *S. bilineata* de la familia Emballonuridae presenta multiarmónicos de frecuencia cuasi constante, siendo el segundo armónico el de mayor energía.

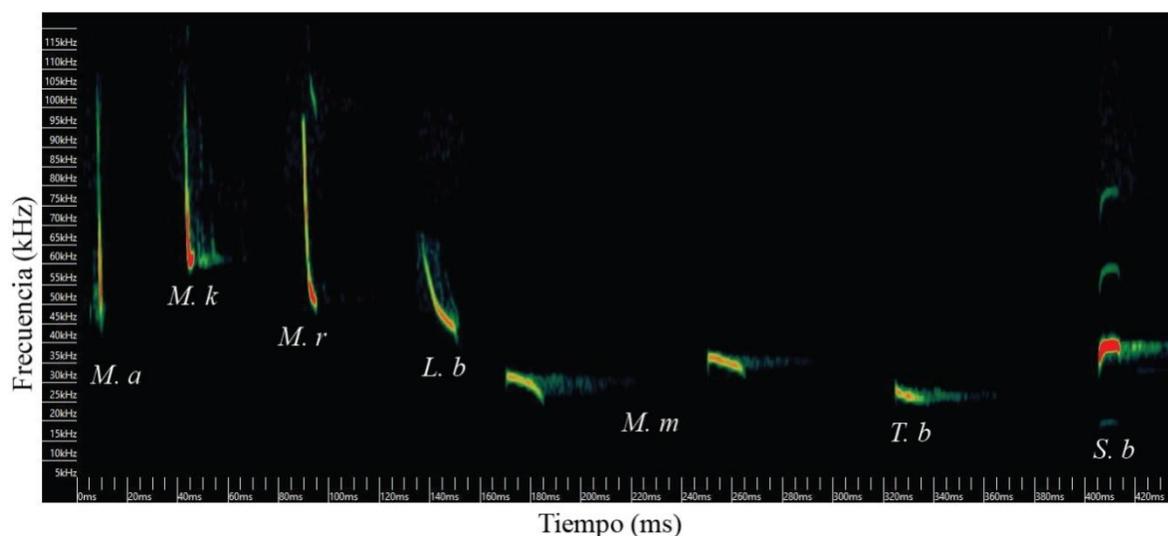


Figura 16. Sonograma correspondiente a las siete especies, *M. albescens* (*M. a*), *M. keaysi* (*M. k*), *M. riparius* (*M. r*), *L. blossevillii* (*L. b*), *Molossus molossus* (*M. m*) y *Tadarida brasiliensis* (*T. b*) y *Saccopteryx bilineata* (*S. b*) presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño.

Se realizó un ACP con las siete especies registradas y como resultado de este análisis se obtuvo un gráfico (Figura 17) en el que se observa la formación de cuatro grupos definidos, en donde el componente 1 (el parámetro más importante) es el ancho de banda (77.643 %), mientras que en el componente 2 es la frecuencia final (11.897%); ambos componentes explican el 89.54 % de la variación de los datos (Anexo 8).

En este caso el ancho de banda es una variable importante para la separación de los pulsos de ecolocalización entre familias, ya que funciona como un indicativo de la estructura de los pulsos de ecolocalización ya sea de tipo FM, QCF, CF.

La familia Molossidae presenta pulsos de ecolocalización de frecuencias cuasi constantes y constantes con anchos de banda estrechos a diferencia de la familia Vespertilionidae con pulsos de frecuencia modulada, lo que ubica a la familia Molossidae en el extremo opuesto de la familia Vespertilionidae ya que esta última presenta amplias bandas de frecuencia.

Sin embargo, la especie *L. blossevillii* perteneciente a la familia Vespertilionidae fue separada en otro grupo debido a que se obtuvieron registros de dos tipos de pulsos para esta familia en los que se encontró FM (Frecuencia modulada) y FQC (Frecuencia cuasi constante).

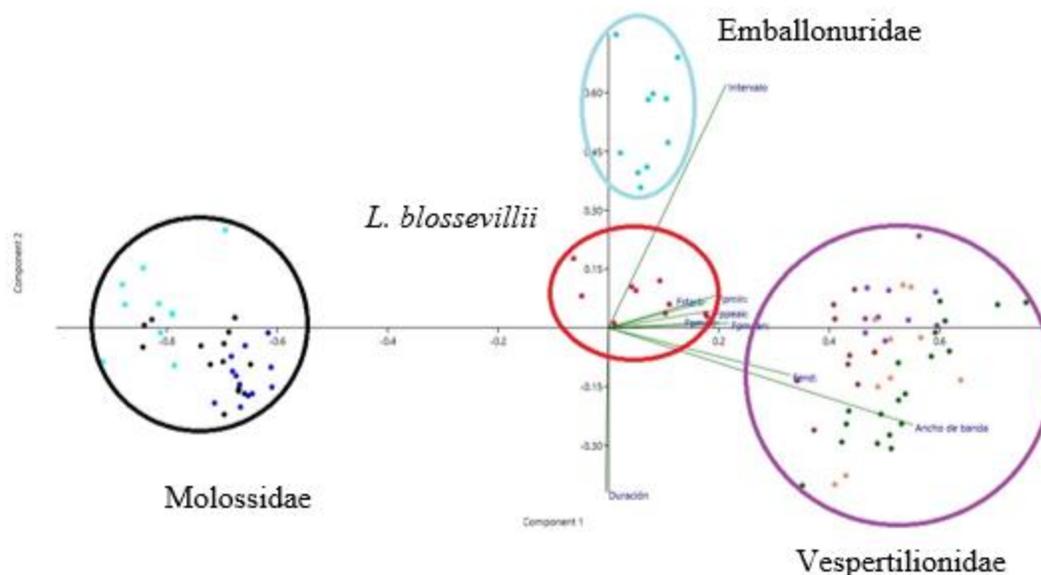


Figura 17. Análisis de componentes principales para las especies pertenecientes a las familias Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae.

En cuanto al Análisis Discriminante (AD), se obtuvo un gráfico en el que se observa una clara separación de las tres familias (Figura 18). En el componente 1 los parámetros relacionados a frecuencias son los más importantes, dado que las variables que más ayudan a la identificación de las especies son las frecuencias a la que se encuentra; mientras que en el componente 2 es el ancho de banda y el intervalo (anexo 9), esto se debe a que las familias de murciélagos presentan diferentes pulsos de ecolocalización ya sea FM (familia Vespertilionidae), FC o FQC (familia Molossidae) o FQC (familia Emballonuridae). Se obtuvo una clasificación *a priori* correcta del 97.14%.

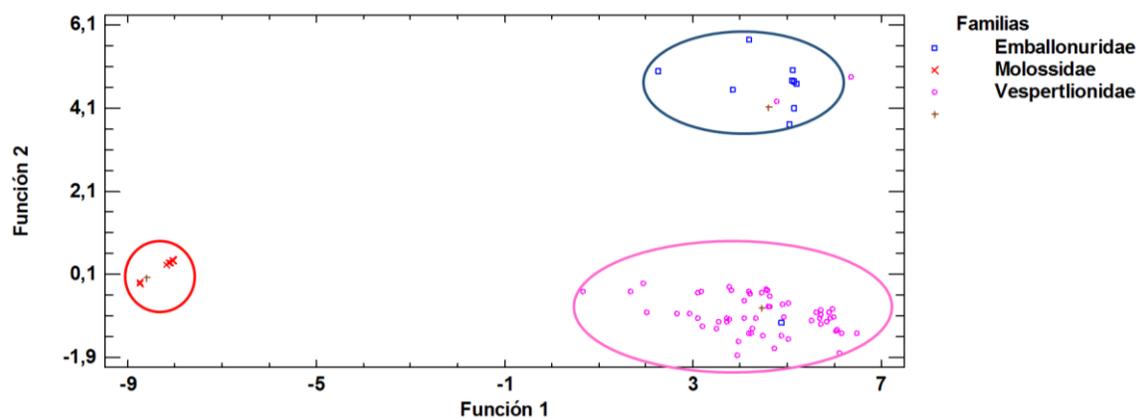


Figura 18. Análisis discriminante realizado con las especies pertenecientes a las familias Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae.

COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES REGISTRADAS EN DOS LOCALIDADES Y A TRAVÉS DE DIFERENTE MÉTODO DE GRABACIÓN

Dado que los pulsos de ecolocalización de murciélagos pueden variar dependiendo de su hábitat de forrajeo o método (vuelo libre y línea de vuelo), se realizaron las pruebas T – student y U de Mann-Whitn con el fin de establecer diferencias significativas para cada una de las variables entre las localidades para *M. albescens* (Puerres y La Llanada) y *M. molossus* (Taminango y Barbacoas).

Para la especie *M. albescens* se obtuvo como resultado un P- valor mayor que el alfa de 0.05 para cada una de las variables (espectrales y temporales) (Anexo 10), por lo tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las variables medidas para las localidades de Puerres y La Llanada, ni tampoco entre los datos obtenidos de los pulsos de ecolocalización en vuelo libre y línea de vuelo.

Por otro lado, la especie *M. molossus* presento diferencias estadísticamente significativas para la variable Frecuencia inicial ($0,032824 < 0.05$) entre las localidades Taminango y Barbacoas (Anexo 11).

Cabe resaltar que para el análisis solo se tomaron grabaciones en vuelo libre, ya que cuando se registraron a través de línea de vuelo presento variaciones tanto en la morfología como en las variables espectrales y temporales de los pulsos de ecolocalización (Figura 19), dado por situaciones de estrés.

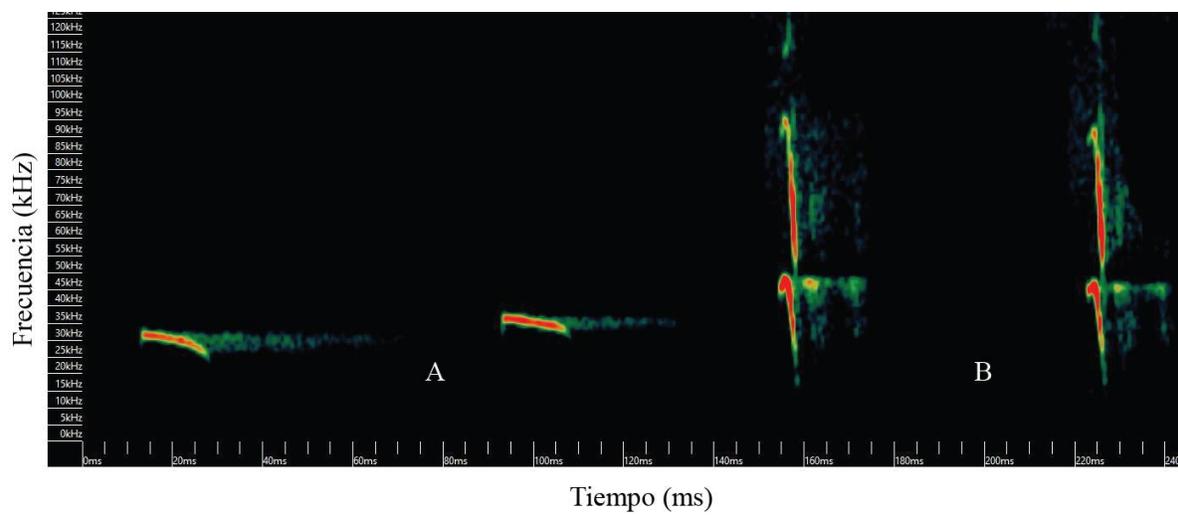


Figura 19. Sonograma correspondiente a la especie *M. molossus* obtenido a partir del método vuelo libre (A) y línea de vuelo (B).

DISCUSIÓN

En el presente estudio se realizó la caracterización de los pulsos de ecolocalización de siete especies de murciélagos insectívoros pertenecientes a las familias Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae en la región Andina y Pacífica del Departamento de Nariño.

O'Farrell & Gannon (1999), reportan que la familia Vespertilionidae se compone de especies de murciélagos insectívoros que habitan y forrajean en los bordes de vegetación y sus pulsos de ecolocalización se caracterizan por ser de frecuencia modulada (FM) con una parte final cuasi constante (QCF), son de corta duración entre 2 a 4 milisegundos que los hacen diferentes a las demás especies; sin embargo, los datos de esta investigación muestran pulsos con frecuencia modulada con barridos descendentes, amplias bandas de frecuencia y duración de cada pulso entre 2 a 11.6 ms aunque estas características no son iguales para las cuatro especies registradas se debe tener en cuenta la variación dentro de cada especie y entre las especies registradas (MacSwiney, Clarke, & Racey, 2008).

Por otro lado, cuando se analiza cada una de las especies, de la familia Vespertilionidae registradas para esta investigación, las mediciones de sus variables espectrales y temporales para la especie *M. albescens* son contrastante con los estudios de Rivera-Parra (2011) a excepción de la morfología del pulso, es decir, en esta investigación presento pulsos de frecuencia modulada mientras que Aguilar, (2017), indica pulsos de frecuencia final con una evidente parte final cuasi constante, esto se puede deber al hábitat en el cual forrajea ya que según Aguirre (2008), esta especie puede forrajear en sotobosque, dosel e incluso puede forrajear sobre el agua.

Myotis keaysi reporta grabaciones de pulsos cortos (aproximadamente 2.5 ms) pero de alta intensidad y repetitivas a una tasa alta pero variable (15 ± 20 s⁻¹) (Rydell, Arita, Santos, & Granados, 2002); esto no concuerda con los resultados obtenidos ya que esta especie presentó una duración entre 8.5 – 17,21 ms. La diferencia en la duración se puede deber a que esta variable está determinada por los desafíos de percepción que enfrenta el murciélago en su entorno natural (Jones & Holderied, 2007). No obstante, se presentan similitudes al comparar la frecuencia inicial y frecuencia final, además de la morfología de los pulsos de ecolocalización con los resultados obtenidos en esta investigación (Rydell et al., 2002).

En cuanto a la descripción de los pulsos de ecolocalización *M. riparius* presenta similitud en forma y características propuestas por Fenton, Rydell, Vonhof, Eklöf, & Lancaster (1999), pero difiere en la presencia de armónicos presentes en este estudio.

Esto se puede deber en gran parte al equipo utilizado por los autores y la sensibilidad del mismo (Rivera-Parra, 2011)

M. riparius presenta diferencias en frecuencias de los pulsos con respecto a otros estudios, donde se reporta Fmax de $121,9 \pm 3,1$ y Fmin de $56,9 \pm 2$; sin embargo, las variables intervalo y duración presentaron similitudes con valores de $68,3 \pm 5,1$ y $2,1 \pm 0,4$, esto se relacionan con los datos reportados en esta investigación (Anexo 4) (Fenton et al., 1999).

Lasiurus blossevillii en literatura presenta Fmax de 62,67kHz y Fmin de 46,84kHz (Kraker castañeda , Santos Moreno, & García García, 2013); estos datos son contrastantes con los resultados de este estudio; además, el espectrograma de los pulsos reportados en investigaciones en las que se analiza la riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros presenta una estructura similar.

La familia Molossidae posee una gran plasticidad en el diseño de los pulsos de ecolocalización en fase de búsqueda, lo cual implica cambios de frecuencia y alternancia de frecuencias (Gillam & McCracken, 2007; Mora, Macias, Vater, Coro, & Kössl, 2004)

Según Jung, Kirsten, Molinari, & Kalko, (2014), la especie *M. molossus* puede presentar dos pulsos, uno de baja frecuencia seguido de un pulso con frecuencia más alta lo que concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación. El uso de dos frecuencias podría representar un beneficio ya que esto le permitiría reconocer mejor sus ecos dado que no hay superposición en la frecuencia entre las dos señales de un par; el emparejamiento puede permitir que el murciélago procese los ecos del primer pulso mientras emite el segundo o incluso este patrón podría presentar una ventaja en la captura de sus presas (Jung et al., 2014).

En investigaciones realizadas a la especie *T. brasiliensis* se reportan valores de frecuencias inicial y final similares a los encontrados en este estudio lo que concuerda con Ratcliffe, Hofstede, McCracken, Biscardi, & Spanjer (2004), ya que según los autores existen diferencias entre las variables dependiendo de la presencia de individuos conespecíficos y no por lugares diferentes, o que difieren en al menos algo en la estructura del hábitat; cabe resaltar que esta especie puede ajustar la estructura de los pulsos de ecolocalización para evitar interferencias con el ruido (Rizo, 2008).

La familia Emballonuridae presenta especies de murciélagos insectívoros que forrajean generalmente en espacios abiertos, superficies de agua o bordes de

vegetación, por lo cual, los pulsos de ecolocalización de las especies pertenecientes a esta familia presentan anchos de banda pequeños y por lo general son de Frecuencias cuasi constantes (QCF) con ciertas especies que adicionan un componente de Frecuencia modulada (FM) (Kalko & Schnitzler, 1998; Jung et al., 2007; MacSwiney et al., 2008).

En cuanto a la especie *S. bilineata*, el segundo armónico presenta mayor energía en comparación del primero en sus pulsos de ecolocalización. Se observó que, en algunos de sus rangos, *S. bilineata* usa frecuencias ligeramente más bajas como ocurrió en la localidad de Tumaco lo que concuerda con lo obtenido por (Biscardi, Orprecio, Fenton, Tsoar & Ratcliffe, 2004); según Ratcliffe, Jakobsen, Kalko, & Surlykke (2011), esta especie usa dos secuencias de pulsos distintos, uno es una frecuencia notable que alterna secuencia, donde los murciélagos emiten pares de pulsos: el primer pulso a 45 kHz seguida del segundo pulso a 48 kHz (Barclay, 1983; Jung et al., 2007). Sin embargo, este comportamiento no se observó en los resultados de este estudio ya que las frecuencias permanecieron uniformes a lo largo del tiempo dentro de una secuencia y no presento dupla en los pulsos; según Aldridge (1987), esta variación se puede deber a la correlación que hay entre las zonas de forrajeo y la estructura de la señal acústica, ya que las presiones de selección ambiental como el microclima local y la estructura de la vegetación podrían incidir en la estructura espectral y temporal (Norberg & Rayner, 1987; Slabbekoorn & Smith, 2002; Zurc, Guillén, & Solari, 2017).

Según Ratcliffe et al., (2004), indican que *S. bilineata* produce secuencias de pulsos en una sola frecuencia cuando está cerca de su sitio de percha y por el contrario emite pulsos de frecuencia alterna en el sitio de alimentación; sin embargo, el uso de una sola frecuencia también se evidenció en pulsos de detección y captura de la presa lo que podría sugerir que esta especie emite este tipo de pulsos cuando está en espacios simples, abiertos y en ausencia de otros individuos.

Teniendo en cuenta los resultados del ACP y AD para las especies de cada familia fueron separadas correctamente. Esto podría estar relacionado a que las familias presentan variaciones relacionadas a la flexibilidad de las vocalizaciones dada por las diferencias de hábitat y búsqueda de sitios de alimentación (Gillam & McCracken, 2007; Chen, Jones, & Rossiter, 2009). Así mismo, las diferencias en las variables frecuencia inicial, frecuencia final y ancho de banda encontradas en los pulsos de ecolocalización los hacen distinguibles, ya que estas divergencias pueden facilitar la comunicación intraespecífica y la repartición del recurso permitiendo así la identificación de las especies; esto también se evidencia en especies crípticas los cuales son similares morfológicamente pero difieren en los pulsos de ecolocalización (Jones & Holderied, 2007).

Surlykke & Kalko (2008) sugieren que la mayoría de los murciélagos son flexibles en el diseño del pulso de ecolocalización, por lo cual, pueden adaptar la estructura de los pulsos a las condiciones ambientales. Esto se correlaciona con las variables duración y ancho de banda, por ejemplo, murciélagos que vuelan en espacios reducidos emiten pulsos de menor duración y mayor ancho de banda.

Los murciélagos que vuelan en espacios abiertos (Familia Molossidae y Emballonuridae) presentan pulsos más largos que aquellos que vuelan en otros espacios cerrados (Familia Vespertilionidae). Según Jones & Holderied (2007), esto se debe a la necesidad de garantizar que los ecos del pulso anterior lleguen y se reciban antes de la emisión del próximo pulso, comportamiento que puede ser adaptativo dado que los ecos tardíos del primer pulso llegan después del siguiente pulso.

Según Jones & Teeling (2006) la perspectiva sobre la evolución de la ecolocalización está nublada por la diversidad y plasticidad de las señales que se presentan en los murciélagos, lo que podría sugerir que el hábitat del animal es a menudo más importante en la configuración de su llamada que su historia evolutiva. Dado que la similitud del hábitat puede aludir a que todos los murciélagos comparten el mismo rango de presas disponibles por lo que es probable que la estructura de los pulsos este adaptada independientemente de la filogenia para optimizar la detección de las presas (Surlykke & Kalko, 2008).

Cabe resaltar que *M. albescens*, en las dos localidades (Puerres y la Llanada), no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los valores de las variables para cada pulso de ecolocalización, lo cual indica, que esta especie podría presentar similitudes en el uso del hábitat y estrategias de alimentación. Cabe resaltar que esta especie forrajea en un espacio abierto, por lo tanto, la similitud entre las dos localidades tiende a ser mayor, esto concuerda con Aldridge (1987), quienes afirman que el ancho de banda relativamente largo y frecuencias bajas son específicos para especies que se alimentan en áreas abiertas.

La variación en el parámetro frecuencia inicial para la especie *M. molossus* entre las localidades de Taminango y Barbacoas, concuerda con Gager, Tarland, Lieckfeldt, & Ménage (2016), quienes encuentran una gran variabilidad en los pulsos de ecolocalización, lo cual puede estar directamente relacionados con el ambiente en el cual forrajean, razón por la cual, muchas de las diferencias ecológicas entre especies son evidentes en este tipo de estudios (Kalko, 1995; Kalko & Schnitzler, 1998).

Otra de las razones de las diferencias de los pulsos de ecolocalización puede deberse a la variación morfológica entre poblaciones de las diferentes localidades a

nivel de tamaño corporal (longitud de antebrazo 34 a 45 mm), craneal (cresta sagital bien desarrollada o ausente, proceso coronoideo bajo o alto, rostro corto o largo) o en la coloración del pelaje; por tal razón se recomienda realizar estudios enfocados en la variabilidad morfológica y la relación entre la variación de los pulsos de ecolocalización presentados para esta especie en diferentes localidades para el departamento de Nariño.

Con la aplicación de los métodos de vuelo libre y línea de vuelo para registrar los pulsos de ecolocalización se evidenció que la familia Molossidae presento diferencias tanto en la morfología como en la frecuencia de sus pulsos, lo cual puede estar relacionado a la situación de estrés a la que se ven sometidos los murciélagos capturados. Además, el hecho de que los pulsos sean altamente variables en forma y frecuencia cuando están forrajeando en vuelo libre, facilita los cambios en los pulsos de ecolocalización cuando están en situaciones de estrés (Gager et al., 2016).

Por el contrario, la familia Vespertilionidae no presentó diferencias estadísticamente significativas en la morfología y las frecuencias de los pulsos; según Schnitzler & Kalko (2001) esto se puede deber al hábitat, puesto que según investigaciones realizadas por los autores los vespertilionidos utilizan ambientes cerrados y bordes para forrajear, mientras que los molósidos utilizan espacios abiertos donde recorren largas distancias en busca de alimento.

Finalmente, cabe resaltar que la fauna de quirópteros en el departamento de Nariño ha sido poco explorada; este trabajo aporta nueva información sobre la diversidad de los murciélagos de la familia Vespertilionidae que habitan en el departamento; hasta el momento, se consideraba solo la presencia de siete especies *Eptesicus brasiliensis*, *E. andinus*, *Myotis albescens*, *M. keaysi*, *M. nigricans*, *M. oxyotus* y *Rhoguesa io* (Ramírez & Noguera, 2010). En este estudio se registró por primera vez las especies *Myotis riparius* y *Lasiurus blossevillii* para el departamento. En total solo existen 29 ejemplares de la familia Vespertilionidae depositados en la Colección Biológica PSO CZ de la Universidad de Nariño, por lo que se puede considerar que la falta de muestreos sistemáticos puede ser la principal causa por la cual estas especies no se registraron con anterioridad.

CONCLUSIONES

Esta investigación permite establecer las características distintivas de los pulsos de ecolocalización de algunas especies de murciélagos presentes en la región Andina y Pacífica del departamento de Nariño, las cuales son importantes como ayuda en la identificación de las especies de murciélagos del departamento.

Para la familia Vespertilionidae se registraron pulsos de ecolocalización con una frecuencia inicial entre 37.43 y 57.35 kHz, una frecuencia final entre 63.6 y 112.74 kHz duración entre 2 y 11.63 ms un intervalo entre cada pulso que varía entre 54.50 y 87.21 ms, de las cuales la frecuencia inicial y la frecuencia final permiten diferenciar entre las cuatro especies (*Myotis albescens*, *M. keaysi*, *M. riparius* y *Lasiurus blossevillii*) registradas en este estudio.

La familia Molossidae presento pulsos de ecolocalización con una frecuencia inicial entre 20.351 y 24.949 kHz, una frecuencia final entre 30.242 y 37.211 kHz duración entre 14.917 y 22.632 ms un intervalo entre cada pulso que varía entre 25.379 y 329.513 ms.

La familia Emballonuridae, en donde se registró una especie (*S. billeneata*), presentó una frecuencia inicial entre 32.29 y 39.81 kHz, una frecuencia final entre 56.05 y 60.28 kHz duración entre 5 y 9 ms un intervalo entre cada pulso que varía entre 8.3 y 20 ms.

Al analizar en conjunto las tres familias registradas, se obtuvo que las variables relacionadas con frecuencias y ancho de banda permiten separar cada familia por la morfología específica de los pulsos de ecolocalización.

La frecuencia final y ancho de banda explican la variación existente entre las siete especies evaluadas en este estudio con un porcentaje de 89.54%, por esto, el ancho de banda es una variable importante para la separación de los pulsos de ecolocalización entre familias, ya que funciona como un indicativo de la estructura de los pulsos de ecolocalización ya sea de tipo FM, CF, QCF, obteniendo una clasificación *a priori* correcta del 97.14%.

RECOMENDACIONES

Es esencial incrementar estudios bioacústicos en murciélagos ya que son una herramienta útil, replicable y se obtiene resultados inmediatos los cuales son importantes para realizar comparaciones entre las poblaciones.

Realizar estudios enfocados en la comparación entre el tamaño corporal, medidas craneales y la relación con la variación en los pulsos de ecolocalización de murciélagos especialmente en la especie *M. molossus*.

Se recomienda la correcta aplicación del método para la obtención de los pulsos de ecolocalización de los individuos, pues estos pueden presentar variaciones en situaciones de estrés, especialmente para especies de la familia Molossidae.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A. P. (2017). *Morcegos insetívoros aéreos neotropicais: Identificação acústica e padrões de estruturação de assembleias*. tesis de maestría, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Porto Alegre., Porto Alegre.
- Aguirre, L. (2008). Historia natural, distribución y conservación de los murciélagos de Bolivia. *Mastozoología Neotropical*, 158–160.
- Ahlén, I. &. (1999). Use of ultrasound detectors for bat studies in Europe: experiences from field identification, surveys, and monitoring. *Acta Chiropterologica*, 1(2), 137–150.
- Aldridge, A. H. (1987). Morphology , echolocation and resource partitioning in insectivorous bats. *Journal of Animal Ecology*, 56 (3), 763–778.
- Altringham, J. D. (2011). Bats: From Evolution to Conservation. Bats: From Evolution to Conservation. 1-352. Obtenido de <http://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199207114.001.0001>
- Armitage, D. W.-F. (2010). Neural processing of target distance by echolocating bats: Functional roles of the auditory midbrain. *Bioacoustics*,. 178(1), 339–344.
- Ballesteros, J., & Racero-Casarrubia, J. (2012). Murciélagos del área urbana en la ciudad de Montería, Córdoba - Colombia Urban Bats from the City of Monteria, Cordoba -. *Colombia. Revista MVZ Córdoba*, 17 (3), 3193–3199.
- Barboza, K; Aguirre, L; & Kalko, E. (2006). Protocolo estandarizado para obtener el registro y el análisis de llamadas emitidas por murcielagos. *Revista de Ciencia y Tecnologia*, 5, 9-13.
- Barclay, R. (1983). Echolocation Calls of Emballonurid Bats from Panama. *Journal of Comparative Physiology*, 1983(151), 515-520.
- Bell, G. P. (1980). Habitat use and response to patches of prey by desert insectivorous bats . *Canadian Journal of Zoology*, 58 (10), 1876–1883. Obtenido de <http://doi.org/10.1139/z80-256>
- Biscardi, S., Orprecio, J., Fenton, M. B., Tsoar, A., & Ratcliffe, J. M. . (2004). Data, Sample Sizes and Statistics Affect the Recognition of Species of Bats by Their Echolocation Calls. *Acta Chiropterologica*, 6(2), 347–363. Obtenido de <http://doi.org/10.3161/001.00>
- Brigham, R. M., Kalko, E. K. V, Jones, G., Parsons, S., & Limpens, H. J. G. A. ((2004).). *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis*. *Bat Conservation International*. Austin, Texas: Bat Conservation International.

- Canals, M., Iriarte-Díaz, Olivares, J., & Novo. (2001). Comparación de la morfología alar de *Tadarida brasiliensis* (Chiroptera: Molossidae) y *Myotis chiloensis* (Chiroptera: Vespertilionidae), representantes de dos diferentes patrones de vuelo. *Revista Chilena de Historia Natural*, 74(3), 699-704. Obtenido de <http://doi.org/10.4067/S0716-078X2001000300015>
- Ceballos, G., & Ehrlich, P. R. (2009). Discoveries of new mammal species and their implications for conservation and ecosystem services. ,. *Proc Natl Acad Sci USA*, 106(10), 3841–3846. Obtenido de <http://doi.org/10.1073/pnas.0812419106>
- Chen, S. F., Jones, G., & Rossiter, S. S. (2009). Determinants of echolocation call frequency variation in the Formosan lesser horseshoe bat (*Rhinolophus monoceros*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 276(1674), 3901–3909.
- Crome, G., & Richards, F. (2014). Bats and Gaps: Microchiropteran Community Structure in a Queensland Rain Forest. *Ecology*, 69(6), 1960-1969.
- Díaz, M. M., Solari, S., Aguirre, L. F., & Aguilar, L. (2016). *Clave de Identificación de los Murciélagos de Sudamérica*. Argentina: Publicación especial N 2 PCMA.
- Elemans, C. P., Mead, A. F., Jakobsen, L., & Ratcliffe, J. M. (2011). Superfast muscles set maximum call rate in echolocating bats. *Science*, 333 (6051), 1885–1888. Obtenido de <http://doi.org/10.1126/science.1207309>
- Fenton, M., Rydell, J., Vonhof, M., Eklöf, J., & Lancaster, W. (1999). Constant-frequency and frequency - modulated components in the echolocation calls of three species of small bats (Emballonuridae, Thyropteridae, and Vespertilionidae). *Zoology*, 77, 1891-1900.
- Figueroa, N. (2006). *Murciélagos insectívoros en dos condiciones ambientales en el municipio de Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz*. Tesis de pregrado, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Poza Rica – Tuxpan.
- Flores, J. W., & Chumacero, L. M. (2010). Perspectivas sobre el origen y la filogenia de los murciélagos. *ContactoS*, 77, 5-9.
- Fullard, J. H., Simmons, J. A., & Saillant, P. (1994). Jamming bat echolocation: the dogbane tiger moth *Cycnia tenera* times its clicks to the terminal attack calls of the big brown bat *Eptesicus fuscus*. *The Journal of Experimental Biology*, 285-298.
- Gager, Y., Tarland, E., Lieckfeldt, D., & Ménage, M. (2016). The value of Molecular vs. Morphometric and acoustic information for species identification using sympatric molossid bats. *PLoS ONE*, 11(3).

- Gardner, A. (2007). *Mammals of South America, Volume 1 Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats*. Chicago: The University of Chicago Press, Ed.
- Gillam, E., & McCracken, G. (2007). Variability in the echolocation of *Tadarida brasiliensis*: effects of geography and local acoustic environment. . *Elsevier*, 277–286. Obtenido de <http://doi.org/10.1016/j.anbehav.2006.12.006>
- Guillén, A., Juste , B. J., & Ibáñez, C. (2000). Variation in the frequency of the echolocation calls of *Hipposideros ruber* in the Gulf of Guinea: An exploration of the adaptive meaning of the constant frequency value in rhinolophoid CF bats. *Journal of Evolutionary*, 13(1), 70-80. Obtenido de <http://doi.org/10.1046/j.1420-9101.2000.00155.x>
- Hooper, S. R., Reeder, S. A., Hansen, E. W., Bussche, R. A., & Van , D. (2003). Molecular phylogenetics and taxonomic review of noctilionoid and vespertilionoid bats (Chiroptera). *Review of molecular phylogenetics and taxonomic*, 84 (3), 809–821.
- Hopkins, C. (2004). *A Comparison of Acoustic and Capture Methods as Means of Assessing Bat Diversity and Activity in Honduras*. University of Leeds, Honduras.
- Idoeta, F., De Santis, L., & Barquez, R. (2012). El género *Cynomops* (chiroptera, molossidae) en misiones, argentina: comentarios sobre su distribución e historia natural. *Mastozoología Neotropical*, 19(2), 321–326.
- Jones, G., & Holderied, M. (2007). Bat echolocation calls : adaptation and convergent evolution . 154-160. Obtenido de <http://doi.org/10.1098/rspb.2006.0200>
- Jones, G., & Teeling, E. (2006). The evolution of echolocation in bats . *Trends in Ecology & Evolution*, 21(3), 149–156. Obtenido de <http://doi.org/10.1016/j.tree.2006.01.001>
- Jung, K., Kalko, E. K., & Helversen, O. V. (2007). Echolocation calls in Central American emballonurid bats : signal design and call frequency alternation. 272, 125–137. Obtenido de <http://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2006.00250.x>
- Jung, Kirsten, Molinari, & Kalko. (2014). Driving Factors for the Evolution of Species-Specific Echolocation Call Design in New World Free-Tailed Bats (Molossidae). 9(1), 1-15. Obtenido de <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0085279>
- Kalko, E., & Schnitzler, H. (1998). The roles of echolocation and olfaction in two Neotropical fruit-eating bats , *Carollia perspicillata* and *C . castanea* , feeding on *Piper*. 397–409.
- Kalko, K. V. (1995). Insect pursuit , prey capture and echolocation in pipistrelle bats (*Microchiroptera*). 861–880.
- Korine, C., & Kalko, E. K. (2005). Fruit detection and discrimination by small fruit-eating bats (*Phyllostomidae*): echolocation call design and olfaction. *Engineering in*

- Medicine and Biology*, 1–12. Obtenido de <http://doi.org/10.1007/s00265-005-0003-1>
- Kraker castañeda , C., Santos Moreno, A., & García Garcia, J. L. (2013). Riqueza de especies y actividad relativa en una selva tropical y pastizales en Oaxaca , México. *20*(2), 255–267.
- MacSwiney , G. M., Clarke, F. M., & Racey, P. A. (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.
- Martinez, J. M. (2007). *Composición y estructura de la comunidad de murciélagos en la Reserva Natural Rio Nambi - Nariño, Colombia*. Tesis de pregrado, Universidad de Nariño, Colombia.
- McCracken, G., Hayes, J., Cevallos, J., Guffey, & Romero, C. (1997). Observations on the distribution, ecology, and behaviour of bats on the Galapagos Islands. *The Zoological Society of London*, *243* (1997), 757–770.
- Meyer, C. F. (2008). Ecological correlates of vulnerability to fragmentation in Neotropical bats. *Journal of Applied Ecology*, *45* (1), 381–391. Obtenido de <http://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01389.x>
- Möhres, F & Kulzer, E. (1956). Über die Orientierung der Flughunde (Chiroptera - Pteropodidae). *Zeitschrift Für Vergleichende Physiologie*, *38*(1-2), 1–29. Obtenido de <http://doi.org/10.1007/BF00338621>
- Mora, E. C., Macias, S., Vater, M., Coro, F., & Kössl, M. (2004). Specializations for aerial hawking in the echolocation system of *Molossus molossus* (Molossidae , Chiroptera). 561–574. Obtenido de <http://doi.org/10.1007/s00359-004-0519-2>
- Mora, E. C., & Macías, S. (2007). Echolocation calls of Poey's flower bat (*Phyllonycteris poeyi*) unlike those of other phyllostomids. *Natur wissens chaften*, *94*(5), 380–383. Obtenido de <http://doi.org/10.1007/s00114-006-0198-7>
- Natural, M. D. (2012). *Detección ultrasónica de murciélagos insectívoros en cafetales de La Antigua Guatemala*. Universidad De San Carlos De Guatemala, Facultad De Ciencias Químicas Y Farmacia . Guatemala: Instituto De Investigaciones Químicas Y Biológicas.
- Norberg, U., & Rayner, J. (1987). Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Royal Society London*, 335–427.
- O'Farrell, M. J., & Miller, B. W. (1997). A New Examination of Echolocation Calls of Some Neotropical Bats (Emballonuridae and Mormoopidae). *Journal of Mammalogy*, *78*(3), 954–963. Obtenido de <http://doi.org/10.2307/1382955>

- O'Farrell, M. J., & Gannon, W. L. (1999). Comparison of Acoustic versus Capture Techniques for the Inventory of Bats. *American Society of Mammalogists Stable*, 80(1), 24–30.
- Orozco-Lugo, L., Guillén-Servent, A., Valenzuela, G., & Arita, H. 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. Obtenido de <http://doi.org/10.12933/therya-13-103>
- Ossa, G. (2010). *Métodos bioacústicos: una aproximación a la ecología de comunidades de murciélagos en las eco-regiones mediterránea y el bosque templado de Chile*. Chile.
- Ossa, G., Ibarra, J. T., Barboza, K., Hernández, F., Galvez, N., Laker, J., & Bonacic, C. (2010). Analysis of the echolocation calls and morphometry of a population of *Myotis chiloensis* (Waterhouse, 1838) from the southern Chilean temperate forest. *Ciencia e Investigación Agraria*, 131-139.
- Parsons, S., & Jones, G. (2000). Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *The Journal of Experimental Biology*, 2641–2656.
- Pérez, T. J., & Ahumada, J. A. (2005). Murciélagos en bosques alto-andinos , fragmentados y continuos , en el sector occidental de la Sabana De Bogotá (Colombia). 33–46. Obtenido de <http://doi:10.11144/univ.sci..v9i0.5024>
- Pinilla, C., & Rodríguez-Bolaños, A. (2013). *Descripción de pulsos de ecolocalización de Phyllostomus hastatus (Pallas, 1767) en un bosque húmedo tropical de San Francisco (Cundinamarca, Colombia)*. Cundinamarca.
- Preatoni, D. G., Nodari, M., Chirichella, R., Tosi, G., Wauters, L. A., & Martinoli, A. (2005). Identifying bats from time-expanded recordings of search calls: comparing classification methods. *Journal of Wildlife Management*, 69(4), 1601–1614.
- Pye, J. D., & Flinn, M. (1964). Equipment for detecting animal ultrasound. *ultrasonics*, 2(1), 23–28. Obtenido de [http://doi.org/10.1016/0041-624X\(64\)90334-8](http://doi.org/10.1016/0041-624X(64)90334-8)
- Ramirez, H., & Noguera, U. E. (2010). Lista preliminar de los mamíferos (Mammalia : Theria) del departamento de Nariño , Colombia. *Biota Colombiana*, 11 (1–2), , 117–140. Obtenido de <http://doi.org/10.21068/BC.V11i1 Y 2.236>
- Ratcliffe, J. M., Jakobsen, L., Kalko, E. K., & Surlykke, A. (2011). Frequency alternation and an offbeat rhythm indicate foraging behavior in the echolocating bat, *Saccopteryx bilineata*. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 143-423.

- Ratcliffe, J. M., Hofstede, H. M., McCracken, G. F., Biscardi, S., & Spanjer, G. (2004). Conspecifics influence call design in the Brazilian free-tailed bat, *Tadarida brasiliensis*. *Canadian Journal of Zoology*, 82(6).
- Rautenbach, I. L., Whiting, M. J., & Fenton, M. B. (1996). Bats in riverine forests and woodlands: a latitudinal transect in southern Africa. *Canadian Journal of Zoology*, 312–322. Obtenido de <http://doi.org/10.1139/z96-039>
- Rivera Parra, P. (2011). *Caracterización de la fauna de quirópteros del Parque Nacional Yasuní en base a llamadas de ecolocación*. Yasuní.
- Rivera Parra, P., & Burneo, S. F. (2013). Primera biblioteca de llamadas de ecolocalización de murciélagos del Ecuador. *Therya*, 4(1), 79–88. Obtenido de <http://doi.org/10.12933/therya-13-104>
- Rizo, A. (2008). *Descripción y análisis de los pulsos de ecolocación de 14 especies de murciélagos insectívoros aéreos del estado de Morelos*. Tesis de maestría, Instituto de Ecología, A.C., Morelos.
- Russo, D., & Jones, G. (2002). Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recordings of echolocation calls. *Journal of Zoology*, 91–103. Obtenido de <http://doi.org/10.1017/S0952836902001231>
- Rydell, J., Arita, H. T., Santos, M., & Granados. (2002). Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico. 27–36. Obtenido de <http://doi.org/10.1017/S0952836902000626>
- Schnitzler, H. U., & Kalko, E. (2001). Echolocation by insect-eating bats. *BioScience*, 51(7), 1-15.
- Schulze, M. D., Seavy, N. E., & Whitacre, D. F. (2000). A Comparison of the Phyllostomid Bat Assemblages in Undisturbed Neotropical Forest and in Forest Fragments of a Slash-and-Burn Farming Mosaic in Petén, Guatemala. 174-184.
- Simmons. (2005). Order Chiroptera. Mammals species of the world, a taxonomic and geographic reference. *University Press*, 313-529.
- Simmons, N. B., & Geisler, J. H. (1998). Phylogenetic relationships of Icaronycteris, Archaeonycteris, Hassianycteris, and Palaeochiropteryx to extant bat lineages, with comments on the evolution of echolocation and foraging strategies in Microchiroptera. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 4-182.
- Slabbekoorn, H., & Smith, T. (2002). Habitat-Dependent Song Divergence in the Little Greenbul: an Analysis of Environmental Selection Pressures on Acoustic Signals. *Evolution*, 56(9), 1849–1858.
- Solarte, M., & Narvaez, G. (2007). Tomo I. Informe final: Proyecto estado del arte de la información biofísica y Socioeconómica de los páramos de Nariño. 1-60.

- Obtenido de <http://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/biodiversidad/tomo01intro>
- Stoffberg. (2007). *Molecular Phylogenetics And The Evolution Of High- Frequency Echolocation In Horseshoe Bats (Genus Rhinolophus)*. University Of Cape Town. Tesis de Doctorado, University of Cape Town.
- Surlykke, A., & Kalko, E. K. (2008). Echolocating bats cry out loud to detect their prey. *PLoS ONE*, 1-15. Obtenido de <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0002036>
- Wildlife Acoustics*. (2017). Obtenido de <https://songsleuth.com/images/documentation/Kaleidoscope4.1.pdf>
- Zurc, D., Guillén, A., & Solari, S. (2017). Chillidos de ecolocación de murciélagos Emballonuridae en Una Sabana Xerófilasemiseca del Caribe Colombiano. *Mastozoología Neotropical*, 201-218.

5. ANEXOS

Anexo 1

Localidades del departamento de Nariño de donde proceden los registros

Túquerres (01°12'56.8"N 77°39'30.7"W; 01°12'56.8"N 77°39'30.7"W), Santacruz (01°14'28.6"N 77°40'56.1"W) Samaniego (01°25'06.1"N 77°35'31.2"W), Ricaurte (1°14'N 78°6'W), Sandoná (01°18'37.6"N 77°27'37.9"W), Pasto (1°15'N 77°18'W), Chachagüí (01°25'23.5"N 77°16'33.8"W), Puerres (00°54'26.2"N 77°31'19.5"W), Funes (01°00'31.0"N 77°25'54.8"W), Tumaco (1°41'N 78°45'W), Colón (01°38'31.3"N 77°01'15.5"W), Taminango (01°47'42.4"N 77°18'21.4"W) y Linares (01°21'01.9"N 77°31'20.7"W)

Anexo 2

Listado de las grabaciones correspondientes a las siete especies de murciélagos registradas para las tres familias (Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae)

Listado de grabaciones para las cuatros especie de la familia Vespertilionidae.

ESPECIE	CÓDIGO DE GRABACIÓN		
<i>M. albescens</i>	__20110101_000530	__20110101_025325	__20180221_183553
	__20110101_000543	__20110101_025513	__20180221_183603
	__20110101_000554	__20110101_025517	__20180221_183646
	__20110101_012550	__20110101_025556	__20180221_185140
	__20110101_012620	__20110101_025613	__20180221_185249
	__20110101_012642	__20180202_192534	__20180221_185448
	__20110101_022540	__20180221_183429	__20180221_185452
	__20110101_025332	__20180221_183510	__20180221_185521
	__20110101_025222	__20110101_025229	__20180221_185536
	__20110101_025314	__20110101_025305	__20180221_185203

	N_20180406_185007	N_20180406_190814
	N_20180406_185233	N_20180406_190826
<i>M. keaysi</i>	N_20180406_185331	__20180404_205941
	N_20180406_185614	__20180404_210053
	N_20180406_190750	__20180404_210857
	__20180321_195640	__20180321_201716
	__20180321_195640	__20180321_201949
<i>Lasiurus blossevillii</i>	__20180321_195640	__20180321_201956
	__20180321_195640	__20180321_203113
	__20180321_201704	__20180321_203204

Tabla de las grabaciones por especie de la familia Molossidae

ESPECIE	CÓDIGO DE GRABACIÓN		
	__20110101_000208	__20110101_020601	__20110101_011832
	__20110101_011813	__20110101_000208	__20110101_014658
	__20110101_014658	__20110101_031723	__20110101_020052
	__20110101_020101	__20110101_030825	__20180502_184632
<i>Molossus molossus</i>	__20110101_014850	__20110101_010747	__20180502_182219
	__20110101_020101	__20110101_010747	__20180502_182556
	__20180502_182715	__20180502_182809	__20180502_182224
	__20180502_182749	__20180502_182224	__20180502_183801
	__20180502_182809	__20180502_183801	__20180317_234704
	__20180317_224150	__20180317_234327	__20180317_233822
<i>Tadarida brasiliensis</i>	__20180317_224210	__20180317_234349	__20180317_184148

	__20180317_224852	__20180317_230817	__20180317_224946
	__20110101_012138	__20110101_035928	__20180404_200607
	__20110101_012232	__20110101_035309	__20180404_200959
<i>Saccopteryx bilineata</i>	__20110101_012429	__20180404_195737	__20110101_035332
	__20110101_012933	__20180404_200252	__20110101_040000
	__20110101_013010	__20180404_200522	__20110101_035332
	__20180404_200536		

Anexo 3

Listado de ejemplares colectado de las familias Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae

FAMILIA	ESPECIE	CÓDIGO DE COLECTA	LOCALIDAD
		JAC118	La Llanada
		JAC119	Puerres
		JAC120	Puerres
		JAC121	Puerres
	<i>M. albescens</i>	JAC122	Puerres
		JAC123	Puerres
		JAC124	Puerres
Vespertilionidae		JAC125	Puerres
		JAC126	Puerres
		JAC127	Puerres
	<i>M. keaysi</i>	JAC128	Barbacoas
		JAC129	Ricaurte
	<i>M. riparius</i>	JAC130	Ricaurte
		JAC131	Ricaurte

		JAC132	Ricaurte
	<i>L. blossevilli</i>	JAC133	El Peñol
		JAC098	Barbacoas
		JAC099	Barbacoas
		JAC100	Barbacoas
		JAC101	Barbacoas
		JAC102	Barbacoas
		JAC103	Barbacoas
		JAC104	Barbacoas
	<i>M. molossus</i>	JAC105	Barbacoas
		JAC106	Barbacoas
		JAC107	Taminango
Molossidae		JAC108	Taminango
		JAC109	Taminango
		JAC110	Taminango
		JAC111	Taminango
		JAC112	Taminango
		JAC113	Ricaurte
		JAC114	Ricaurte
	<i>T. brasiliensis</i>	JAC115	Ricaurte
		JAC116	Ricaurte
		JAC117	Ricaurte
		JAC134	Tumaco
Emballonuridae	<i>S. bilineata</i>	JAC135	Tumaco
		JAC136	Tumaco
		JAC137	Tumaco

Anexo 4

Características de los pulsos de ecolocalización de las siete especies de murciélagos registradas (*M. albescens*, *M. keaysi*, *M. riparius*, *L. blossevillii*, *M. molossus*, *T. brasiliensis* y *S. bilineata*).

		Fstart	Fend	Fpmin	Fpmax	Fpmean	Fppeak	Duración	Intervalo	Ancho de banda
<i>M. albescens</i>	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Promedio	37,58	112,74	43,3	66,2	59,96	54	2,0	57,75	75,06
	Mínimo	32,64	94,29	26,8	57,4	53,11	48,19	1,3	24,20	57,47
	Máximo	41,1	121,42	83,79	85,2	76,14	73,14	3,2	96,74	83,36
	Desviación Estándar	1,05	1,06	1,25	1,12	1,09	1,11	1,24	1,55	1,08
<i>M. keaysi</i>	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Promedio	57,35	109,02	58,06	72,13	68,97	62,86	11,63	54,50	51,63
	Mínimo	56,50	104,98	55,99	64,79	62,47	60,82	8,51	44,96	46,71
	Máximo	58,26	112,13	63,19	93,20	76,09	69,82	17,21	77,77	54,45
	Desviación Estándar	1,01	1,02	1,04	1,13	1,07	1,05	1,26	1,17	1,06
<i>M. riparius</i>	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Promedio	46,93	99,78	46,29	60,97	58,53	52,26	2,2	63,33	52,75
	Mínimo	46,07	90,57	46,00	56,39	53,77	51,08	1,5	37,92	44,32
	Máximo	47,82	108,35	47,00	64,99	63,39	54,62	3,0	98,56	60,52
	Desviación Estándar	1,01	1,06	1,01	1,05	1,06	1,02	1,30	1,34	1,11
<i>L. blossevillii</i>	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Promedio	37,43	63,6	38,04	52,33	46,14	42,78	3,0	87,21	25,96
	Mínimo	34,82	57,11	37,20	47,00	43,35	41,54	1,8	57,73	19,40

<i>Armónico 1</i>	Promedio	16,39	31,74	21,28	27,33	23,82	23,96	7,17	99,83	15,18
	Mínimo	14,964	29,843	18,6	26,4	23,442	23,634	5,716	66,857	11,159
	Máximo	18,684	32,802	37	28,8	24,164	24,167	9,055	164,044	17,838
	Desviación Estándar	1,09	1,03	1,22	1,03	1,01	1,00	1,17	1,33	1,14
<i>S. bilineata</i> <i>Armónico 2</i>	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Promedio	35,01	58,1	39	53,65	47,83	47,95	7,0	12	22,85
	Mínimo	32,29	56,05	36,2	51,99	46,81	47,35	5,0	8,3	16,23
	Máximo	39,81	60,28	40,79	55	48,31	48,39	9,0	20	26,04
<i>S. bilineata</i> <i>Armónico 3</i>	Desviación Estándar	1,07	1,02	1,03	1,02	1,01	1,01	1,18	1,33	1,14
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Promedio	57,91	80,36	60,29	75,41	71,59	71,83	7,53	105,05	22,32
	Mínimo	55,375	77,672	47,5	74,2	69,168	68,87	5,77	66,904	17,12
<i>S. bilineata</i> <i>Armónico 4</i>	Máximo	60,553	82,681	64	76,8	72,445	72,754	9,525	225,976	25,024
	Desviación Estándar	1,02	1,02	1,09	1,01	1,01	1,02	1,17	1,46	1,12
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Promedio	85,07	104,49	88,86	98,98	95,46	96,13	6,89	99,85	19,24
<i>S. bilineata</i> <i>Armónico 4</i>	Mínimo	78,877	102,633	75,4	97,6	93,1	95,197	5,307	66,904	14,879
	Máximo	87,754	105,677	92,4	100	96,798	97,034	8,128	164,044	24,771
	Desviación Estándar	1,03	1,01	1,06	1,01	1,01	1,01	1,15	1,33	1,14

Fstar: Frecuencia inicial, Fend: Frecuencia final, Fpmin: Frecuencia mínima, Fpmax: Frecuencia máxima, Fpmean: Frecuencia media, Fppeak: Frecuencia pico, Duración: duración de cada pulso, Intervalo: intervalo entre impulsos, N: Promedio de pulsos analizados.

Anexo 5

Pruebas de análisis de varianza (ANOVA de una vía prueba no paramétrica Kruskal Wallis) para cada variable espectral y temporal de las especies de la familia Vespertilionidae.

Resultados del análisis de varianza Kruskal – wallis (prueba no paramétrica) para la variable Frecuencia inicial. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para las especies de la familia Vespertilionidae)

H (chi2):	40,83
Hc (tie corrected):	40,84
p (valor):	7.09E-06

Resultados del análisis de varianza Kruskal – wallis (prueba no paramétrica) para la variable Frecuencia final. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia final para las especies de la familia Vespertilionidae).

H (chi2):	39,05
Hc (tie corrected):	39,05
p (valor):	1.69E-05

Resultados del análisis de varianza Kruskal – wallis (prueba no paramétrica) para la variable Frecuencia mínima I. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable Frecuencia mínima para las especies de la familia Vespertilionidae).

H (chi2):	28,81
Hc (tie corrected):	28,89
p (same):	2.36E-03

Resultados del análisis de varianza Kruskal – wallis (prueba no paramétrica) para la variable Frecuencia máxima. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable Frecuencia máxima para las especies de la familia Vespertilionidae).

H (chi2):	33,18
Hc (tie corrected):	33,2
p (valor):	2.93E-04

Resultados del análisis de varianza Kruskal – wallis (prueba no paramétrica) para la variable Frecuencia media. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable Frecuencia media para las especies de la familia Vespertilionidae).

H (chi2):	35,45
Hc (tie corrected):	35,45
p (valor):	9.77E-05

Resultados del análisis de varianza Kruskal – wallis (prueba no paramétrica) para la variable Frecuencia pico. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable Frecuencia pico para las especies de la familia Vespertilionidae).

H (chi2):	35,54
Hc (tie corrected):	35,54
p (valor):	9.35E-05

Resultados del análisis de varianza Kruskal – wallis (prueba no paramétrica) para la variable duración. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable duración para las especies de la familia Vespertilionidae).

H (chi2):	30,78
Hc (tie corrected):	30,78
p (valor):	9.46E-07

Resultados del análisis de varianza Kruskal – wallis (prueba no paramétrica) para la variable intervalo. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable intervalo para las especies de la familia Vespertilionidae).

H (chi2):	13,95
Hc (tie corrected):	13,95
p (valor):	0,002973

Resultados del análisis de varianza Kruskal – wallis (prueba no paramétrica) para la variable Ancho de banda. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable Ancho de banda para las especies de la familia Vespertilionidae).

H (chi2):	47,98
Hc (tie corrected):	47,98
p (same):	2.15E-07

Anexo 6

Resultados del Análisis Discrimínate realizado con las cuatro especies de la familia Vespertilionidae. a) Valores absolutos de correlación entre cada uno de las variables y las funciones discriminantes, b) resultados de la clasificación en donde el 66,10 % de los individuos están clasificados correctamente tanto *a priori* como en la clasificación de AD

Tabla a. Valores absolutos de correlación entre variables y las funciones discriminantes. Funciones discriminantes (1, 2 y 3)

A	1	2	3
Fstart	-0,300656	0,24631	-0,0999708
Fend	0,944264	0,129134	0,0269412
Fp min	-0,248357	0,199682	-0,200852
Fpmax	-0,381307	0,0150054	-0,210983
Fpmean	-0,011387	0,448091	-0,189494
Fppeak	0,0153438	0,1446	-0,485629
Duracion	0,0213987	0,749586	0,261418
Intervalo	0,0624994	0,176505	0,446765
Ancho de banda	0,222022	0,259548	-0,594065

Tabla b. Resultados de la clasificación

<i>Especies</i>	<i>Actual</i> <i>de</i> <i>Grupo</i>	<i>Tamaño Predicho Especies</i>			
		<i>L.</i> <i>blosevilli</i>	<i>M.</i> <i>albescens</i>	<i>M.</i> <i>keaysi</i>	<i>M.</i> <i>riparius</i>
<i>L.</i> <i>blosevilli</i>	10	7 (70,00%)	1 (10,00%)	1 (10,00%)	1 (10,00%)
<i>M.</i> <i>albescens</i>	29	5 (17,24%)	21 (72,41%)	3 (10,34%)	0 (0,00%)
<i>M.</i> <i>keaysi</i>	10	1 (10,00%)	2 (20,00%)	6 (60,00%)	1 (10,00%)
<i>M.</i> <i>riparius</i>	10	1 (10,00%)	2 (20,00%)	2 (20,00%)	5 (50,00%)

Resultados prueba T - student o su respectiva prueba no paramétrica U de Mann-Whitn para las especies de la familia Molossidae en donde el P – valor <0.05 indica diferencias significativas entre las especies *M. molossus* y *T. brasiliensis* para cada una de las variables.

Resultados la prueba T - student para la variable Frecuencia inicial. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para las especies *M.molossus* y *T. brasiliensis*)

Fstart T.brasiliensis		M. molossus	
N:	10	N:	26
Mean:	1.3462	Mean:	1.2977
95% conf.:	(1.324 1.3684)	95% conf.:	(1.278 1.3174)
Variance:	0.000962	Variance:	0.002386
Difference between means:		0.04849	
95% conf. interval (parametric):		(0.014597 0.082382)	
95% conf. interval (bootstrap):		(0.022022 0.073432)	
t :	2.9075	p (same mean):	0.006373
Uneq. var. t :	3.537	p (same mean):	0.001551
Monte Carlo permutation:	p (same mean):	0.0057	Critical t value (p=0.05): 2.0322

Resultados la prueba T - student para la variable Frecuencia final. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia final para las especies *M.molossus* y *T. brasiliensis*)

Fend:T.brasiliensis		M.molossus	
N:	10	N:	26

Mean:	1.4806	Mean:	1.599
95% conf.:	(1.4604 1.5008)	95% conf.:	(1.5894 1.6085)
Variance:	0.000797	Variance:	0.000557

Difference between means:	0.11836
95% conf. interval (parametric):	(0.099524 0.1372)
95% conf. interval (bootstrap):	(0.099178 0.13691)

t :	12.768	p (same mean):	1.58E-14	Critical value (p=0.05):	t 2.0322
Uneq. var. t :	11.771	p (same mean):	1.09E-08		
Monte Carlo permutation:		p (same mean):	0.0001		

Resultados la prueba T - student para la variable Frecuenciamínima. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia mínima para las especies M.molossus y T. brasiliensis)

Fpmin:T.brasiliensis		M.molossus	
N:	10	N:	26
Mean:	1.3438	Mean:	1.3923
95% conf.:	(1.3274 1.3603)	95% conf.:	(1.3809 1.4038)
Variance:	0.000529	Variance:	0.000806
Difference between means:	0.048505		
95% conf. interval	(0.028036		

(parametric):	0.068974)			
95% conf. interval	(0.032315			
(bootstrap):	0.06567)			
t :	4.8158	p (same mean):	2.97E-05	Critical value (p=0.05):
Uneq. var. t :	5.2956	p (same mean):	3.41E-05	t
Monte Carlo permutation:		p (same mean):	0.0002	2.0322

Resultados la prueba U de Mann-Whitn para la variable Frecuencia máxima. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia máxima para las especies M.molossus y T. brasiliensis)

Fpmax:T.brasiliensis	M.molossus		
N:	10	N:	26
Mean rank:	1.5694	Mean rank:	16.931
Mann-Whitn U :	1.5		
z :	-4.624	p (same med.):	3.76E-06
Monte Carlo permutation:	p (same med.):	(same med.):	0.0001

Resultados la prueba U de Mann-Whitn para la variable Frecuencia media. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia media para las especies M.molossus y T. brasiliensis)

Fpmean T.brasiliensis	M.molossus		
N:	10	N:	26
Mean rank:	1.6667	Mean rank:	16.833

Mann-Whitn U :	5		
z :	-4.3972	p med.):	(same 1.10E-05
Monte Carlo permutation:	p med.):	(same 0.0001	

Resultados la prueba U de Mann-Whitn para la variable Frecuencia pico. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia pico para las especies M.molossus y T. brasiliensis)

Fppeak T.brasiliensis		M.molossus	
N:	10	N:	26
Mean rank:	1.5833	Mean rank:	16.917
Mann-Whitn U :	2		
z :	-4.5031	p med.):	(same 6.70E-06
Monte Carlo permutation:	p med.):	(same 0.0001	

Resultados la prueba T - student para la variable Duración. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable Duración para las especies M.molossus y T. brasiliensis)

Duración T.brasiliensis		M.molossus	
N:	10	N:	26
Mean:	1.1737	Mean:	1.2495
95% conf.:	(1.1309 1.2165)	95% conf.:	(1.2272 1.2719)

Variance:	0.003585	Variance:	0.003071
Difference between means:	0.075842		
95% conf. interval (parametric):	(0.033019 0.11867)		
95% conf. interval (bootstrap):	(0.034302 0.1147)		
t :	3.5992	p (same mean):	0.001004
		Critical t value (p=0.05):	2.0322
Uneq. var. t :	3.474	p (same mean):	0.003312
Monte Carlo permutation:	p (same mean):	0.0016	

Resultados la prueba U de Mann-Whitn para la variable Intervalo. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable Intervalo para las especies M.molossus y T. brasiliensis)

Intervalo T.brasiliensis	M.molossus		
N:	10	N:	26
Mean rank:	1.5278	Mean rank:	16.972
Mann-Whitn U :	0		
z :	-4.574	p (same med.):	4.78E-06

Monte Carlo p (same
permutation: med.): 0.0001

Resultados la prueba U de Mann-Whitn para la variable Ancho de banda. P - valor <0.05 (existen diferencias significativas entre las medias de la variable Ancho de banda para las especies *M.molossus* y *T. brasiliensis*)

Ancho de banda T.brasiliensis	M.molossus		
N:	10	N:	26
Mean rank:	2.5556	Mean rank:	15.944
Mann-Whitn U :	37		
z :	-3.2953	p (same med.):	0.000983
Monte Carlo permutation:	p (same med.):	0.0006	

Anexo 8

Resultados Análisis de Componentes Principales para las siete especies de murciélagos registradas en este estudio en donde los primeros componentes explican la mayor parte de la varianza de los datos.

PC	Eigenvalue	% variance
1	0.3108	77.643
2	0.047623	11.897
3	0.029047	7.2564
4	0.009	2.2483
5	0.00213	0.53222
6	0.000908	0.22678
7	0.000445	0.11105
8	0.000217	0.054245

9 0.000125 0.031197

Anexo 9

Resultados del Análisis Discriminante realizado con las tres familias (Vespertilionidae, Molossidae y Emballonuridae), a) valores absolutos de correlación entre cada una de las variables y las funciones discriminantes, b) resultados de la clasificación, donde se observa que el 97.14 % de las especies están clasificados correctamente, tanto *a priori* como la clasificación con el AD.

Tabla a. valores absolutos de correlación entre cada una de las variables y las funciones discriminantes (1 y 2).

A	1	2
Fstart	0,374944	-0,155777
Fend	0,311	-0,114181
Fpmin	0,400801	-0,0903193
Fpmax	0,543709	-0,118744
Fpmean	0,293687	-0,139219
Fppeak	0,514707	-0,0164776
Duración	0,0445339	1,01763
Intervalo	0,237857	0,184463
Ancho de banda	0,386893	0,123727

Tabla b. Resultados de la clasificación

Actual Familias	Tamaño de Grupo	Predicho		
		Emballonuridae	Molossidae	Vespertilionidae
Emballonuridae	10	9 (90,00%)	0 (0,00%)	1 (10,00%)
Molossidae	36	0 (0,00%)	36 (100,00%)	0 (0,00%)
Vespertilionidae	59	2 (3,39%)	0 (0,00%)	57 (96,61%)

Anexo 10

Resultados prueba T - student para la especie *M. albescens* registrada en las localidades de Puerres y La Llanada, para cada una de las variables en donde el P – valor >0.05 indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos localidades.

Resultados de la prueba T - student para la variable Frecuencia inicial. P - valor >0.05 (no existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para la especie M. albescens registrada en las dos localidades.

Fstart:Llanada		Fstart Puerres	
N:	20	N:	10
Mean:	15,735	Mean:	1,578
95% conf.:	(1,5619 1,585)	95% conf.:	(1,5653 1,5908)
Variance:	0,00061111	Variance:	0,0003171

Difference between means:	0,0045852		
95% conf. interval (parametric):	(-0,013447		
	0,022617)		
95% conf. interval (bootstrap):	(-0,010954		
	0,018929)		
t :	-0,52088	p (same mean):	0,60655
Uneq. var. t :	-0,58109	p (same mean):	0,56658
Monte Carlo permutation:	p (same mean):		0,6171

Resultados de la prueba U de Mann-Whitn para la variable Frecuencia final. P - valor >0.05 (no existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para la especie M. albescens registrada en las dos localidades.

Fend:Llanada	Fend: Puerres		
N:	20	N:	10
Mean rank:	10,8	Mean rank:	4,7
Mann-Whitn U :	86		
z :	-0,59392	p (same med.):	0,55257
Monte Carlo permutation:	p (same med.):		0,5658

Resultados de la prueba U de Mann-Whitn para la variable Frecuencia mínima. P - valor >0.05 (no existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para la especie M. albescens registrada en las dos localidades.

Fpmin:Llanada		Fpmin: Puerres	
N:	20	N:	10
Mean rank:	11,2	Mean rank:	4,3
Mann-Whitn U :	74		
z :	-11,223	p (same med.):	0,26171
Monte Carlo permutation:	Carlo p (same med.):		0,2671

Resultados de la prueba *T* - student para la variable Frecuencia máxima. *P* - valor >0.05 (no existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para la especie *M. albescens* registrada en las dos localidades).

Fpmax:Llanada		Fpmax:Puerres	
N:	20	N:	10
Mean:	18,184	Mean:	18,258
95% conf.:	(1,799 1,8378)	95% conf.:	(1,781 1,8706)
Variance:	0,0017215	Variance:	0,003922
Difference between means:	0,0073779		
95% conf. interval (parametric):	(-0,031721 0,046476)		
95% conf. interval (bootstrap):	(-0,034532 0,046978)		
t :	-0,38653	p (same mean):	0,70202
Uneq. var. t :	-0,33736	p (same mean):	0,7412

mean):

Monte Carlo permutation: p (same mean): 0,7116

Resultados de la prueba T - student para la variable Frecuencia media. P - valor >0.05 (no existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para la especie M. albescens registrada en las dos localidades.

Fpmean:Llanada		Fpmean:Puerres	
N:	20	N:	10
Mean:	17,807	Mean:	17,721
95% conf.:	(1,7613 1,8002)	95% conf.:	(1,7498 1,7944)
Variance:	0,0017333	Variance:	0,00097374
Difference between means:	0,0086126		
95% conf. interval (parametric):	(-0,022002 0,039227)		
95% conf. interval (bootstrap):	(-0,016133 0,034623)		
t :	0,57626	p (same mean):	0,56904
Uneq. var. t :	0,63487	p (same mean):	0,53168
Monte Carlo permutation:	p (same mean):		0,5701

Resultados de la prueba U de Mann-Whitn para la variable Frecuencia pico. P - valor >0.05 (no existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para la especie M. albescens registrada en las dos localidades.

Fppeak:Llanada		Fppeak:Puerres	
N:	20	N:	10
Mean rank:	11,067	Mean rank:	44,333
Mann-Whitn U :	78		
z :	-0,94598	p (same med.):	0,34416
Monte Carlo permutation:		p (same med.):	0,3455

Resultados de la prueba U de Mann-Whitn para la variable Duración. P - valor >0.05 (no existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para la especie M. albescens registrada en las dos localidades.

Duración Llanada		Duración Puerres	
N:	20	N:	10
Mean rank:	10,833	Mean rank:	46,667
Mann-Whitn U :	85		
z :	-0,63791	p (same med.):	0,52353
Monte Carlo permutation:		p (same med.):	0,5358

Resultados de la prueba U de Mann-Whitn para la variable intervalo. P - valor >0.05 (no existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para la especie M. albescens registrada en las dos localidades.

Intervalo Llanada		Intervalo Puerres	
N:	20	N:	10
Mean rank:	10,1	Mean rank:	5,4

Mann-Whitn U :	93		
z :	-0,28596	p (same med.):	0,77491
Monte Carlo permutation:	p (same med.):		0,7749

Resultados de la prueba T - student para la variable Ancho de banda. P - valor >0.05 (no existen diferencias significativas entre las medias de la variable frecuencia inicial para la especie M. albescens registrada en las dos localidades.

Ancho de banda Llanada	Ancho de banda Puerres		
N:	20	N:	10
Mean:	18,828	Mean:	18,606
95% conf.:	(1,8743 1,8913)	95% conf.:	(1,8222 1,899)
Variance:	0,00032849	Variance:	0,0028793
Difference means:	between 0,02219		
95% conf. (parametric):	interval (-0,0046946 0,049075)		
95% conf. (bootstrap):	interval (-0,012116 0,052653)		
t :	16,907	p (same mean):	0,102
Uneq. var. t :	1,272	p (same mean):	0,23206
Monte Carlo permutation:	p (same mean):		0,0984

Anexo 11

Resultados prueba T - student para la especie *M. molossus* registrada en las localidades de Taminango y Barbacoas, en donde la variable Frecuencia inicial presentó diferencias estadísticamente significativas (P – valor < 0.05).

Remolino	Barbacoas		
N:	12	N:	14
Mean:	13,194	Mean:	12,791
95% conf.:	(1,2894 1,3495)	95% conf.:	(1,254 1,3042)
Variance:	0,0022366	Variance:	0,0018873
Difference between means:	0,040318		
95% conf. interval (parametric):	(0,0035792 0,077056)		
95% conf. interval (bootstrap):	(0,0056499 0,073298)		
t :	2,265	p (same mean):	0,032824
Uneq. var. t :	22,496	p (same mean):	0,034504
Monte Carlo permutation:	p (same mean):		0,0285
Exact permutation:	p (same mean):		0,031658