

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LOS SONIDOS DE ECOLOCACIÓN
DE DOS ESPECIES DE MURCIÉLAGOS (MAMMALIA: CHIROPTERA)
PRESENTES EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA EL FRÍO, ESTADO DE APURE,
VENEZUELA.

LORENA ANDREA MARÍN CARVAJAL

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito parcial

Para optar por el título de

BIÓLOGA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOLOGÍA

Bogotá, D.C.

Julio de 2009

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la Verdad y la Justicia”.

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LOS SONIDOS DE ECOLOCACIÓN
DE DOS ESPECIES DE MURCIÉLAGOS (MAMMALIA: CHIROPTERA)
PRESENTES EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA EL FRÍO, ESTADO DE APURE,
VENEZUELA.

APROBADO

Ingrid Schuler, Ph.D.

Decana Académica

Andrea Forero

Carrera de Biología

A mis padres y hermana

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a los Doctores Antonio Guillén-Servent y Jairo Pérez-Torres por el apoyo, enseñanzas, consejos y guía durante la realización de este trabajo.

Agradezco a mis padres Blanca y Ernesto y a mi hermana Kmi por su apoyo, incondicionalidad y confianza a lo largo de toda mi vida.

A toda mi familia por los bellos momentos y por creer siempre en mí.

A mis amigos especialmente a Andrés, Laura, Mauricio y Paloma por su compañía y apoyo incondicional durante los momentos más difíciles.

A mis compañeros y amigos de carrera Nati, Mimia, Caro, Ani, Yoyi y Alejito por brindarme momentos de alegría, por compartir salidas de campo y horas de estudio.

A mis amigos Iván, Juan, Dani, Caro, Julián, Fabito, por los buenos tiempos.

Finalmente a mis compañeros de laboratorio, especialmente a Juli B., Jhon, Mauricio, Vero, Nata y a quienes no nombro por aguantar mis risas y mis conversaciones que nunca los dejaban trabajar.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	15
2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Generalidades del Orden Chiroptera.....	16
2.2 Sistema de Ecolocación	18
2.3 Detección de ultrasonidos e identificación de las especies emisoras.....	22
3. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	25
3.2 JUSTIFICACIÓN	25
4. OBJETIVOS	26
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
5. MATERIALES Y MÉTODOS	¡Error! Marcador no definido.
5.1 Diseño de la investigación	¡Error! Marcador no definido.
5.1.1 Población de estudio y muestra población de estudio.....	¡Error! Marcador no definido.
5.1.2 Variables de estudio	¡Error! Marcador no definido.
5.1.3 Área de estudio	¡Error! Marcador no definido.
5.2 Métodos.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2.1 Grabación de individuos en campo.....	¡Error! Marcador no definido.
5.3 Recolección de la información.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4 Análisis	¡Error! Marcador no definido.
5.4.1 Tratamiento de datos.....	¡Error! Marcador no definido.
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
8. CONCLUSIONES	54
8. RECOMENDACIONES	55
10. LITERATURA CITADA	56
8. ANEXOS	65

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Componentes de un pulso ecolocador a) elementos de frecuencia modulada FM b) elementos de frecuencia constante CM-FM. (Modificado de Moss & Sinha 2003). 19
- Figura 2. Fases de una secuencia ecolocadora de *Eptesicus fuscus* a) Fase de búsqueda b) Fase de aproximación y c) Fase terminal o buzz de captura (Modificado de Moss & Sinha 2003). 21
- Figura 3. Pulsos característicos de la Familia Vespertilionidae a) Componente de frecuencia modulada, amplia banda de frecuencias b) Barrido descendente c) Corta duración. Donde M.myo.= *Myotis myotis*, M. bly.= *Myotis blythii*, M.cap.= *Myotis capaccinii*, M. dau.= *Myotis daubentonii*, M. mys.= *Myotis mystacinus*, M. ema.= *Myotis emarginatus*, M. nat.= *Myotis nattereri* (Modificado de Russo & Jones 2002). 21
- Figura 4. Pulsos característicos de la Familia Molossidae a) Frecuencias bajas y medias (19-45 kHz)b) Segmento de banda estrecha y larga duración. Presentan variabilidad en tipos de pulsos con componentes de frecuencia modulada incorporados. (Modificada de Russo & Jones 2002). 22
- Figura 5. Espectrograma (KHz vs. ms), la figura muestra cada una de las variables que se miden en esta herramienta del programa, las variables que se señalan con línea continua se miden en KHz (Kilohertzios) y las que se señalan con línea punteada en ms (milisegundos). a) Frecuencia Inicial (FINI) b) Frecuencia final (FFIN) c) Frecuencia a mitad del tiempo (F(t/2)) d) Duración total (DURA) e) Intermedio entre pulso y pulso (INTER). **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6. Espectro de poder (db vs. KHz), la figura muestra cada una de las 3 variables que se miden con esta herramienta, las líneas continuas indican la medida de la variable en KHz (Kilohertzios). a) Frecuencia a máxima amplitud (FMAXAM) b) Frecuencia mínima a -20 decibelios (FMIN (-20db) y c) Frecuencia máxima a -20 decibelios (FMAX (-20db)). **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7. Área de estudio **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 8. Representación gráfica de los valores de las variables derivadas Máxima de la Frecuencia Final (MAXFFIN) sobre Mínima de la Frecuencia Final (MINFFIN) del Grupo *Molossus*. 40
- Figura 9. Representación gráfica de los valores medios de las variables Frecuencia a Máxima Amplitud (mFMAXAM) sobre Frecuencia Final (mFFIN) del Grupo *Molossus*. 40

Figura 10. Representación gráfica de los valores medios de las variables derivadas Diferencia con la Frecuencia Anterior (mDIFANT) sobre la Mínima de la Frecuencia Final (MINFFIN) del Grupo <i>Molossus</i>	41
Figura 11. Representación gráfica de los valores medios de las variables Frecuencia Final (mFFIN) sobre la Duración en milisegundos del Grupo <i>Myotis</i>	41
Figura 12. Representación gráfica de los valores medios de las variables Frecuencia Final (mFFIN) sobre los valores medios del Intervalo del Grupo <i>Myotis</i>	41

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Síntesis de medianas y promedios de las variables medidas en cada una de las secuencias asignadas a la Familia Vespertilionidae, donde mINTER= mediana del intermedio entre pulsos, pDURA= promedio de la duración de cada secuencia, pFINI= frecuencia inicial, pFFIN= frecuencia final, pF(T/2)= frecuencia a mitad del tiempo, pFMAXAM= frecuencia a máxima amplitud, pFMIN-20= frecuencia mínima a -20 db y pFMAX-15= frecuencia máxima a -15 db. 39
- Tabla 2. Síntesis de los promedios y valores de las variables derivadas para cada una de las secuencias asignadas a la Familia Vespertilionidae, donde pDIFFREQANT= promedio de la diferencia con la frecuencia anterior, pANCHO =ancho de banda, pANCHOB -20= ancho de banda a -20 db, MAXFFIN= valor máximo de la frecuencia final, MINFFIN= valor mínimo de la frecuencia final, DIFFIN= diferencia entre el valor máximo y mínimo de la frecuencia final y SEC= Secuencia..... 41
- Tabla 3. Síntesis de medianas y promedios de las variables medidas en cada una de las secuencias asignadas a la Familia Molossidae, donde SEC= Secuencia, mINTER= mediana del intermedio entre pulsos, pDURA= promedio de la duración de cada secuencia, pFINI= frecuencia inicial, pFFIN= frecuencia final, pF(T/2)= frecuencia a mitad del tiempo, pFMAXAM= frecuencia a máxima amplitud, pFMIN-20= frecuencia mínima a -20 db, pFMAX-15= frecuencia máxima a -15 db y pFTOP= de la frecuencia tope. 47
- Tabla 4. Síntesis de los promedios y valores de las variables derivadas para cada una de las secuencias asignadas a la Familia Molossidae, donde SEC= Secuencia, pDIFFREQANT= promedio de la diferencia con la frecuencia anterior, pANCHO= ancho de banda, pANCHOB -20= ancho de banda a -20 db, MAXFFIN= valor máximo de la frecuencia final, MINFFIN= valor mínimo de la frecuencia final, DIFFIN= diferencia entre el valor máximo y mínimo de la frecuencia final. 48
- Tabla 5. Síntesis de medianas y promedios de las variables medidas en cada una de las secuencias no identificadas, donde SEC= Secuencia, mINTER= mediana del intermedio entre pulsos, pDURA= promedio de la duración de cada secuencia, pFINI= frecuencia inicial, pFFIN= frecuencia final, pF(T/2)= frecuencia a mitad del tiempo, pFMAXAM= frecuencia a máxima amplitud, pFMIN-20= frecuencia mínima a -20 db, pFMAX-15= frecuencia máxima a -15 db y pFTOP= de la frecuencia tope. 53
- Tabla 6. Síntesis de los promedios y valores de las variables derivadas para cada una de las secuencias no identificada, donde pDIFFREQANT= promedio de la

diferencia con la frecuencia anterior, pANCHO =ancho de banda, pANCHOB -
20= ancho de banda a -20 db, MAXFFIN= valor máximo de la frecuencia final,
MINFFIN= valor mínimo de la frecuencia final, DIFFIN= diferencia entre el
valor máximo y mínimo de la frecuencia final. 53

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1. Formato de consignación de datos por especie	65
Anexo 2. Variables derivadas en cada pulso.....	65

Resumen

El uso de la detección acústica ha demostrado ser un complemento altamente efectivo para detectar muchas de las especies de insectívoros que generalmente están subrepresentadas en los inventarios realizados en campo basados en las capturas con redes de niebla. El sistema de ecolocación se basa en señales que son relativamente estereotipadas a nivel intraespecífico, pero diversas en la estructura espectral y temporal entre las especies. Por esta razón la detección y caracterización y descripción de estas señales a través de detectores ultrasónicos puede ser útil para la identificación de las especies que habitan diferentes ambientes.

En este trabajo se realizó una aproximación a la caracterización de los sonidos de ecolocación de una especie de Vespertiliónido y una especie de Molósidos presentes en la Estación Biológica El Frío (Estado de Apure, Venezuela). Se obtuvieron las variables generales de caracterización de los pulsos agrupando los datos en dos grupos generales, los potencialmente pertenecientes a la Familia Vespertilionidae y a la Familia Molossidae a partir de los cuales se estableció la identidad de las especies y la descripción de los sonidos. En algunos casos los datos no fueron suficientes para hacer comparaciones entre grupos por lo tanto no se tuvieron en cuenta para el análisis final.

Palabras clave: Molossus, Molossidae, Myotis, Sonidos de ecolocación, Variables generales, Vespertilionidae

Abstract

The use of acoustic detection has proven to be a highly effective for many species of insect that are generally underrepresented in the field-based inventories in catches with mist nets. The echolocation system relies on signals that are relatively stereotyped at an intraspecific level, but different in temporal and spectral structure between species, for this reason the detection and characterization and description of these signals through ultrasonic sensors can be used for species identification inhabiting different environments.

In this paper we make an approach to the characterization of the echolocation sounds of one species of vespertilionid and one species of molossids in Estación Biológica El Frío (Estado de Apure, Venezuela). Variables of general characterization the pulse were obtained and they group the data into two broad groups the Vespertilionidae and the Molossidae from which established the identity of the species and description of sounds. In some cases the data were insufficient to make comparisons between groups is thus not taken into account in the final analysis.

Key words: Echolocation sounds, General variables, Molossus, Molossidae, Myotis, Vespertilionidae

1. INTRODUCCIÓN

La evolución y desarrollo del sistema de ecolocación fue probablemente un proceso fundamental para la diversificación evolutiva de varios linajes del Orden Chiroptera (Arita & Fenton 1997). Actualmente la mayoría de las cerca de 930 especies de microquirópteros (Simmons 2005) se alimentan de insectos que detectan utilizando este sistema (Miller & Surlykke 2001 y Schnitzler & Kalko 2001).

En el Neotrópico las comunidades de murciélagos son particularmente diversas y tradicionalmente se han monitoreado mediante el uso de redes de niebla. Sin embargo este método es relativamente ineficiente en el caso de insectívoros aéreos, particularmente en vespertiliónidos y molósidos (Rydell *et al.* 2002). El uso de los detectores ultrasónicos constituye una herramienta muy importante para el estudio de los murciélagos insectívoros. Esto gracias a que el sistema de ecolocación se basa en señales que son relativamente estereotipadas a nivel intraespecífico, pero diversas en la estructura espectral y temporal entre las especies (Altringham 1996 y Guillén-Servent & Ibáñez 2007). Por esta razón la detección de estas señales a través de detectores ultrasónicos y su posterior caracterización puede servir para la identificación de las especies que habitan diferentes ambientes (Altringham 1996 y Guillén-Servent & Ibáñez 2007).

La posibilidad de identificar a los murciélagos en vuelo permite a su vez profundizar en estudios sobre distribución, períodos y áreas de actividad y uso del hábitat, lo cual puede contribuir al conocimiento de los requerimientos ecológicos de los murciélagos así como la posible identificación de las necesidades de conservación, entre otras (Kunz & Brock 1975, Fenton 1988, Fenton 1995, Mills *et al.* 1996, O'Farrell & Gannon 1999; Miller 2001 y Macías *et al.* 2006).

En el caso específico de este trabajo, se pretende realizar una caracterización de los sonidos de ecolocación de algunas especies de las Familia Vespertilionidae y Molossidae presentes en la Estación Biológica El Frío, ubicada en el Estado de Apure, Venezuela.

La Estación Biológica El Frío es importante en términos de conservación; en este lugar se llevan a cabo permanentemente programas de conservación, investigación y educación ambiental entre otros ya que es un importante reservorio de fauna en Venezuela encontrándose protegidas en sus límites numerosas especies de mamíferos en peligro de extinción. (<http://www.elfrioeb.com/espagnol/index.htm>).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades del Orden Chiroptera

El Orden Chiroptera, cuenta con aproximadamente 1140 especies distribuidas en dos Subórdenes, Megachiroptera y Microchiroptera (Simmons 2005). Es ecológicamente más diverso que cualquier otro grupo de mamíferos. Numerosas adaptaciones de tipo morfológico, fisiológico y etológico les permiten el acceso a un amplio rango de hábitats y recursos, generalmente durante la noche (Arita & Fenton 1997, Dechmann & Safi 2005 y Schnitzler & Kalko 2001).

Los murciélagos del neotrópico presentan un amplio rango de hábitos alimentarios, los cuales son casi tan variados como los de todos los mamíferos en general. Esta diversidad y lo numeroso de sus especies permite que sean clasificados dentro de los diferentes gremios, tales como insectívoros, frugívoros, nectarívoros, carnívoros, piscívoros y hematófagos; entendiendo por gremio un grupo de especies que explota el mismo recurso de forma similar (Blondel 2003 y Soriano 2000).

Los murciélagos insectívoros (alimentación a base de insectos y otros artrópodos) forman un grupo muy diverso, aproximadamente 800 especies, que representan alrededor del 70% del total del orden (Altringham 1996 y Carmel & Safriel 1998). Soriano (2000) y otros autores los han clasificado dentro de dos subgrupos funcionales: los denominados insectívoros aéreos, quienes capturan a sus presas durante el vuelo, y los recolectores de follaje quienes detectan y capturan a sus presas en las hojas de los árboles o en el suelo. Sin embargo, podría añadirse un tercer grupo funcional, el de aquellos que capturan preferentemente presas que reposan sobre la

superficie del agua, a los cuales, por analogía con el sistema de pesca de arrastre, se podría denominar insectívoros “de arrastre”.

En Venezuela, particularmente, este Orden esta representado por 154 especies distribuidas en 10 familias y 57 géneros, siendo el grupo más diverso de los mamíferos de este país (Linares 1998). De las nueve familias de quirópteros presentes en el Neotrópico, ocho tienen hábitos alimentarios principalmente insectívoros. Tan sólo dos de ellas, Vespertilionidae y Molossidae, presentan una distribución geográfica que se extiende ampliamente, más allá de los límites tropicales en Norte y Sur América, incluyendo a Venezuela (Soriano 2000).

La familia Vespertilionidae (Gray 1821) con 407 especies distribuidas en 49 géneros se constituye como la más grande en número y de más amplia distribución a nivel mundial. En el Neotrópico están presentes 12 géneros de los cuales 5 están reportados para la fauna Venezolana (Linares 1998).

Los miembros de esta familia están presentes en diferentes rangos de hábitats desde bosques altos hasta zonas áridas (LaVal & Rodríguez 2002 y Aguirre 2007). Son en su mayoría insectívoros aéreos, aunque algunos se alimentan en el follaje. En general son de tamaño pequeño a mediano y en etapa adulta llegan a pesar entre 4 y 50 g. Las orejas tienden a ser puntiagudas pero simples. Todos presentan cola y uropatagio largo. Generalmente perchan en cualquier sitio disponible especialmente árboles huecos, cuevas e incluso edificios abandonados (LaVal & Rodríguez 2002 y Aguirre 2007).

Son fácilmente detectables por detectores ultrasónicos (LaVal & Rodríguez 2002 y Aguirre 2007).

A su vez, la familia Molossidae (Gervais 1856) incluye actualmente 100 especies distribuidas en 16 géneros (Simmons 2005). Esta familia posee una amplia distribución mundial y dentro de la fauna venezolana están representados 7 géneros (Linares 1998). Son insectívoros aéreos que forrajean generalmente por encima de

dosel del bosque, donde fácilmente son detectados por detectores ultrasónicos (LaVal & Rodriguez 2002).

Una de las características morfológicas más sobresalientes de la Familia Molossidae es la proyección de la cola fuera del borde libre de la angosta membrana caudal. El pelo es de tamaño variable, con textura de terciopelo y tiene una coloración usualmente café, gris o negra (LaVal & Rodriguez 2002 y Aguirre 2007).

Los miembros de esta familia desarrollaron ciertas adaptaciones en las alas que no les permiten habitar ambientes boscosos; sin embargo vuelan a gran velocidad alcanzando grandes alturas en zonas abiertas (Linares 1998).

2.2 Sistema de Ecolocación

La ecolocación, o uso de un sistema de sonar activo para navegar en el espacio y adquirir presas, es una de las adaptaciones que ha permitido a los murciélagos ser un grupo tan exitoso dentro de los mamíferos; evolucionando como un sistema de orientación más eficiente que la visión en condiciones de poca iluminación (Behrend & Schuller 2000, Fenton 1994 y Schnitzler & Kalko 2001). Los ultrasonidos utilizados por los microquirópteros en el sistema de ecolocación son generados en la laringe y emitidos a través de la boca o fosas nasales (Elliott 1998).

Cada uno de los sonidos emergentes es registrado instantáneamente en el cerebro del animal para su posterior comparación con los ecos retornantes. Los ecos son utilizados para detectar, clasificar y rastrear los objetos reflejados, presas en el caso de los murciélagos insectívoros. Mediante este sistema, el murciélago determina su posición relativa dentro del ambiente que produce los ecos, obteniendo información acerca de la estructura del espacio en el que vuela (Fenton 1994, Elliott 1998, Schnitzler & Kalko 2001 y Guillén-Servent & Ibáñez 2007).

Componentes de un pulso ecolocador

Los pulsos de ecolocación para todas las especies ecolocadoras están en general compuestos de dos tipos de elementos: 1) los elementos de frecuencia modulada (FM) los cuales se caracterizan por el cambio de la frecuencia en el tiempo; generalmente presentan anchos de banda del orden de varias decenas de kilohertzios (Figura 1a) y 2) elementos de frecuencia constante (FC) o banda estrecha; estos pulsos se caracterizan por no variar la frecuencia a lo largo del tiempo (Figura 1b). Son apropiados para la efectiva detección de ecos, además de clasificación de las presas (insectos). Sin embargo presentan poca efectividad en la localización de estos. (Altriingham 1996, Arita & Fenton 1997, Schnitzler & Kalko 2001 y Moss & Sinha 2003).



Figura 1. Componentes de un pulso ecolocador a) elementos de frecuencia modulada FM b) elementos de frecuencia constante CM-FM. (Modificado de Moss & Sinha 2003).

La mayoría de los microquirópteros usan pulsos que consisten en combinaciones de estos dos tipos de elementos, algunos autores tales como Kalko y Schnitzler (1993) emplean en estos casos el término Frecuencia Cuasi constante (QFC) para describir los pulsos de este tipo.

Fases de una secuencia ecolocadora

Tradicionalmente el comportamiento ecolocador asociado al forrajeo se divide en tres estados o fases: de búsqueda, de aproximación y terminal o buzz de captura. Estos reflejan los cambios en las necesidades sensoriales de los murciélagos a lo largo del comportamiento de forrajeo (Griffin 1958, Barclay 1986 y Kalko & Schnitzler 1998).

Durante la fase de búsqueda el murciélago emite sonidos de ecolocación en una tasa de repetición uniforme, lo cual permite detectar tanto presas potenciales como obstáculos en el camino (Figura 2a) (Schnitzler & Kalko 1998).

En la fase de aproximación, después de la detección de una presa, la distancia y el tiempo entre el pulso y el eco se acorta de forma progresiva, ya que la distancia entre el emisor y la presa también se va reduciendo. Esto requiere que se reduzca la duración entre los pulsos para evitar la superposición entre pulso y eco. El murciélago entonces, precisa más información acerca de la zona por la que vuela la presa, por lo que también la velocidad de emisión de pulsos se acelera progresivamente (Figura 2b) (Altringham 1996, y Schnitzler & Kalko 1998).

Finalmente la fase terminal o buzz de captura se refiere a la rápida serie de pulsos producidos cuando el murciélago ataca finalmente a un insecto para capturarlo. Los pulsos pueden ser emitidos a tasas de repetición de más de 200 hz y cada uno de ellos puede durar una fracción de milisegundo. Asimismo, durante esta fase la amplitud de la banda de los pulsos aumenta, lo cual se consigue incrementando el intervalo de frecuencias barridas sobre el armónico fundamental o mediante la introducción de armónicos adicionales (Figura 2c) (Griffin 1958 y Altringham 1996).

En lo que respecta al uso de los llamados de ecolocación para el reconocimiento de especies en condiciones naturales así como para la caracterización y descripción de los pulsos como tal, la fase de búsqueda parece ser la de mayor utilidad, ya que constituye 90% del tiempo de emisión y sus pulsos tienen características más estables (Fenton & Bell 1981, Fenton 1982, Fenton 1995 y Parsons 1997).

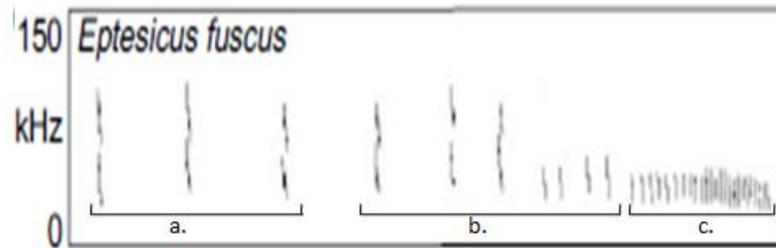


Figura 2. Fases de una secuencia ecolocadora de *Eptesicus fuscus* a) Fase de búsqueda b) Fase de aproximación y c) Fase terminal o buzz de captura (Modificado de Moss & Sinha 2003).

Los pulsos de ecolocación de los miembros de la familia Vespertilionidae se caracterizan en general por presentar un componente de frecuencia modulada, con un barrido descendente, una amplia banda de frecuencias y corta duración. Al final de los pulsos se puede encontrar un componente corto de banda estrecha (Figura 3).

Los pulsos presentan formas curvilíneas debido a que la modulación del periodo es aproximadamente lineal con respecto al tiempo.

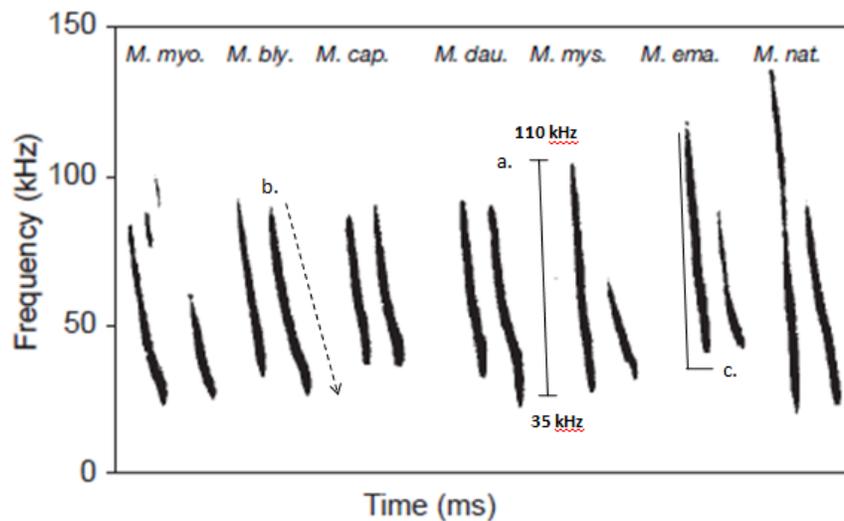


Figura 3. Pulsos característicos de la Familia Vespertilionidae a) Componente de frecuencia modulada, amplia banda de frecuencias b) Barrido descendente c) Corta duración. Donde M.myo.= *Myotis myotis*, M. bly.= *Myotis blythii*, M.cap.= *Myotis capaccinii*, M. dau.= *Myotis daubentonii*, M. mys.= *Myotis mystacinus*, M. ema.= *Myotis emarginatus*, M. nat.= *Myotis nattereri* (Modificado de Russo & Jones 2002).

Los murciélagos de la familia Molossidae presentan llamados de ecolocación de mayor complejidad. En general estas especies emiten sus llamados en un amplio intervalo de frecuencias, que pueden variar de pulso a pulso. La forma de los mismos presenta gran variabilidad dependiendo de la distancia a la que se encuentran del objetivo y/o de las circunstancias de vuelo. Dentro de esta variabilidad, sin embargo se pudieron determinar ciertos patrones que siguen las emisiones de las diferentes especies. En general los molósidos presentan sonidos de frecuencias bajas y medias (desde 19 hasta 45 kHz), emitidos a gran intensidad. Están compuestos, en todos los casos, por combinaciones de componentes de frecuencia modulada y de grandes segmentos de banda estrecha (Figura 4).

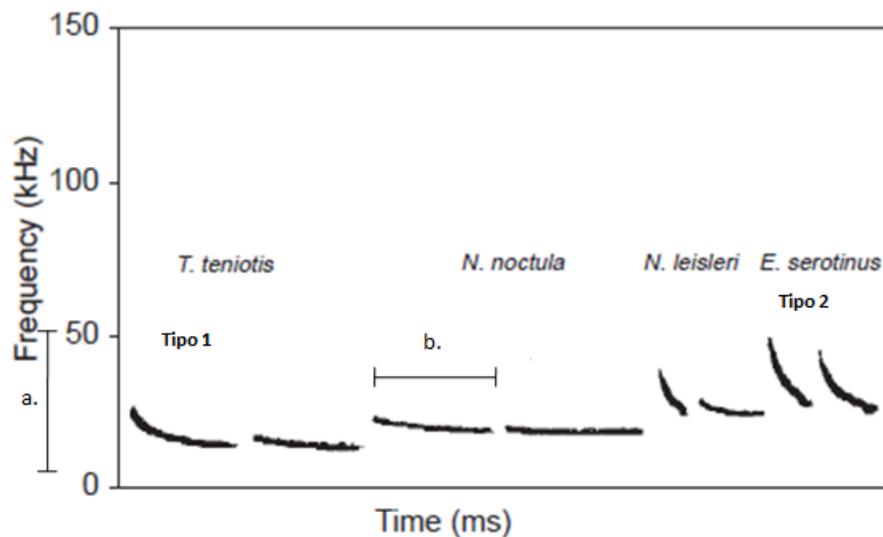


Figura 4. Pulsos característicos de la Familia Molossidae a) Frecuencias bajas y medias (19-45 kHz)b) Segmento de banda estrecha y larga duración. Presentan variabilidad en tipos de pulsos con componentes de frecuencia modulada incorporados. (Modificada de Russo & Jones 2002).

2.3 Detección de ultrasonidos e identificación de las especies emisoras

Los equipos necesarios para la transformación de los ultrasonidos emitidos por numerosas especies de murciélagos, especialmente insectívoros, a frecuencias

audibles para los humanos han estado disponibles desde hace aproximadamente 70 años y se usaron por primera vez por Pierce y Griffin en el año 1938 para estudiar los llamados de ecolocación de murciélagos (Vaughan *et al.* 1997). Durante el año de 1953 Griffin realizó en Panamá, las primeras investigaciones en ecolocación del Neotrópico (Parsons *et al.* 2000). La técnica acústica se ha caracterizado en las últimas décadas por sus avances tecnológicos, lo que ha permitido que un gran número de autores expertos en el tema haya realizado publicaciones al respecto (Parsons *et al.* 2000).

Fenton y Bell (1981) sugirieron que ciertas especies se podían identificar a partir de las características de los pulsos de ecolocación emitidos en condiciones naturales. Desde entonces se han dado a conocer numerosas publicaciones en las que se describen, a nivel de especie, las señales de ecolocación. Ejemplo de ello son los trabajos de Rydell (1990 y 1993); Ibañez *et al.* (1999), Kössl *et al.* (1999), Waters *et al.* (1995) y Fenton *et al.* (1998). Otros trabajos además han utilizado estas descripciones para facilitar la identificación en campo de las especies (Fenton & Bell 1981, Audet *et al.* 1993, Parsons 1997, Parsons *et al.* 1997, O'Farrell *et al.* 1999).

Otro tipo de descripciones que se encuentran en la bibliografía se han realizado a nivel de comunidades, estos estudios tienen como fin el inventario de especies a partir del reconocimiento de estas mediante los llamados de ecolocación (Fenton 1982, Fenton *et al.* 1983, Kalko 1995, O'Farrell & Miller 1997 y O'Farrell *et al.* 1999). Trabajos como los de Aldridge & Rautenbach (1987), Norberg y Rayner (1987), Hickey *et al.* (1996), Crome y Richards (1998) y Bogdanowicz *et al.* (1999), reportaron características de los sonidos de ecolocación de diversas especies como resultado previo al objetivo de examinar las relaciones existentes entre el sistema de ecolocación, uso de hábitat y características morfológicas a fin de encontrar patrones en el ensamblaje de especies lo que explicaría la diversidad y la repartición de recursos entre ellas.

A pesar de la utilidad que constituye el uso de detectores acústicos para el estudio ecológico de los murciélagos insectívoros se han realizado estudios en los que se da a conocer los limitantes, ventajas y desventajas que existen al llevar a cabo la identificación de especies en campo (Thomas *et al.* 1987, Barclay 1999 y Parsons *et al.* 2000). Ejemplo de ello son varios estudios realizados que han establecido que no todas las especies son igualmente detectables por detectores ultrasónicos ya que estas utilizan pulsos ecolocadores de baja intensidad (Griffin 1958), mientras que otras vuelan a grandes alturas, por encima del rango de los detectores (Barclay 1999).

Debido a esto y como ha indicado O'Farrell *et al.* (1999) existe un margen de error al realizar identificación de especies a través de las secuencias ecolocadoras. Al realizar pruebas de error los autores encontraron que el rango no era muy superior al 5%. Sin embargo este nivel de error tradicionalmente es aceptable en análisis estadísticos (Barclay 1999). Sin embargo se conoce que las tasas de error varían dependiendo de la especie estudiada. En los casos en los cuales el margen de error supera los límites establecidos y múltiples especies son tan similares que no es posible asignarlas de manera confiable a una u otra especie se opta por utilizar grupos de especies (Rhodes & Hall 1997 y Barclay 1999).

Criterios de descripción

Como se mencionó anteriormente los pulsos ecolocadores utilizados y conocidos en especies de microquirópteros presentan patrones prevalentes de estructuras en Frecuencia vs. Tiempo, basados en elementos de frecuencia constante (FC) y frecuencia modulada (FM). Aunque estos elementos, presentes en los pulsos ecolocadores de las diferentes especies se podrían usar para caracterizar, identificar y determinar las llamadas de ecolocación de los murciélagos, estos no necesariamente describen en su totalidad el uso de las llamadas de ecolocación bajo condiciones naturales (Fenton & Bell 1981).

Las frecuencias (iniciales y finales del pulso) y la duración (total del pulso) son los caracteres más útiles para la identificación de especies en su fase de búsqueda ya que

incluyen parámetros fácilmente cuantificables, mientras que las diferencias de los patrones de Frecuencia vs. Tiempo (periodo) son más subjetivas (Fenton & Bell 1981).

3. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

3.1 PROBLEMA

A partir de muestreos conducidos por Ibañez en el año 1984 en la Estación Biológica El Frío (Estado de Apure, Venezuela) se determinó la poca efectividad del muestreo con redes de niebla, tanto para la estimación de las poblaciones de murciélagos insectívoros aéreos, como para la identificación y registro de especies en diferentes tipos de hábitats.

El uso de la detección acústica ha demostrado ser un complemento altamente efectivo para detectar muchas de las especies de insectívoros que generalmente están subrepresentadas en los inventarios en campo basados en capturas con redes de niebla, esto debido principalmente a que estos animales realizan el forrajeo a grandes alturas (Miller 2001 y Macías *et al.* 2006).

A pesar de su eficiencia, el uso de las llamadas de ecolocación para conducir inventarios de murciélagos insectívoros en el neotrópico se ha dificultado por el escaso conocimiento de los detalles de parámetros característicos y la variación de llamadas de ecolocación de la mayoría de las especies.

3.2 JUSTIFICACIÓN

Se entiende que el monitoreo efectivo de las llamadas de ecolocación es vital en muchos estudios acerca de la ecología y conservación de murciélagos. Se hace necesario entonces la descripción adecuada de las secuencias ecolocadoras de las

especies que se estudian (Kunz & Brock 1975, Fenton 1988, Fenton 1995, Mills 1996 y O'Farrell & Gannon 1999).

Por lo anterior es importante la realización de estudios que contribuyan al conocimiento de todos los referentes teóricos que implican la identificación y la caracterización de sonidos de ecolocación de murciélagos insectívoros durante el vuelo. Ya que no solo aportan al conocimiento de la zona en la cual se va a realizar este estudio, la cual es importante dentro del territorio venezolano ya que en esta se conducen estudios de conservación y se considera como un importante reservorio de fauna en este país, sino también son, bajo ciertos limitantes, al estudio general de los murciélagos insectívoros.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los pulsos de ecolocación emitidos por especies de murciélagos vespertiliónidos y molósidos de la Estación Biológica El Frío, Estado de Apure, Venezuela.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los pulsos de ecolocación de las especies de vespertiliónidos y molósidos presentes en la Estación Biológica El Frío (Estado de Apure, Venezuela).
- Obtener las variables generales de caracterización de los pulsos de ecolocación de las especies de vespertiliónidos y molósidos presentes en la Estación Biológica El Frío (Estado de Apure, Venezuela).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Diseño de la investigación

Este trabajo de grado tiene un diseño de investigación tipo descriptivo.

5.1.1 Población de estudio y muestra población de estudio

Para este trabajo se utilizaron los datos tomados del conjunto de murciélagos insectívoros que habitan zonas de la Estación Biológica El Frío, Estado de Apure, Venezuela.

Las muestras corresponden a cada una de las grabaciones que se analizaron en muestreos llevados a cabo por Antonio Guillén-Servent.

5.1.2 Variables de estudio

En cada una de las secuencias elegidas se tomaron medidas de diez (10) variables diferentes; estas variables se utilizaron para la aproximación inicial de las secuencias no identificadas

1. Intervalo (INTER): corresponde al intervalo entre pulso y pulso (ms); es decir al tiempo medido desde el principio del pulso actual hasta el principio del pulso anterior
2. Duración (DURA): duración total de cada pulso; tiempo en el que inicia y termina cada pulso (ms)
3. Frecuencia Inicial (FINI): valor de la frecuencia en el punto que se considera el inicio del pulso (KHz)
4. Frecuencia Final (FFIN): valor de la frecuencia en el punto en que se considera el termino del pulso (KHz)
5. Frecuencia media ($F(t/2)$): se considera como el punto en el que la duración se divide en dos (KHz)
6. Frecuencia a máxima amplitud (FMAXAM): frecuencia en el punto de máxima energía del pulso (KHz)

7. Frecuencia mínima a -20 decibeles (FMIN(-20db)): lectura del valor tomado 20 decibeles debajo de la frecuencia de máxima amplitud (KHz)
8. Frecuencia máxima a -20 decibeles (FMAX(-20db)): lectura del valor tomado 20 decibeles por encima de la frecuencia de máxima amplitud (KHz)
9. Máxima amplitud en el segundo armónico (MAXAM2): esta medida se tomará en los casos en los que se presente un segundo armónico (db)
10. Máxima amplitud en el tercer armónico (MAXAM3): esta medida se tomará en los casos en los que se presente un tercer armónico (db)

Para la medición de cada una de estas variables se utilizó el programa BatSound Pro (Versión 3.31B; Pettersson Elektronik AB). El programa cuenta, entre otras, con dos opciones de análisis de señales: 1) el espectrograma el cuál grafica la frecuencia contra el tiempo (KHz vs. ms) y muestra la amplitud de la señal en una escala de colores, en esta se medirán cinco (5) de las variables anteriormente mencionadas (INTER, DURA, FINI, FFIN, F (t/2)) (Figura 5) y 2) el espectro de poder que grafica el poder de la señal(amplitud) contra la frecuencia de la misma (db vs. KHz); en esta opción se medirán el resto de las variables (FMAXAM, FMIN (-20db), FMAX (-20db), MAXAM2, MAXAM3) (Figura 6) (Biscardi *et al.* 2004; Preatoni *et al.* 2005 y Guillén-Servent *Com. Per.*).

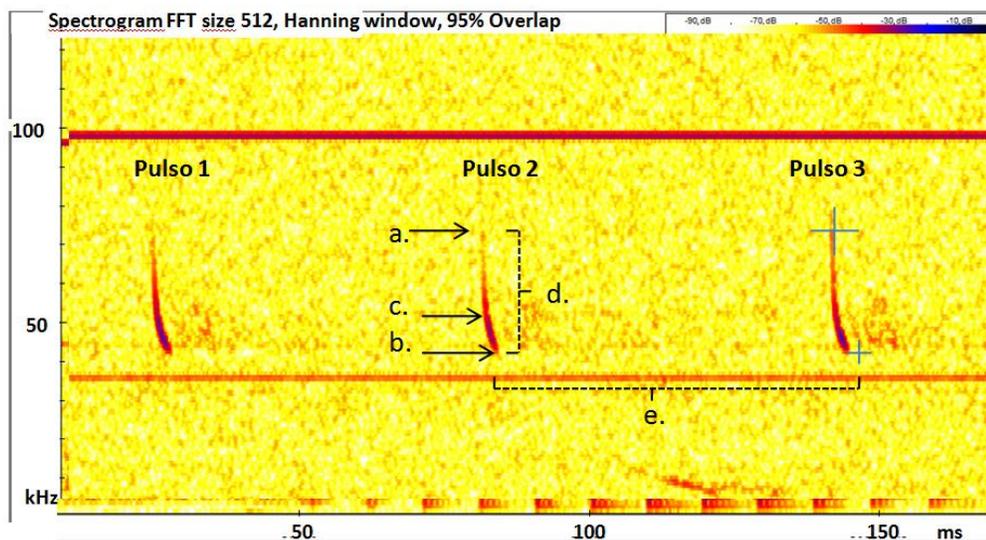


Figura 5. Espectrograma (KHz vs. ms), la figura muestra cada una de las variables que se miden en esta herramienta del programa, las variables que se señalan con línea continua se miden en KHz (Kilohertzios) y las que se señalan con línea punteada en ms (milisegundos). a) Frecuencia Inicial (FINI) b) Frecuencia final (FFIN) c) Frecuencia a mitad del tiempo (F(t/2)) d) Duración total (DURA) e) Intermedio entre pulso y pulso (INTER).

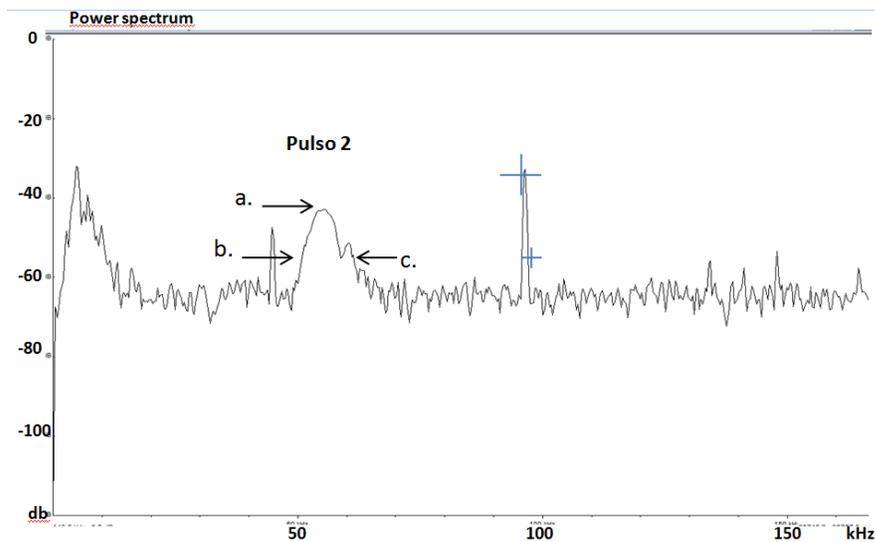


Figura 6. Espectro de poder (db vs. KHz), la figura muestra cada una de las 3 variables que se miden con esta herramienta, las líneas continuas indican la medida de la variable en KHz (Kilohertzios). a) Frecuencia a máxima amplitud (FMAXAM) b) Frecuencia mínima a -20 decibelios (FMIN (-20db) y c) Frecuencia máxima a -20 decibelios (FMAX (-20db)).

5.1.3 Área de estudio

La Estación Biológica El Frío esta ubicada dentro de los límites del Rancho Ganadero Hato El Frío el cual comprende un área de aproximadamente 80000 ha y esta localizado entre los asentamientos de El Samán y Mantecal (Estado de Apure, Venezuela). Su límite norte lo constituyen los cauces de los ríos Guaritico y Apure mientras que su límite sur el del río Caucagua (7°N 46'N, 68°57'W) (Figura 7). Presenta una altitud de 80-100m; con un macorelieve virtualmente plano con una inclinación de 0.02% hacia el Este (Braza *et al.* 1981, Barreto & Herrera 1998 y <http://www.birdlife.org>: acceso 12/2/2008).

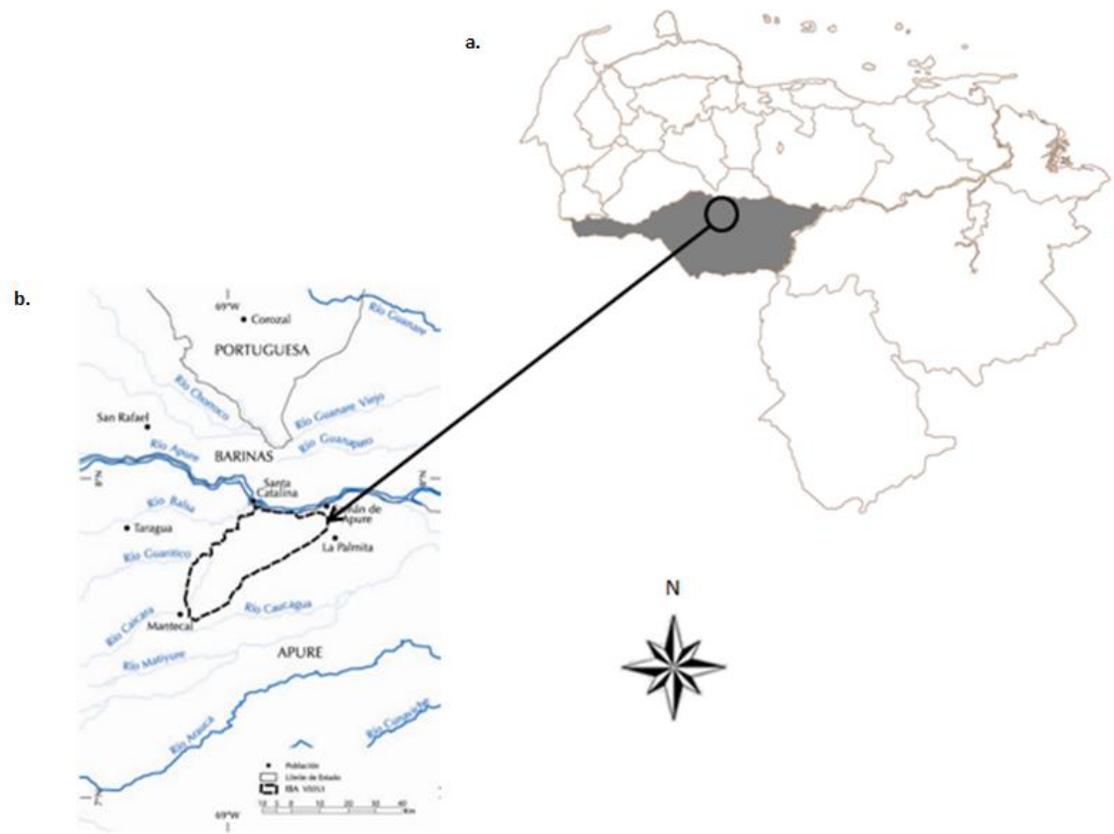


Figura 7. Área de estudio donde a. En gris el Estado de Apure, Venezuela y b. la línea punteada delimita la Estación Biológica El Frío (Modificado de www.birdlife.org y www.venciclopedia.com).

La región esta caracterizada por sabanas tropicales en una zona inundable sometida a un régimen estacional donde se presenta un periodo seco de Noviembre a Abril, caracterizado por la escasez extrema de agua; y un periodo de lluvias de Mayo a Octubre con una precipitación promedio anual de 1565mm. La temperatura promedio anual esta alrededor de los 27°C, siendo Abril el mes más cálido (29°C) y Junio el menos cálido (25,6°C). La humedad relativa promedio varía de 62% en Marzo a 85% en Julio y los vientos prevalentes provienen del este y noreste, con una velocidad promedio de 7km/h (Braza *et al.* 1981, Barreto & Herrera 1998 y <http://www.birdlife.org>: acceso 12/2/2008). La región comprende tres unidades fisiográficas, propias de la llanura aluvial; los esteros, bajíos y los bancos, con

vegetación propia de cada uno de ellos (Barreto & Herrera 1998 y <http://www.birdlife.org>: acceso 12/2/2008).

En la Estación se han realizado de manera combinada y con éxito programas de conservación, investigación, educación ambiental, y uso sostenible de los recursos naturales a través de ecoturismo y la ganadería tradicional. Estas actividades se han llevado a cabo desde el año 1974 bajo la supervisión de la ONG Asociación Amigos de Doñana (entidad sin ánimo de lucro), en colaboración con diferentes organismos internacionales como la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), el Comité Español del Programa Hombre y Biosfera (MAB) de la Unesco y Fundación La Salle.

La Estación Biológica El Frío es importante en términos de conservación ya que dentro de sus límites se encuentran bajo protección un conjunto de especies en peligro de extinción incluyendo mamíferos como la nutria gigante (*Pteronura brasiliensis*), el jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Felis concolor*) y el delfín de agua dulce (*Inia geoffrensis*). A su vez se encuentra una gran variedad de fauna; mamíferos dentro de los que se pueden mencionar chigüiros o capibaras (*Hydrochaeris hydrochaeris*), oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*) además de monos aulladores (*Alouatta sp.*); reptiles como el caimán del Orinoco (*Crocodylus intermedius*), anacondas entre otros, además de 300 especies de aves (<http://www.elfrioeb.com/espagnol/index.htm>).

5.2 Métodos

Los datos que se analizarán en este proyecto provienen del trabajo realizado en campo durante el año 2006 en la Estación Biológica El Frío, Estado de Apure, Venezuela, por Antonio Guillén-Servent. Ph.D.; investigador asociado del Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México.

5.2.1 Grabación de individuos en campo

Para este fin se utilizó un detector de ultrasonido U-30 conectado a una tarjeta digitalizadora de alta velocidad (DAQCard6062e, National Instruments), esta opera a una velocidad de muestreo de 333 KHz y se manejó mediante el programa Recorder V2.97 (Avisoft). Esta registró la grabación digital en el disco duro de una computadora portátil (Sony Vaio VNG-T350P); *in situ* se escogieron zonas potenciales de forrajeo de especies de murciélagos insectívoros para realizar recorridos.

Las grabaciones obtenidas fueron guardadas como archivos tipo WAV y fueron analizadas en el programa BatSound Pro (Versión 3.31B; Pettersson Elektronik AB, Uppsala, Sweden).

Cada una de estas secuencias aisladas correspondientes a la fase de búsqueda se describió mediante la medición de las variables anteriormente mencionadas, con el fin de establecer los parámetros definitorios para cada una de ellas.

5.3 Recolección de la información

La información que se utilizó para la elaboración de este trabajo de grado consistió en grabaciones hechas a individuos de dos familias dentro del Orden Chiroptera: Vespertilionidae y Molossidae. Los datos se tomaron fueron consignados en un formato en el programa Excel (Anexo 1) a partir de los cuales se realizó el análisis.

5.4 Análisis

5.4.1 Tratamiento de datos

Los datos se obtuvieron a partir de la medición de cada una de las variables por secuencia. Se entiende por secuencia al conjunto de pulsos analizados que permiten llevar a cabo la caracterización de cada especie. Cada secuencia consistirá en un conjunto de 10 pulsos aproximadamente, donde cada pulso es un sonido repetitivo emitido por el murciélago.

Para cada pulso de cada una de las secuencias se calcularon las siguientes variables derivadas:

1. Ancho de Banda (ANCHOBAN): corresponde a la diferencia entre la Frecuencia Inicial (FINI) y la Frecuencia Final (FFIN).
2. Ancho de Banda a -20 db (ANCHOBAN -20db): es la diferencia entre la Frecuencia Máxima a -20db (FMAX -20db) y la Frecuencia Mínima a -20 db (FMIN -20db).
3. Diferencia con la Frecuencia Anterior (DIFFREQANT): valor absoluto de la diferencia de la Frecuencia Final (FFIN) del pulso siguiente y la Frecuencia Final (FFIN) del pulso anterior.
4. Máxima de la Frecuencia Final (MAXFFIN): corresponde al valor máximo de las Frecuencias Finales (FFIN) de cada secuencia.
5. Mínima de la Frecuencia Final (MINFFIN): valor mínimo de las Frecuencias Finales (FFIN) de cada secuencia.
6. Diferencia Máximas y Mínimas (DIFFIN): corresponderá a la diferencia entre la máxima y la mínima de las Frecuencias Finales (FFIN) (Anexo 2).

Debido a que este trabajo es de tipo descriptivo solo se harán análisis con estadística descriptiva ya que los datos no son suficientes para realizar un análisis con resultados confiables.

Tanto a las medidas de las variables como a las variables derivadas se les calculó el promedio, a excepción del Intervalo (INTER) a la cual se le calculó la mediana.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un análisis exploratorio de las grabaciones con las que se contaba inicialmente para la realización de este trabajo arrojó un total de 14 DVD's que contenían 495 archivos

en formato WAV con aproximadamente 26.5 horas de grabación. Dada la magnitud del número de archivos y el poco tiempo con el que se contó para realizar el análisis total de los mismos se decidió tener en cuenta únicamente especies de las familias Vespertilionidae y Molossidae ya que de estas se contaba con la mayor cantidad de datos.

Para la selección, análisis y medición de secuencias se descartaron todos los sonidos que presentaron fases de aproximación y fase terminal o buzz de captura, así como sonidos sociales, con interferencias de ruidos considerables y sonidos débiles (amplitud muy baja) o distorsionados. Solo se tomaron en cuenta secuencias que constituyeran la fase de búsqueda.

De cada una de las secciones aptas para la medición de variables se eligieron diez (10) pulsos intensos y continuos, cuando fue posible, para realizar la medición.

Se examinaron visualmente los espectrogramas de duración variable -entre 5 y 300 segundos-, cada sonograma se elaboró con un procedimiento de transformación rápida de Fourier (*Fast Fourier Transformation* (FFT)), una ventana de análisis Hanning (*Hanning window*) de 512 puntos de longitud, una superposición entre ventanas adyacentes de 95% (*Overlap*) y umbral de 4 puntos (*Thershold*). En el caso del espectro de poder se seleccionó la opción automática de la barra de herramientas.

Se seleccionaron e identificaron de manera preliminar las secuencias que potencialmente representar llamadas de ecolocación de especies pertenecientes a las familias Vespertilionidae y Molossidae. Aunque fueron identificadas, no se tomaron en cuenta para este estudio sonidos de ecolocación de especies pertenecientes a otras familias (p.e. Emballonuridae).

A partir de esta selección se aislaron un total de 52 secuencias, todas en fase de búsqueda de las cuales se encontró que 33 pertenecían potencialmente a especies de la Familia Vespertilionidae y 19 a especies de la Familia Molossidae. Esta discriminación se realizó a partir de la observación del comportamiento de los datos

mediante gráficas de dispersión, además se realizaron comparaciones visuales de pulsos de grabaciones de individuos capturados, por bibliografía y con la colaboración del Doctor Antonio Guillén-Servent.

Las figuras 8 y 9 muestran una clara partición de los datos en dos grupos mediante la representación gráfica de variables mediana del Intervalo (mINTER), media de la Diferencia con la frecuencia del pulso anterior (pDIFANT) y las Diferencias entre valores Máximos y Mínimos de las Frecuencias finales (pDIFFMAXFMINFFIN) todas sobre la media de la Frecuencia Final (pFFIN).

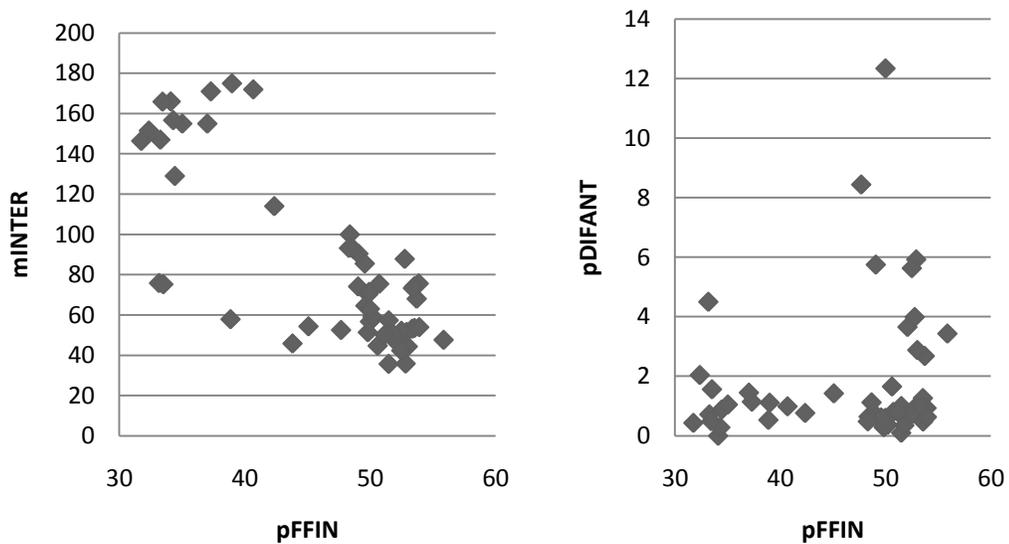


Figura 8. Representación gráfica de los valores medios del Intervalo(mINTER) y la variable derivada Diferencia con la Frecuencia Anterior (pDIFANT) sobre el valor medio de la Frecuencia Final (pFFIN) de todas las secuencias medidas.

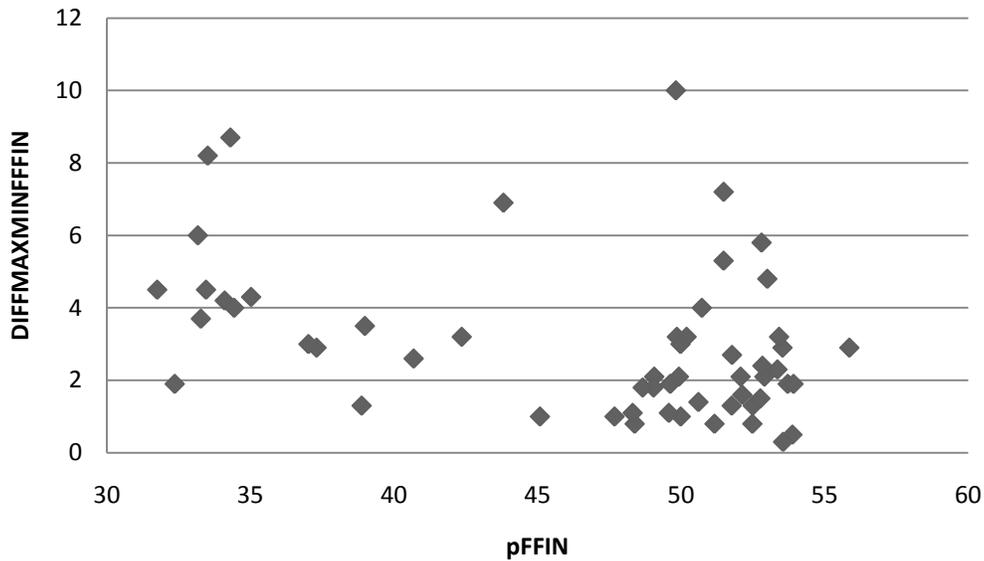


Figura 9. Representación gráfica de la variable derivada Diferencia entre Frecuencias Maximas y mínimas de las Frecuencias Finales (DIFFMAXMIN) sobre los valores medios de la Frecuencia Final (mFFIN) de todas las secuencias medidas.

A pesar de que en este trabajo se utilizó el simple análisis visual del comportamiento de los pulsos y el empleo de estadística descriptiva para la asignación de las secuencias a las dos familias, según Fenton y Bell (1981) la observación de los componentes basados en patrones de frecuencia y tiempo tales como los componentes de Frecuencias moduladas (FM) y Frecuencias constantes (FC) así como la combinación de las mismas es útil para análisis preliminares de los pulsos de ecolocación, más no describen necesariamente la utilización del sistema de ecolocación bajo condiciones naturales pues son características cualitativas y por lo tanto subjetivas.

Los patrones de sonido y los rangos de frecuencia de emisión son característicos a nivel de Familia y por lo tanto son específicos a nivel de especie, estas características de manera general van a depender de la situación en la que se encuentre el individuo, es decir, el tipo de señales ecolocadoras emitidas por cada una de las especies están

directamente ligadas a sus hábitos de forrajeo y en algunas ocasiones a su morfología (Neuweiler, 1990 y Barclay & Brigham 1991).

En el caso de los murciélagos vespertilionidos se conoce que emplean pulsos ecolocadores a frecuencias altas con componentes importantes de frecuencias moduladas (FM) lo cuál les permite forrajear en sitios próximos a la vegetación Barclay y Brigham sugieren que especies pertenecientes a esta familia emplearán llamados a frecuencias altas, lo que concuerda con la selección inicial realizada en este trabajo ya que los pulsos que se designaron a la Familia Vespertilionidae presentan características como amplios rangos de frecuencias.

De la misma manera Barclay y Brigham (1991) sugieren que especies insectívoras de tamaños más grandes de carga alar alta, como las pertenecientes a la Familia Molossidae presentan vuelos rápidos y baja maniobrabilidad y tienden a forrajear en espacios más abiertos, por lo tanto sus requerimientos perceptivos son diferentes a los de las especies de menor tamaño, estas especies emitirán los pulsos de ecolocación a frecuencias mas bajas como las encontradas en los pulsos de ecolocación asignados a la Familia Molossidae que no superan los 53 kHz.

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.

A cada conjunto de datos obtenidos a partir de la medición de las variables en cada una de las secuencias se les calculó la media. En el caso de la variable Intervalo (INTER) se le calculó la mediana ya que esta variable puede tener una distribución multi-modal. La síntesis de los datos de las secuencias asignadas a la Familia Vespertilionidae se presenta en la Tabla 1.

Adicionalmente se calcularon seis (6) variables derivadas las cuales permitieron hacer aproximaciones más claras a las diferentes especies en cada una de las familias. Los resultados del cálculo de las variables derivadas se sintetizan en la Tabla 2.

El conjunto de secuencias de este grupo serán asignadas a la especie *Myotis nigricans*, se realizaron graficas de dispersión de algunas de las variables medidas, media de la Frecuencia Final (pFFIN) contra la media de la Duración (pDURA) (Figura 10) y media de la Frecuencia Final (pFFIN) contra la mediana del Intervalo (mINTER) (Figura 11); estas en general no muestran particiones obvias en el espacio, por lo tanto se asume que todas pertenecerán a la misma especie. Sin embargo existen dos secuencias que resultan dudosas en ambos casos ya que los puntos se alejan de la nube, la secuencia V26 y la V33 (Tabla 1).

La primera, V26, presenta en este caso un valor medio de la Frecuencia Final= 47.68, Si excluimos este valor de la tabla tenemos una Frecuencia Final promedio de 51.3 ± 3.2 , valor que no difiere al incluirlo. Siemers y colaboradores (2001) reportar un valor medio de la Frecuencia final= 51 igual que el reportado en este trabajo, aunque este valor no concuerda, no se observa una separación considerablemente del conjunto de datos y registros previos de individuos capturados y grabados presentan Frecuencias Finales hasta de 45 kHz. Por lo tanto se puede considerar que la asignación de esta secuencia a la especie es acertada.

En el caso de la secuencia V33 se encuentra un valor medio de la Frecuencia Final= 38.87, un valor muy bajo si se consideran los valores mínimos de Frecuencias Finales que se muestran en la Tabla 2. Además de esto la comparación con individuos capturados y grabados no arroja frecuencias cercanas a este dato.

Tabla 1. Síntesis de medianas y promedios de las variables medidas en cada una de las secuencias asignadas a la Familia Vespertilionidae, donde **mINTER**= mediana del intermedio entre pulsos, **pDURA**= promedio de la duración de cada secuencia, **pFINI**= frecuencia inicial, **pFFIN**= frecuencia final, **pF(T/2)**= frecuencia a mitad del tiempo, **pFMAXAM**= frecuencia a máxima amplitud, **pFMIN-20**= frecuencia mínima a -20 db y **pFMAX-15**= frecuencia máxima a -15 db.

SECUENCIA	mINTER	pDURA	pFINI	pFFIN	pF (T/2)	pFMAX	pFMIN -20	pFMAX -15	pFMAX -20	pFMAX -15
V1	155	7,71071429	42,1354167	37,0179762	40,1654762	41,0894048	38,1145833		42,2559722	
V2	68	1,65	61,44	53,71	56,49	57,36	53,4		64,9333333	
V3	53,1	2,12105263	67,9157895	53,3526316	57	57,1894737	53,3666667		66,68	
V4	48,8	2,57	68,99	52,07	55,24	51,42	52,91		64,77	64,6
V5	49,4	2,54	70,13	51,76	55,73	55,68	52,39		66,03	
V6	51,35	2,23846154	72,8769231	49,8153846	56,2846154	54,7153846	49,1142857		69,4666667	
V7	51,5	3,62	67,44	52,9	56,59	57,92	53,025		66,725	
V8	57,3	1,89	67,58	51,48	55,81	56,54	51,35	63,3		
V9	44,7	6,125	71,625	50,6	52,425	53,825	50,8	50,6	64,7333333	
V10		0,72857143	71,3428571	52,8	59,7142857	60,2428571	54,22		67,75	
V11	44,3	2,09	84,23	53	59,79	59,26	53,8857143		69,2625	85,1
V12	53,5	2,54	69,89	53,53	56,83	58,2	54,0888889		67,7333333	
V13	75,6	1,5375	63,6875	53,875	56,4	57,5375	54	54,075		64,35
V14	47,6	1,58333333	69	55,8583333	58,6166667	61,575	56,7	55,8555556	67,8	66,6333333
V15	35,8	1,66	66,42	52,83	56,09	58,22	53,6555556	54,2777778	67	65,4125
V16	74,3	1,6	65,6	53,55	56	57,325	53,95	53,9	67,3	65,5
V17	35,65	1,06923077	75,8384615	51,4769231	57,1461538	59,6461538	51,425	52,1818182	75,6444444	70,8833333
V18	54,3	2,75	64,60625	45,08125	52,44375	53,88125	51,1454545	51,8357143	63,05	61,8133333

Tabla 1. Síntesis de medianas y promedios de las variables medidas en cada una de las secuencias (continuación).

SEC	mINTER	pDURA	pFINI	pFFIN	pF (T/2)	pFMAX	pFMIN -20	pFMAX -15	pFMAX -20	pFMAX -15
V19	56,7	2,93333333	71,9333333	49,9833333	53,4	53,9666667	50,7	51,2333333	64,34	62,8
V20	64,55	2,62	59,32	49,62	52,12	53,78	49,76	50,2	59,25	59,35
V21	52,1	2,69090909	69,9818182	52,4909091	55,6545455	56,5181818	53,2909091	53,8272727	63,3555556	61,9181818
V22	46,3	2,86	94,15	52,13	58,1	56,67	52,5	53,01	76,34	70,31
V23	50,9	2,97	87,93	51,77	52,49	56,12	52,3777778	52,91	71,02	65,56
V24	42,3	4,18	86,91	52,48	56,5	54,77	52,8	53,12	67,83	62,71
V25	70,3	3,84	77,73	49,85	54,21	55,75	50,86	51,32	62,6	61,47
V26	52,5	5,78	82,57	47,68	51,63	54,81	49,375	49,7666667	65,9777778	62,7777778
V27	59,15	4,66666667	67,0222222	50,1888889	52,2	51,7555556	50,2	50,5888889	62,9111111	59,4875
V28	73,3	3,72	70,86	53,41	55,86	56,05	54,1444444	54,5	66,1888889	64,6222222
V29	50,1	3,79	72,16	51,16	54,08	54,11	51	51,5	65,8625	62,9111111
V30	71,4	3,98	75,61	49,92	54,3	52,79	50,4888889	51,0222222	67,9666667	63,3333333
V31	63	4,4	62,8111111	49,9777778	51,9222222	51,5666667	49,75	50,2714286	61,1857143	60,3333333
V32	87,8	3,48571429	64,1428571	52,7571429	54,7142857	55,3714286	53,08	53,0428571	63,3	62,32
V33	57,85	4,83	63,79	38,87	41,29	41,28	39,21	39,39	54,16	50,59

Tabla 2. Síntesis de los promedios y valores de las variables derivadas para cada una de las secuencias asignadas a la Familia Vespertilionidae, donde **pDIFFREQANT**= promedio de la diferencia con la frecuencia anterior, **pANCHO** =ancho de banda, **pANCHOB -20**= ancho de banda a -20 db, **MAXFFIN**= valor máximo de la frecuencia final, **MINFFIN**= valor mínimo de la frecuencia final, **DIFFIN**= diferencia entre el valor máximo y mínimo de la frecuencia final y **SEC**= Secuencia.

SEC	mDIFFREQANT	pANCHOB	pANCHOB-25	MAXFFIN	MINFFIN	DIFFIN
V1	0,28202	0,13452381	0,0227381	51,9	48,9	3
V2	1,1	7,73	29,3	54,8	52,9	1,9
V3	3,65556	14,5631579	18,66	54,2	51,9	2,3
V4				53,2	51,1	2,1
V5	0,28889	18,37	13,64	52,4	51,1	1,3
V6	5,925	23,0615385	20,5333333	55	45	10
V7	0,8	14,54	53,475	54,2	52,1	2,1
V8	1,65556	16,1		53,2	46	7,2
V9	0,83333	21,025	14	51,1	49,7	1,4
V10	2,88	18,5428571	12,8	56,6	50,8	5,8
V11	1,26667	31,23	28,825	54,5	49,7	4,8
V12	0,93333	16,36	13,3333333	55	52,1	2,9
V13		0,18571429	9,8125	54,2	53,7	0,5
V14	0,96364	13,1416667	11,1	57,4	54,5	2,9
V15	0,47778	13,59	13,35	53,7	51,3	2,4
V16	0,1	12,05	40,2	53,7	53,4	0,3
V17	1,425	24,3615385	35,8111111	54,2	48,9	5,3
V18	12,34	20,1933333	17,1	51,3	50,3	1
V19	0,56	21,95	13,64	50,5	49,5	1
V20	0,725	9,7	8,5	50,8	48,9	1,9
V21	0,49	17,4909091	10,0555556	53,2	51,9	1,3
V22	0,71111	42,02	34,34	52,9	51,3	1,6
V23	1,12222	36,16	23,88	53,2	50,5	2,7
V24	0,33333	34,43	15,03	52,9	52,1	0,8
V25	0,53333	27,88	11,74	51,1	47,9	3,2
V26	0,36667	34,89	22,0888889	48,1	47,1	1
V27	0,9875	16,8333333	12,7111111	51,9	48,7	3,2
V28	0,8	17,45	12,0444444	55,3	52,1	3,2

Tabla 2. Síntesis de los promedios y valores de las variables derivadas (continuación).

SEC	mDIFFREQANT	pANCHOB	pANCHOB-25	MAXFFIN	MINFFIN	DIFFIN
V29	0,33333	21	14,675	51,6	50,8	0,8
V30	0,6	25,69	17,477778	51,3	49,2	2,1
V31	1,5625	12,8333333	18,5428571	51,9	48,9	3
V32	0,63333	11,3857143	23,325	53,4	51,9	1,5
V33	8,44	22,6545455	13,5909091	39,4	38,1	1,3

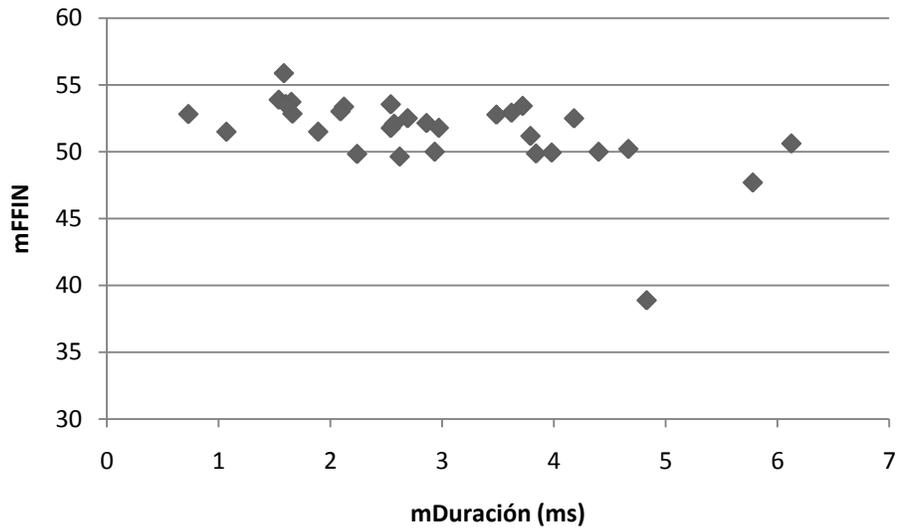


Figura 10. Representación gráfica de los valores medios de las variables Frecuencia Final (mFFIN) sobre la Duración en milisegundos para las secuencias asignadas a Vespertiliónidos.

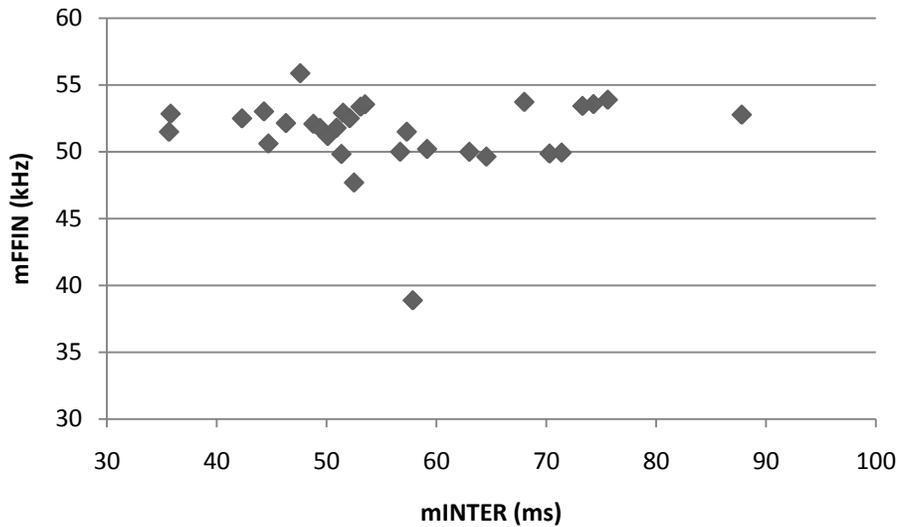


Figura 11. Representación gráfica de los valores medios de las variables Frecuencia Final (mFFIN) sobre la mediana del Intervalo para las secuencias asignadas a Vespertiliónidos.

Al realizar una caracterización más específica se observa que las frecuencias de inicio están entre los 42 y 94 kHz, la duración de los pulsos es corta (3.0 ± 1.6) de modulación descendente muy fuerte; el pronunciado barrido de Frecuencia modulada (FM) abarca en promedio frecuencias a un intervalo de 37 a 94 kHz, hasta llegar a un segmento de barrido ligero o banda estrecha de frecuencias que en general termina con un componente cuasi constante muy corto (Figura 10c) en donde se observan las frecuencias de mayor energía (55.4 ± 3.6) como se observa en la Figura 10b. En general no se observó la presencia de armónicos.

En la figura 10(a) se observa un espectrograma característico de esta especie en el cual se hacen referencia los puntos de medición de las variable.

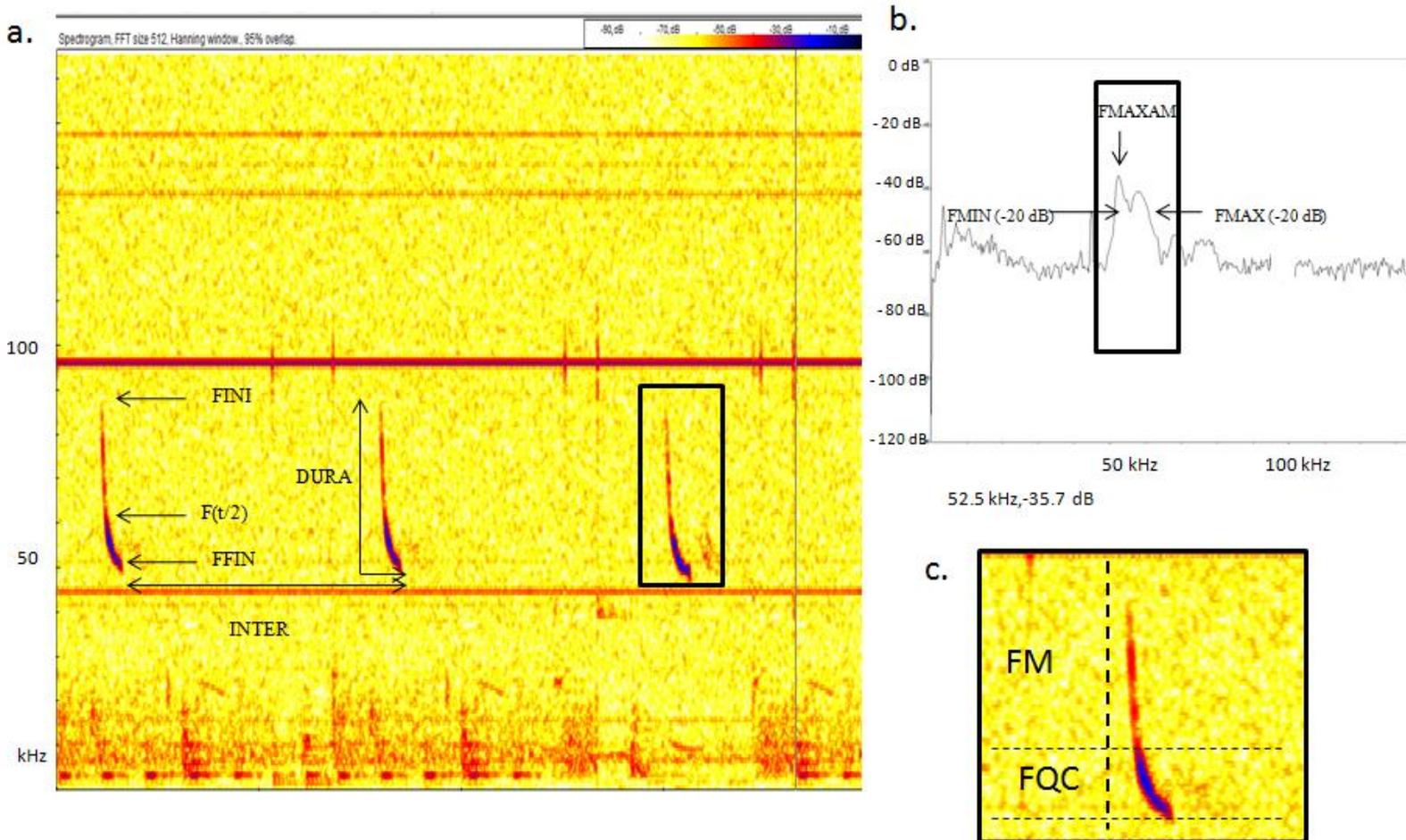


Figura 10. Detalle de la secuencia ecolocadora y posición de las variables asignadas a la especie *Myotis nigricans*. a. Espectrograma donde FINI= Frecuencia Inicial, FFIN= Frecuencia Final, F(t/2)= Frecuencia a mitad del tiempo, DURA= Duración del pulso e INTER= Intermedio entre pulso y pulso; b. Espectro de poder donde FMAXAM= Frecuencia a Máxima amplitud, FMIN (-20dB)= Frecuencia mínima a -20 dB y FMAX (-20dB)= Frecuencia máxima a -20 dB y c. acercamiento del pulso donde FM= componente de Frecuencia modulada del pulso y FQC= componente de Frecuencia cuasi constante.

Familia Molossidae

Al igual que en el apartado anterior la selección inicial de las secuencias pertenecientes a la Familia Molossidae se realizó a través de la observación de las características de los pulsos de ecolocación emitidos por los individuos durante la fase de búsqueda.

Los pulsos de la Familia Molossidae presentan una mayor complejidad comparados con los de la Familia Vespertilionidae. Se observó que en ocasiones un mismo individuo puede variar 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 las llamadas de ecolocación de esta familia.

De manera general los pulsos observados presentan combinaciones de frecuencias moduladas (FM) y frecuencias constantes (FC), 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 la media a excepción del intervalo al que se le calculó la mediana. La síntesis de los datos de las secuencias asignadas a la Familia Molossidae se presenta en la Tabla 3.

Adicionalmente se calcularon seis (6) variables derivadas para las secuencias asignadas a esta familia. Los resultados del cálculo de las variables derivadas se sintetizan en la Tabla 4.

Según lo que se muestra en las figuras, todas las secuencias asignadas a la Familia Molossidae deben pertenecer a la misma especie, ya que las que presentan frecuencias más altas presentan a su vez tienen también intervalos mayores y diferencias en frecuencias finales (FFIN) entre pulsos contiguos menores. Es decir, probablemente pertenezcan a individuos que dejan de emitir el pulso inferior que normalmente alternan con ese de mayor frecuencia. La especie que se le asigna será

Molossus coibensis, considerada como un sinónimo de *Molossus molossus* por Koopman (1993).

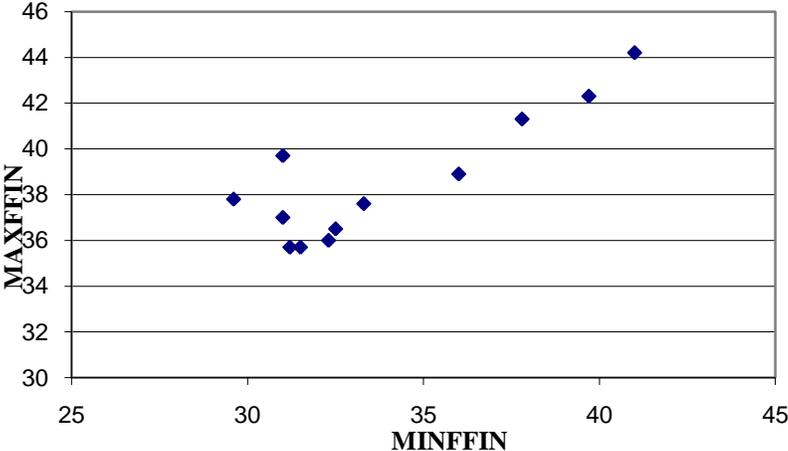


Figura 12. Representación gráfica de los valores de las variables derivadas Máxima de la Frecuencia Final (MAXFFIN) sobre Mínima de la Frecuencia Final (MINFFIN) de las secuencias asignadas a la Familia Molossidae.

Tabla 3. Síntesis de medianas y promedios de las variables medidas en cada una de las secuencias asignadas a la Familia Molossidae, donde **SEC**= Secuencia, **mINTER**= mediana del intermedio entre pulsos, **pDURA**= promedio de la duración de cada secuencia, **pFINI**= frecuencia inicial, **pFFIN**= frecuencia final, **pF(T/2)**= frecuencia a mitad del tiempo, **pFMAXAM**= frecuencia a máxima amplitud, **pFMIN-20**= frecuencia mínima a -20 db, **pFMAX-15**= frecuencia máxima a -15 db y **pFTOP**= de la frecuencia tope.

SEC	mINTER	pDURA	pFINI	pFFIN	pF (T/2)	pFMAX	pFMIN -20	pFMAX -15	pFMAX -20	pFMAX -15	pFTOP
M1	166	6,8	39,26	34,1	37,76	38,53	35,89	33	39,7444444		
M2	175	7,16666667	44,3166667	38,9833333	42,1	42,85	39,75		44,45	44,4	
M3	129	7,3	39,2	34,43	37,49	38,19	35,71	34,475	39,9166667	40,8	
M4	114	7,28571429	47,6	42,3571429	45,6571429	46,7285714	42,82		46,7		
M5	155	8,3	40,27	35,02	37,75	39,48	36,66	36,2	41,02		
M6	172	7	46,4	40,6833333	44,3666667	45,05	41,7166667	39,1	46,6		
M7	147	10,5	37,87	33,27	35,9	36,82	34,37	33,7	37,35	37,25	
M8	171	7,33333333	42,1666667	37,3	40,3	41,0666667	38		42,2666667		
M9	156,7	7,93333333	33,25	34,3	36,25	37	35,3833333	32,78	38,0666667	38	
M10	151,55	7,36	34,02	32,36	35,62	37,34	34,16		37,25		
M11	146,4	11,55	32,65	31,75	33,9833333	34,6666667	32,1	34,9			
M12	165,9	10,3	32,7	33,45	36	37,1	31,5	34,1	37,85	37,7	
M13	75,8	10,0666667	33,8333333	33,1666667	34,5666667	36	33,4666667	33,7	35,1	36,8	
M14	75,2	10,83	29,42	33,51	36,24	37,47	34,89	32,44	38,27	38,475	38,96
M15	75,4	5,09	46,24	50,72	98,02	51,75	46,55		52,9166667		
M16	90,4	5,975	40,8875	49,0625	47,2625	47,425	40,8	40,6333333		49,45	
M17	74,1	7,9875	39,0125	49,0375	48,575	46,1625	40,3142857	41,65	50,2	50,0666667	50,1625
M18	99,95	6,6	38,44	48,38	47,56	47,94	39,96	41,65	49,2	49,1	49,3
M19	92,7	8,01	38,79	48,66	48,07	47,62	42,42	43,38	49,74	49,61	49,94

Tabla 4. Síntesis de los promedios y valores de las variables derivadas para cada una de las secuencias asignadas a la Familia Molossidae, donde **SEC**= Secuencia, **pDIFFREQANT**= promedio de la diferencia con la frecuencia anterior, **pANCHO**= ancho de banda, **pANCHOB -20**= ancho de banda a -20 db, **MAXFFIN**= valor máximo de la frecuencia final, **MINFFIN**= valor mínimo de la frecuencia final, **DIFFIN**= diferencia entre el valor máximo y mínimo de la frecuencia final.

SEC	mDIFFREQANT	pANCHOB	pANCHOB-25	MAXFFIN	MINFFIN	DIFFIN
M1	1,11111	5,16	3,73333333	35,7	31,5	4,2
M2	0,88	5,33333333	4,9	41,3	37,8	3,5
M3	0,76667	4,77	3,75	36,5	32,5	4
M4	1,05	5,24285714	1,36666667	44,2	41	3,2
M5	0,98889	5,25	4,36	37,6	33,3	4,3
M6	0,72	5,71666667	-33,95	42,3	39,7	2,6
M7	1,14444	4,6	3,31111111	36	32,3	3,7
M8	1,45	4,86666667	4,26666667	38,9	36	2,9
M9	2,04	-1,05	2,68333333	39,7	31	8,7
M10	0,43333	1,6	4,15	33,6	31,7	1,9
M11	2,68	0,9		34,4	29,9	4,5
M12	4,5	-0,75	22,1	35,7	31,2	4,5
M13	5,75	0,66666667	3,25	37	31	6
M14	3,98889	-4,09	3,38	37,8	29,6	8,2
M15	1	-4,48	21,8833333	52,9	48,9	4
M16		1,05	-8,175	50	47,9	2,1
M17	0,64286	-10,025	10	49,7	47,9	1,8
M18	0,35	-9,94	9,24	48,9	48,1	0,8
M19	5,63	-9,87	7,32	49,7	47,9	1,8

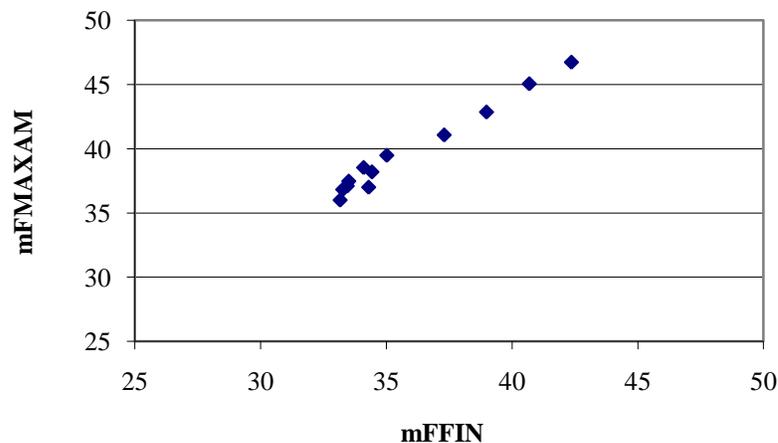


Figura 13. Representación gráfica de los valores medios de las variables Frecuencia a Máxima Amplitud (mFMAXAM) sobre Frecuencia Final (mFFIN) de las secuencias asignadas a la Familia Molossidae.

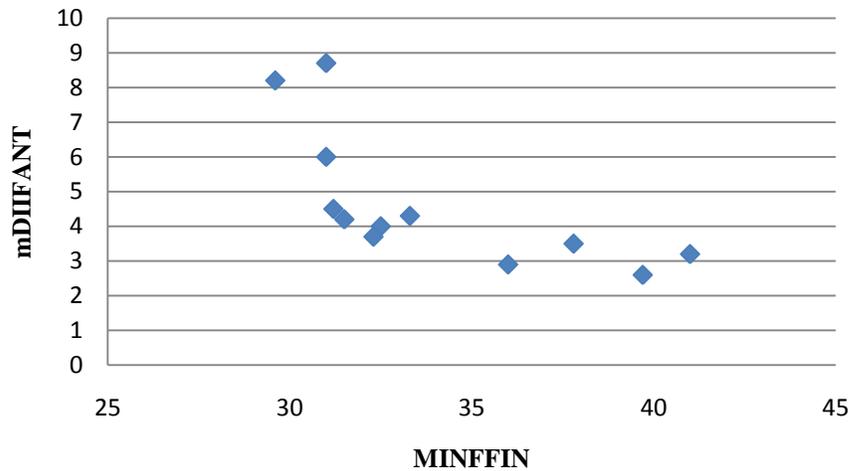


Figura 14. Representación gráfica de los valores medios de las variables derivadas Diferencia con la Frecuencia Anterior (mDIFANT) sobre la Mínima de la Frecuencia Final (MINFFIN) de las secuencias asignadas a la Familia Molossidae.

La forma básica en los llamados de ecolocación de las secuencias aisladas para *Molossus coibensis* (*Molossus molossus*) posee una duración relativamente larga (6 y 11 ms) con barridos de banda estrecha y gran energía. Generalmente presentan una fase de inicio con un barrido ascendente casi vertical que se convierte en un barrido descendente de bandas estrechas y larga duración (≥ 8 ms) el cual contiene las frecuencias de mayor energía dentro del pulso ($39,1 \pm 3,5$) (Figura 14b). El pulso termina con un segundo componente descendente de Frecuencia modulada (FM). En este caso se observaron pulsos alternos similares en forma y duración pero localizados a frecuencias un poco más altas.

En la figura 14 se observa en detalle un sonograma característico de *Molossus* en donde se especifica el punto de medición de variables.

Al realizar la descripción de los pulsos se noto que en la mayoría de los casos las secuencias presentaban pulsos alternados los cuales, como se menciona anteriormente, se caracterizan por presentar un pulso a menor frecuencia que el siguiente. Esta alternancia de pulsos fue reportada por Köss y colaboradores (1999), en este

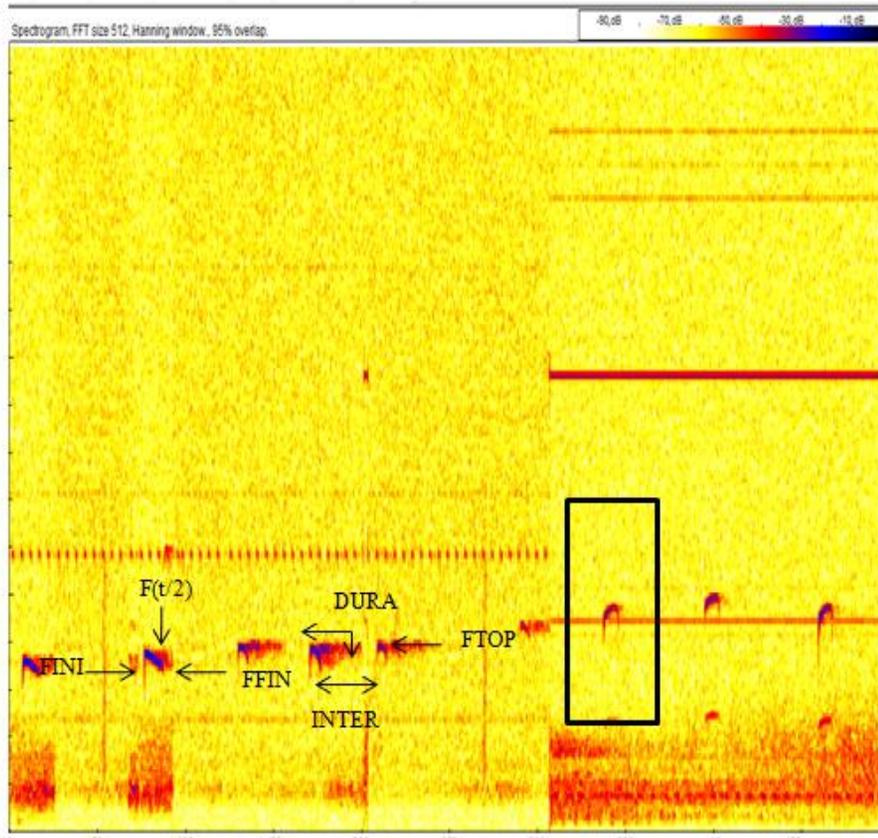
trabajo se sugiere que las especies insectívoros, en especial aquellas que forrajean en espacios abiertos como los molósidos (Neuweiler 1990) presentan una alternancia de pulsos a bajas frecuencias y de considerable amplitud para la adquisición de presas aéreas.

Esta característica no es exclusiva de la especie *Molossus coibensis* ya se ha reportado en literatura la alternancia de pulsos en especies como *Nyctalus noctula*, *P. savii* y *Tadarida midas* (Miller & Degn 1981 y Fenton *et al* 1998).

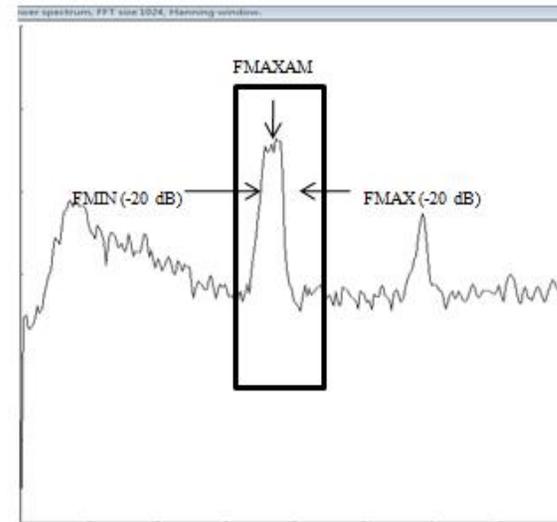
El uso de dos frecuencias por un mismo individuo resulta aparentemente ser ventajoso, como lo sugiere Köss y colaboradores (1999), al individuo percibir un eco que resulta diferente al patrón de ecos retornante

Aunque en la literatura (Köss *et al* 1999 y Guillén-Servent & Ibañez 2007) se reporta la presencia de armónicos en las grabaciones analizadas no se encontraron.

a.



b.



c.

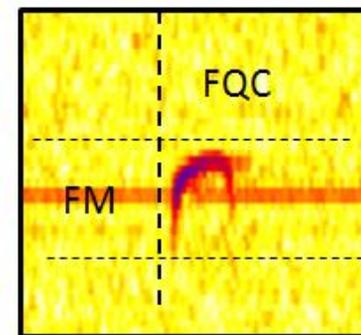


Figura 14. Detalle de la secuencia ecolocadora y posición de las variables asignadas a la especie *Molossus coibensis* (*Molossus molossus*) a. Espectrograma donde FINI= Frecuencia Inicial, FFIN= Frecuencia Final, $F(t/2)$ = Frecuencia a mitad del tiempo, DURA=Duración del pulso, INTER= Intermedio entre pulso y pulso y FTOP= Frecuencia tope; b. Espectro de poder donde FMAXAM= Frecuencia a Máxima amplitud, FMIN (-20dB)= Frecuencia mínima a -20 dB y FMAX (-20dB)= Frecuencia máxima a -20 dB y c. acercamiento del pulso donde FM=componente de Frecuencia modulada del pulso y FQC= componente de Frecuencia quasi constante.

Secuencias no identificadas

Al realizar la selección de las secuencias se encontraron 4 que aunque se pueden asignar a especies de molósidos por sus características espectrales y temporales no fue posible establecer a que especie pertenecían potencialmente. Sin embargo mediante comparaciones preliminares con secuencias grabadas en cautiverio y la comparación con bibliografía se asume que pertenecen a la especie *Molossops temminckii*.

Debido a que no hay datos suficientes para realizar un análisis más a fondo solo se presentará la síntesis de los valores de las variables medidas para las 4 secuencias así como las variables derivadas (Tablas 5y 6).

En general y consecuentemente con los estudios realizados por (Fenton & Bell 1981, Miller & Degn 1981, Fenton *et al* 1998 y Köss *et al* 1990) las frecuencias de máxima energía, amplitud de banda y duración considerados como parámetros cuantitativos, así como los parámetros cualitativos tales como las estructuras de frecuencia-tiempo resultaron ser útiles para la descripción de los llamados de ecolocación de las dos especies objeto de este estudio.

Los parámetros generales encontrados en las llamadas de ecolocación asignadas a cada una de las familias y por lo tanto a cada una de las especies coincidieron con los observados en estudios anteriores que describen el comportamiento ecolocador de las dos especies en zonas diferentes (Köss *et al* 1990 y Siemers *et al* 2001).

Tabla 5. Síntesis de medianas y promedios de las variables medidas en cada una de las secuencias no identificadas, donde **SEC**= Secuencia, **mINTER**= mediana del intermedio entre pulsos, **pDURA**= promedio de la duración de cada secuencia, **pFINI**= frecuencia inicial, **pFFIN**= frecuencia final, **pF(T/2)**= frecuencia a mitad del tiempo, **pFMAXAM**= frecuencia a máxima amplitud, **pFMIN-20**= frecuencia mínima a -20 db, **pFMAX-15**= frecuencia máxima a -15 db y **pFTOP**= de la frecuencia tope.

SEC	mINTER	pDURA	pFINI	pFFIN	pF (T/2)	pFMAX	pFMIN -20	pFMAX -15	pFMAX -20	pFMAX -15	pFTOP
Mt1	75,4	5,09	46,24	50,72	48,02	51,75	46,55		52,9166667		
Mt2	90,4	5,975	40,8875	49,0625	47,2625	47,425	40,8	40,63333333		49,45	
Mt3	74,1	7,9875	39,0125	49,0375	48,575	46,1625	40,3142857	41,65	50,2	50,0666667	50,1625
Mt4	99,95	6,6	38,44	48,38	47,56	47,94	39,96	41,65	49,2	49,1	49,3
Mt5	92,7	8,01	38,79	48,66	48,07	47,62	42,42	43,38	49,74	49,61	49,94
		6.7±1.27	40.6±3.25	49.1±0.9	47.8±0.5	48.1±2.1	42±2.7	41.8±1.1	50.5±1,6	49.5±0.4	49.8±0.4

Tabla 6. Síntesis de los promedios y valores de las variables derivadas para cada una de las secuencias no identificada, donde **pDIFFREQANT**= promedio de la diferencia con la frecuencia anterior, **pANCHO** =ancho de banda, **pANCHOB -20**= ancho de banda a -20 db, **MAXFFIN**= valor máximo de la frecuencia final, **MINFFIN**= valor mínimo de la frecuencia final, **DIFFIN**= diferencia entre el valor máximo y mínimo de la frecuencia final.

SECUENCIA	medDIFFREQANT	medANCHOB	medANCHOB-25	MAXFFIN	MINFFIN	DIFFIN
Mt1	1	-4,48	21,88333333	52,9	48,9	4
Mt2		1,05	-8,175	50	47,9	2,1
Mt3	0,64286	-10,025	10	49,7	47,9	1,8
Mt4	0,35	-9,94	9,24	48,9	48,1	0,8
Mt5	5,63	-9,87	7,32	49,7	47,9	1,8

Un sesgo importante que se plantea ante la identificación acústica de los murciélagos es la variabilidad en los llamados de ecolocación a nivel intraespecífico. En particular, puede haber diferencias entre sexos y edades, entre poblaciones geográficas, y según el tipo de hábitat y los factores climáticos (Fenton & Bell 1981, Brigham *et al.* 1989, Rydell 1990, Kalko & Schnitzler 1993, Rydell 1993, Obrist 1995, Hayes 1997, Francis & Habersetzer 1998 y Barclay 1999). Es por esto que es fundamental elaborar bibliotecas de referencia regionales que incluyan todos los factores de variabilidad.

Aunque las especies de murciélagos pueden ser identificadas a partir de la detección y análisis de sus pulsos de ecolocación con grados variantes de certeza, los niveles de actividad de las diferentes especies no pueden ser comparados fácilmente o interpretados de forma directa como estimativos de las poblaciones. Ya que como se ha mencionado anteriormente algunas especies emiten pulsos más intensos que otras, y son detectadas a distancias mayores (Vaughan *et al.* 1997). Aunque es posible que en el futuro se puedan desarrollar métodos que permitan la estimación de abundancias relativas, lo cierto es que de momento no existen.

8. CONCLUSIONES

- Los pulsos de ecolocación de la Familia Vespertilionidae se caracterizan por presentar componentes importantes de Frecuencia Modulada con un componente adicional de Frecuencia cuasi constante, mientras que los de la Familia Molossidae se caracterizan por presentar un componente de Frecuencia Constante con un barrido ascendente inicial y un barrido descendente de Frecuencia Modulada.
- Las secuencias asignadas a cada una de las dos Familias (Vespertilionidae y Molossidae) reflejan los requerimientos perceptivos de los hábitos de forrajeo específicos de cada Familia.

- La especie *Myotis nigricans* se caracteriza por presentar pulsos de características espectrales y temporales que permanecen constantes a lo largo de su fase de búsqueda.
- La especie *Molossus coibensis* (*Molossus molossus*) se caracteriza por presentar alternancia de frecuencias en los pulsos de ecolocación a lo largo de su fase de búsqueda.
- La descripción de las llamadas de ecolocación de ambas especies es de tipo cualitativo ya que no se aplicaron pruebas estadísticas tanto para la discriminación a nivel de familia como de especie ya que los datos obtenidos no fueron suficientes para realizar un análisis con resultados confiables.

8. RECOMENDACIONES

- Bajo limitantes de tipo logístico y errores cometidos en la medición de variables, estudios de este tipo se consideran complementarios en los muestreos de campo que solo incluyen muestreo con redes de niebla.
- Con el objetivo de dar continuidad a este trabajo y profundizar el conocimiento sobre los sonidos de ecolocación de murciélagos insectívoros se recomienda el análisis de un mayor número de secuencias para obtener datos estadísticamente más significativos.
- Para un análisis adecuado de los sonidos de ecolocación de las diferentes especies de Vespertiliónidos y Molósidos se recomienda la elaboración de un protocolo para asegurar la correcta medición de las variables generales.
- Se recomienda elaborar caracterizaciones de sonidos de ecolocación en otro tipo de hábitat para establecer posibles variaciones dentro de los sonidos de ecolocación.
- Se recomienda, en el caso de Colombia elaborar estudios de este tipo para el conocimiento de los sonidos de ecolocación de especies presentes en el territorio nacional.

10. LITERATURA CITADA

Aguirre, L.F. 2007. Historia natural, distribución y conservación de los murciélagos de Bolivia. Editorial Centro de Ecología y Difusión Simon I. Patiño. Santa Cruz, Bolivia. 416 Pp.

Altringham, J. 1996. Bats Biology and behavior. Oxford University Press.

Aldridge, H.D.J. & Rautenbach, I.L. 1987. Morphology, echolocation and resource partitioning in insectivorous bats. *Journal of Animal Ecology*. 56 :763-778.

Arita, H. & Fenton, B. 1997. Flight and echolocation in the ecology and evolution of bats. *Tree*. 12(2):53-58.

Audet, D., Engstrom, M.D., Fenton, M.B. 1993. Morphology, karyology and echolocation calls of (Chiroptera: Vespertilionidae) from Yucatán Peninsula. *Journal of Mammalogy*. 74:498-502.

Barclay, R.M.R. 1986. The echolocation calls of hoary (*Lasiurus cinereus*) and silver-haired (*Lasionycteris noctivagans*) bats and their consequences for prey selection. *Canadian Journal of Zoology*. 64:2700-2705.

Barclay, R.M.R. 1999. Bats are not birds: A cautionary note using echolocation calls to identify bats: A Comment. *Journal of Mammalogy*. 80(1): 290-296.

Barclay, R.M., Fullard, J.H., Jacobs, D.S. 1999. Variation in the echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*): influence of body size, habitat structure, and geographic location. *Canadian Journal of Zoology* 77:530-534.

Barreto, G. & Herrera, E. 1998. Foraging Patterns of Capybaras in a Seasonally Flooded Savanna of Venezuela. *Journal of Tropical Ecology*. 14(1):87-98.

Braza, F., Alvarez, F. Azcarate, T. 1981. Behaviour of the red howler monkey (*Alouatta seniculus*) in the Llanos of Venezuela. *Primates*. 22(4):459-473.

Behrend, O. & Schuller, G. 2000. The central acoustic tract and audio-vocal coupling in the horseshoe bat, *Rhinolophus rouxi*. European Journal of Neuroscience. 12:4268-4280.

BirdLife International 2007 BirdLife's online World Bird Database: the site for bird conservation. Version 2.1. Cambridge, UK: BirdLife International. Available: <http://www.birdlife.org> (access 12/2/2008).

Biscardi, S., Oprecio, 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.

Blondel, J. 2003. Guilds or functional groups: does it matter? Oikos. 100:223-231.

Bogdanowicz, W., Fenton, M.B., Daleszczyk, K. 1999. The relationships between echolocation calls, morphology and diet in insectivorous bats. Journal of Zoology London. 247:381-393.

Bringham, R.M., Cevik, J.E., Hickey, B.C. 1989. Intra-specific variation in the echolocation calls of two species of insectivorous bats. Journal of Mammalogy. 70:426-428.

Britton, A.R., Jones, G., Rayner, J.M. 1997. Flight performance, echolocation and foraging behavior in pond bats, *Myotis dasycneme* (Chiroptera: Vespertilionidae). Journal of Zoology, London. 241:503-522.

Britton, A. & Jones, G. 1999. Echolocation behavior and prey capture success in foraging bats: Laboratory and field experiments on *Myotis daubentonii*. The Journal of Experimental Biology. 1793-1801.

Carmel, Y. & Safriel, U. 1998. Habitat use by bats in a Mediterranean ecosystem in Israel-Conservation Implications. Biological Conservation. 84(3):245-250.

Crome, F.H. & Richards, G.C. 1998. Bats and gaps: microchiropteran community structure in Queensland rain forest. Ecology. 69:1960-1969.

- Dechmann, D. & Safi, K. 2005. Studying communication in bats. *Cognition, Creier, Comportament/Cognition, Brain, Behavior*. 9(3):479-496.
- Elliott, P. 1998. Ultrasonic bat detectors: A beginners' guide. *Journal of Biological Education*. 32(1):41-47.
- Fenton, M.B. 1994. Echolocation: its impact on the behavior and ecology of bats. *Ecoscience*. 1(1):21-30.
- Fenton, M.B & Bell, P.B. 1981. Recognition of species of insectivorous bats by their echolocation calls. *Journal of Mammalogy*. 62(2):233-243.
- Fenton, M.B., Merriam, H.G., Holroyd, G.L. 1983. Bats of Kootenay, Glacier and Mount Revelstoke national parks in Canada: identification by echolocation calls, distribution and biology. *Canadian Journal of Zoology*. 61(11):2503-2508.
- Fenton, M.B., Portfors, C.V., Rautenbach, I.L. y Waterman, J.M. 1998. Compromises: sound frequencies used in echolocation by aerial feeding bats. *Canadian Journal of Zoology*, 76:1174-1182
- Fenton, M.B., Rautenbach, I.L., Rydell, J., Arita, H.T., Ortega, J., Bouchard, S., Hovorka, M.D., Lim, B., Odgren, E., Portfors, C.V., Scully, W.M., Syme, D.M., Vonhof, M.J. 1998. Emergence, echolocation diet and foraging behaviour of *Molossus ater* (Chiroptera: Molossidae). *Biotropica*. 30:314-320.
- Griffin, D.R. 1958. *Listening in the dark*. Yale University Press. New Haven.
- Guillèn-Servent, A. & Ibañez, C. 2007. Unusual echolocation behavior in a small molossid bat, *Molossops temminckii*, that forages near background clutter. *Behavioral Ecology and Sociobiology*.
- Hayes, J.P. 1997. Temporal variation in activity of bats and the design of echolocation-monitoring studies. *Journal of Mammalogy* 78(2):514-524.

- Hickey, M.B.C., Acharya, L., Pennington, S. 1996. Resource partitioning by two species of vespertilionid bats (*Lasiurus cinereus* and *Lasiurus borealis*) feeding around street lights. *Journal of Mammalogy*. 77(2) :325-334.
- Ibañez, C., Guillén, A., Juste, J., Pérez-Jordá, J.L. 1999. Echolocation calls of *Pteronotus davyi* (Chiroptera:Mormoopidae) from Panama. *Journal of Mammalogy* 80(3):924-928.
- Kalko, E.K.V.1995. Echolocation signal design, foraging habitats and guild structure in six neotropical sheath-tailed bats (Emballonuridae). *Symposia of the Zoological Society of London*.67:259-273.
- Kalko, E.K.V. & Schnitzler, H.V. 1993. Plasticity in echolocation signals of European pipistrelle bats in search flight: implications for habitat use and prey detection. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 33: 415-428.
- Kalko, E.K.V. & Schnitzler, H.V. 1998. How echolocating bats approach and acquire food. Pp: 197-204. En: Kunz, T.H. y Racey, P.A (Eds.). *Bat: Biology and Conservation*. Smithsonian Institution Press. Washington and London.
- Kazial, K.A., Burnett, S.C., Masters, W.M. 2001. Individual and group variation in echolocation calls of big brown bats, *Eptesicus fuscus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Journal of Mammalogy*. 82(2):339-351.
- Koopman, K. F. 1993. Order Chiroptera. Pp. 137–242 en: D. E. Wilson y D. M. Reeder (eds.), *Mammal species of the World, a taxonomic and geographic reference*. 2da ed. Smithsonian Institution Press.
- Kössl, M., Mora, E., Coro, F., Vater, M. 1999. Two-toned echolocation calls from *Molossus molossus* in Cuba. *Journal of Mammalogy* 80(3):929-932.
- Kunz, T.H. & Brock, C.E. 1975. A comparison of mist nets and ultrasonic detectors for monitoring flight activity of bats. *Journal of Mammalogy*. 56(4):907-911.

Jung, K., Kalko, E.K.V., von Helversen, O. 2007. Echolocation calls in Central American emballonurid bats: signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology*. 1-13.

LaVal, R.K. & Rodriguez, B. 2002. Murciélagos de Costa Rica BATS. Primera Edición. INBio. Costa Rica. 320Pp.

Linares, O.J. 1998. Mamíferos de Venezuela. Primera Edición. Sociedad Conservacionista Audubon de Venezuela. Caracas, Venezuela. 691Pp.

Lee, Y.F. & McCracken, G.F. 2002. Foraging activity and food resource use of Brazilian freetail bats, *Tadarida brasiliensis* (Molossidae). *Ecoscience* 9:306-313.

Macias, S., Mora, E., García, A. 2006. Acoustic identification of mormoopid bats: a survey during the evening exodus. *Journal of Mammalogy*. 87(2):324-330.

McCracken, G. 1989. Cave conservation: special problems of bats. *National Speleological Bulletin*. 51:47-51.

Miller, B. 2001. A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. *Acta Chiropterologica*, 3(1): 93-105.

Miller, L.A. & Degn, H.J. 1981. The acoustic behaviour of four species of vespertilionid bats studied in the field. *Journal of Comparative Physiology, A. Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 142:67-74.

Miller, L.A. & Surlykke, A. 2001. How some insects detect and avoid being eaten by bats: Tactics and countertactics of prey and predator. *BioScience*. 51(7): 570-581.

Mills, D.J., Norton, T.W., Parnaby, H.E. Cunningham, R.B., Nix, H.A. 1996. Designing surveys for microchiropteran bats in comple forest landscapes- a pilot study from south-east Australia. *Forest Ecology and Management*. 85:149-161.

Moss, C. & Sinha, S. 2003. Neurobiology of echolocation in bats. *Current Opinion in Neurobiology*. 13:751-758.

Murray, K., Britzke, E., Hadley, B., Robbins, L. 1999. Surveying bat communities: a comparison between mist nets and the Anabat II bat detector system. *Acta Chiropterologica*. 1(1):105-112.

Neuweiler, G. 1990. Foraging ecology and audition in echolocating bats. *Trends in Ecology and evolution* 4(6):160-165

Norberg, U.M & Rayner, J.M. 1987. Ecological morphology and flight in Bats (Mammalia : Chiroptera) : Wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 316 :335-427.

Obrist, M.K. 1995. Flexible bat echolocation: the influence of individual, habitat and conspecifics in sonar signal design. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 36:207-219.

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.

O'Farrell, M.J. & Gannon, W.L. 1999. A Comparison of acoustic versus capture techniques for the inventory of bats. *Journal of Mammalogy*. 80(1): 24-30.

O'Farrell, M.J.; Miller, B.W.; Gannon, W.L. 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the ANABAT detector. *Journal of Mammalogy*. 80(1): 11-23.

Parsons, S.; Thorpe, C.W.; Lawson, S.M. 1997. Echolocation calls of the long tailed bat: a quantitative analysis of types of calls. *Journal of Mammalogy*. 78(3):964-976.

Parsons, S., Boonman, A., Obrist, M. 2000. Advantages and disadvantages of techniques for transforming and analyzing chiropteran echolocation calls. *Journal of Mammalogy*. 81(4):927-938.

Parsons, S. 1997. Search-phase echolocation calls of the New Zealand lesser short-tailed bat (*Mystacina tuberculata*) and long-tailed bat (*Chalinolobus tuberculatus*). *Canadian Journal of Zoology*. 75:1487-1494.

Pierson, E. 1998. Tall trees, deep holes, and scarred landscapes. Conservation biology of north american bats. *Bat Biology and Conservation*. T. H. Kunz and P. A. Racey. Washington and London, Smithsonian Institution Press. 183-196 Pp.

Preatoni, D.G; Nodari, M; Chirichella, R; Tosi, G; Wauters, A.M. 2005. Identifying Bats from Time-Expanded Recordings of search Calls: Comparing Classification Methods. *The Journal of Wildlife Management*. 64(4): 1601-1614.

Racey, P.A. & Swift, S.M. 1985. Feeding ecology of *Pipistrellus pipistrellus* (Chiroptera:Vespertilionidae) during pregnancy and lactation. I. Foraging behavior. *Journal of Animal Ecology*. 54: 205-215.

Rhodes, M.P. & Hall, L.S. 1997. Bats from Fraser Island. *Australian Zoologist*. 30:346-350.

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, London*. 258 :91-103

Rydell, J. 1990. Behavioral variation in echolocation pulses of the Northern bat, *Eptesicus nilssoni*. *Ethology*. 90:103-113.

Rydell, J. 1993. Variation in the sonar of an aerial-hawking bat (*Eptesicus nilssoni*). *Ethology*. 93:275-284.

Rydell, J., Arita, H.T., Santos, M., Granados, J. 2002. Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico. *Journal of Zoology, London*. 257: 27-36.

Rydell, J. & Speakman, J.R.1995. Evolution of nocturnality in bats: potential competitors and predators during their early history. *Biological Journal of the Linnean Society*. 54: 183-191.

Schnitzler, H. & Kalko, E. 2001. Echolocating by Insect-Eating bats. *Bioscience*. 51(7): 557-569.

Simmons, N. B. (2005) Order Chiroptera. En: Wilson DE, Reeder DM (eds) *Mammal species of the world. A taxonomic and geographic reference. Third edition. Volume 1.* The Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp 312-529.

Soriano, P. 2000. Functional structure of bat communities in tropical rainforest and Andean cloud forest. *Ecotropicos*. 13(1):1-20.

Thomas, D., Bell, G., Fenton, B.1987. Variation in echolocation call frequencies recorded from North American vespertilionid bats: a cautionary note. *Journal of Mammalogy*. 68(4):842-847.

Vaughan, N. Jones, G., Harris, S. 1997. Habitat use by bats (Chiroptera) assessed by means of a broad-band acoustic method. *Journal of applied Ecology*. 34:716-730.

Waters, D.A., Rydell, J., Jones, G. 1995. Echolocation call design and limits on prey size: a case study the aerial-hawking bat *Nyctalus leisleri*. Behavioral Ecology and Sociobiology. 37:321-328.

Whitaker, Jr J.O & Long, R. 1998. Mosquito feeding by bats. Bat Research News. 59-61.

Wilson, D.E. 2002. Murciélagos, respuestas al vuelo. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, 196 Pp.

<http://www.elfrioeb.com/espagnol/index.htm>

8. ANEXOS

Anexo 1. Formato de consignación de datos por especie

ARCHIVO	PULSO	INTER	DURA	FINI	FFIN	F (T/2)	FMAXAM	FMIN-20	FMAX-20

Donde: **INTER** (Intermedio, ms); **DURA** (Duración, ms); **FINI** (Frecuencia Inicial, KHz); **FFIN** (Frecuencia Final, KHz); **F(T/2)** (Frecuencia a la mitad del tiempo, KHz); **FMAX** (Frecuencia Máxima, KHz); **FMIN-20** (Frecuencia mínima a -20 dB, KHz) y **FMAX-20** (Frecuencia máxima a -20 dB, KHz);

Anexo 2. Variables derivadas en cada pulso

VARIABLE	FORMULA
Ancho de banda	FINI - FFIN
Ancho de banda (-20 db)	(FMAX-20db) - (FMIN-20db)
Diferencia Frecuencia anterior	ABS(FFIN (pulso 2) – FFIN (pulso1))
Máxima Frecuencia Final	Valor máximo FFIN
Mínima Frecuencia Final	Valor mínimo FFIN
Diferencia Frecuencia Final	MAXFFIN - MINFFIN