

## **UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR**

RECONOCIMIENTO DE VALIDEZ OFICIAL DE ESTUDIOS

DE LA SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

ACUERDO N° 882285 DE FECHA 29 DE NOVIEMBRE DE 1988

**Análisis de las variaciones encontradas en el sonido emitido por murciélagos  
de las familias Vespertilionidae y Molossidae, en las localidades  
del Bosque de Chapultepec y la Cantera Oriente, en los años 2009 y 2010**

**Tesis que para obtener el título de**

**Licenciado en Biología**

**Presenta**

**José Pablo Orduña Villalobos**

**Asesor:**

**M. en C. David Ricardo Ortiz Ramírez**

---

## JURADO ASIGNADO

### PRESIDENTE

Dra. Dora Azucena Herróz Zamorano

### VOCAL

Mtro. David Ortiz Ramirez

### SECRETARIO

Mtro. José Ignacio Fernandez Mendez

### PRIMER SUPLENTE

Dr. Francisco Jesús Arenas Huertero

### SEGUNDO SUPLENTE

Mtra. María del Pilar Santos Romo

---

“No hay nada en el universo  
Que no pueda ser armonizado”

Transmitido a Minamoto Yoshitsume (1159-1189) por  
el misterioso maestro Ki-Ichi-Hogen,  
transmitido a mi por Sensei Israel Carcaño Sánchez de Tagle

---

## AGRADECIMIENTOS

- A mi tío Alejandro Orduña Azcano, quien me enseñó la importancia de mantenerse firmes frente a las situaciones más adversas.
- A mi abuela Margarita, quien me transmitió su amor y respeto hacia todos los seres vivos, en especial por los animales y que fue en gran medida la causante para que decidiera estudiar la ciencia de la vida.
- A mi mamá Gema Villalobos Muro, quien me ha dado la oportunidad de conocer nuevas posibilidades para desarrollarme y completar cada uno de los sueños que forman mi ser.
- A mi papá Pablo Orduña Azcano, que sin su apoyo incondicional no hubiera logrado formarme como la persona que soy el día de hoy.
- A mis abuelos Rosa Muro y Luis Villalobos, quienes a lo largo de mi vida, han alimentado mis ganas de cumplir mis metas, por medio de su cariño, apoyo y alegría.
- A mis tíos Ricardo Villalobos Muro y Ana Rosa Villalobos Muro, por tratarme como a un hijo y por consecuencia brindarme la oportunidad de abrir mis posibilidades a lo largo del tiempo.
- A mi tío Luis Antonio Villalobos Muro, por transmitirme su pasión por la ciencia y el entusiasmo por descubrir cosas nuevas.
- A mi madrina María Eugenia Vélez, por alentarme a ser mejor cada día.
- Al Maestro en ciencias David Ortiz Ramírez, por ser mi guía a lo largo de este proyecto y por la oportunidad que me brindo para que mi titulación se concretara.
- Al Doctor en ciencias Francisco Arenas Huertero, por su amistad y su paciencia en el momento de perfeccionar mis habilidades como científico.

- 
- Al Maestro en ciencias Ignacio Fernandez Mendez por enseñarme la pauta estadística que serviría para corroborar los datos encontrados en este proyecto y que sin ella no podría haber terminado el estudio.
  - A la Doctora en ciencias Azucena Herróz Zamorano, por su buena disponibilidad y su apoyo a lo largo de la carrera.
  - A sensei Israel Carcaño Sánchez de Tagle, por su lealtad y por enseñarme el camino de la autenticidad y por mostrarme la grandeza de hacer las cosas al máximo.
  - A la Maestra en ciencias María del Pilar Santos Romo, por su colaboración en la corrección de este trabajo.
  - Al Doctor Lot y a Francisco Martínez, quienes con mucha disposición me dieron la oportunidad de llevar a cabo este estudio dentro de las instalaciones de la Cantera Oriente del Pedregal de San Ángel.
  - Al Doctor en Ciencias Fernando García-Gil de Muñoz, por la confianza que depositó en mí a lo largo de la carrera.
  - Al Doctor en Ciencias Fidel de la Cruz, por su enseñanza tan amena, que permitió que la pasión que siento por la carrera se incrementara exponencialmente.
  - A la Maestra en Ciencias Laura Elena Borrego Enríquez, por su alegría y su buena disposición a lo largo de la carrera.
  - A la Maestra en Ciencias Verónica Ortega, por su paciencia al momento de corregir mis errores las veces que fueran necesarias.
  - A David Villeda Cuevas, Gerardo Guerra Páramo, Leslie Reyes Recillas y Ximena Rodríguez Ruiz, por ser mis cómplices, amigos y compañeros en uno de los periodos más importantes de mi vida, así como también por el aliento que me brindaron en todo momento.

- 
- A Ricardo Morales Centeno, Christian Muciño Ferro y a Jorge Luis Miró Zarate, por toda una vida de amistad y por se el sostén en las épocas fáciles como en los difíciles.
  - A Juan Manuel Lechuga Navarro, por su grandiosa amistad y por permirtirme formar parte del equipo de bienestar animal, y que gracias a ello, mi entusiasmo por el estudio de la fauna silvestre se incremento incomensurablemente.
  - A Rodolfo Ramírez Quiroga, por su amistad incondicional y por depositar en mi la confianza necesaria para formar parte de su equipo de trabajo y de esta manera apoyarme en todo el proceso que llevo a la culminación de este trabajo.
  - A Gary Paskel, por tener la paciencia de enseñarme y corregir la forma en que escribo, leo y hablo el idioma ingles, y que permitió que acreditara el certificado exitosamente.

---

## **DEDICATORIA**

A todos los alumnos de la licenciatura en Biología, a quienes exhorto que trabajen arduamente en aquello que verdaderamente desean, sin demorarse con limitaciones inexistentes en el universo y sin miedo a proponer cosas originales.

---

---

## CONTENIDO

### Página

**INDICE DE TABLAS**

**INDICE DE FIGURAS**

**GLOSARIO DE ABREVIATURA**

### **I. RESUMEN**

### **II. ABSTRACT**

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Acercamiento a los murciélagos</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1 Anatomía General</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2 Dieta</b>	<b>10</b>
<b>1.1.3 Taxonomía</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Bioacústica</b>	<b>12</b>
<b>1.2.1 Anatomía Acústica</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Fisiología Acústica</b>	<b>17</b>
<b>1.2.3 Tipos de Frecuencias</b>	<b>18</b>
<b>1.2.4 Sobre posición eco/pulso</b>	<b>19</b>
<b>1.2.5 Ecolocación usada en la casería de presas</b>	
<b>Voladoras</b>	<b>20</b>
<b>1.2.6 El uso de armónicos</b>	<b>21</b>
<b>1.2.7 La ecolocación junto con el efecto Doppler</b>	<b>23</b>
<b>1.2.8 Percepción del entorno y forrajeo</b>	
<b>como uno solo</b>	<b>23</b>
<b>1.3 Ecología</b>	<b>25</b>
<b>1.3.1 Factores ambientales</b>	<b>25</b>



---

1.3.2	Torpor e hibernación	26
1.3.3	Zonas urbanas	27
2.	Estudios Precedentes	28
2.1	Europa	28
2.2	África	29
2.3	Oceanía	29
2.4	Estados Unidos	30
2.5	Sudamérica	30
2.6	México	30
3.	Metodología	33
3.1	Área de estudio	33
3.1.1	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel	33
3.1.2	Parque Urbano de Chapultepec	34
3.2	Grabación de llamados	36
3.2.1	Detector Ultrasónico PETTERSON D980 X	36
3.3	Edición	38
3.4	Identificación de especies	40
4.	Resultados obtenidos y su análisis	42
4.1	Identificación de especies	42
4.2	Diferencia entre pulsos	50
5.	Conclusiones	61
	Bibliografía	63
	Apéndice I	68
	Apéndice II	71

---

## **INDICE DE TABLAS**

## **Página**

<b>1.</b>	<b>Valores registrados de FINI, FFIN, FMAXAM, AB, DUR e INTERV de las 7 especies encontradas en la Cantera y Chapultepec</b>	<b>47</b>
<b>2.</b>	<b>Varianza explicada para los 3 primeros componentes principales</b>	<b>53</b>
<b>3.</b>	<b>Análisis de componentes de FINI, FFIN, FMAXAM y AB</b>	<b>56</b>

## **INDICE DE FIGURAS**

<b>1.</b>	<b>Anatomía alar</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Esqueleto</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>Diferentes tipos de rasgos faciales</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>Esquema de cuerdas vocales</b>	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>Esquema de hojas nasales de diferentes especies</b>	<b>15</b>
<b>6.</b>	<b>Esquema de Pinnae y Trago de diferentes especies</b>	<b>16</b>
<b>7.</b>	<b>Anatomía del oído medio e interno</b>	<b>17</b>
<b>8.</b>	<b>Sonograma con pulsos de frecuencia modulada</b>	<b>18</b>
<b>9.</b>	<b>Sonograma con pulsos de frecuencia continua</b>	<b>19</b>
<b>10.</b>	<b>Fases de cacería</b>	<b>21</b>
<b>11.</b>	<b>Posicionamiento de la presa</b>	<b>22</b>
<b>12.</b>	<b>Sonograma de pulsos que presentan armónicos</b>	<b>22</b>
<b>13.</b>	<b>Estrategia de forrajeo de diferentes especies</b>	<b>24</b>
<b>14.</b>	<b>Metabolismo en mamíferos</b>	<b>25</b>

---

15. Mapa de la Cantera Oriente, dentro de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel	34
16. Mapa del Bosque de Chapultepec	35
17. Detector ultrasónico Petterson D980X	36
18. Sistema de División de Frecuencias	37
19. Sistema de Tiempo Expandido	38
20. Espectrograma	39
21. Características de las ondas sonoras	68
22. Esquema de onda sonora compleja – voz humana	69
23. Efecto Doppler	70
24. <i>Eumops underwoodi</i>	71
25. <i>Molossus rufus</i>	72
26. <i>Molossus sinaloae</i>	72
27. <i>Tadarida brasiliensis</i>	73
28. <i>Lasiurus cinereus</i>	74
29. <i>Myotis velifer</i>	74
30. <i>Myotis californicus</i>	75
A. Porcentajes que poseen las especies del total de pulsos obtenidos	42
B. Porcentajes de los pulsos grabados por localidad	44
C. Espectro acumulado de potencia	46
D. Espectrograma de los pulsos más representativos por especie	49
E. Dendrograma por Especie, Localidad y Estación	50
F. Agrupación de las variables por especie	53
G. Identificación de las aglomeraciones dentro de los componentes principales	54
H. Distribución de los registros por estación para <i>Eumops underwoodi</i>	57
I. Distribución de los registros por localidad y estación para <i>Lasiurus cinereus</i>	58
J. Distribución de los registros por localidad y estación para <i>Tadarida brasiliensis</i>	58

---

---

<b>K.</b> Distribución de los registros por localidad y estación para <i>Molossus rufus</i> .	<b>59</b>
<b>L.</b> Distribución de los registros por localidad y estación para <i>Molossus sinaloae</i> .	<b>60</b>
<b>M.</b> Distribución de los registros por estación para <i>Myotis velifer</i> (superior) y <i>Myotis californicus</i> (arriba).	<b>60</b>

<b>AB</b>	Ancho de Banda
<b>CP</b>	Componentes Principales
<b>dB</b>	Decibelio
<b>DUR</b>	Duración
<b>FC</b>	Frecuencia Constante
<b>FFIN</b>	Frecuencia Final
<b>FINI</b>	Frecuencia Inicial
<b>FM</b>	Frecuencia Modulada
<b>FMAXAM</b>	Frecuencia de Máxima Amplitud
<b>INTERV</b>	Intervalo
<b>kHz</b>	Kilohertz o Kilohercio
<b>ms</b>	Milisegundo

---

## RESUMEN

Existen trabajos que describen la adaptación de los llamados de ecolocación de diversas especies de murciélagos, en su mayoría atribuidas a factores geográficos.

En la presente investigación se estudiaron las variaciones en los pulsos, a lo largo de los años 2009 y 2010; emitidos por aquellas especies encontradas en dos localidades diferentes: el Bosque de Chapultepec y la Cantera Oriente del Pedregal de San Ángel, ambas áreas poseen la característica de localizarse en zonas urbanizadas.

Se obtuvo el registro de las especies: *Eumops underwoodi*, *Tadarida brasiliensis*, *Molossus rufus*, *Molossus sinaloae*, *Lasiurus cinereus*, *Myotis velifer* y *Myotis californicus*. Se consideraron 5 características propias de los pulsos de forrajeo: frecuencia inicial, frecuencia final, frecuencia de máxima amplitud y ancho de banda. Las variables fueron analizadas con tres pruebas estadísticas: Análisis de clusters, prueba de componentes principales y prueba de Kruskal-Wallis.

Con base en los resultados se puede observar que las variaciones en el sonido no solamente ocurren en localidades diferentes sino también a lo largo de las estaciones del año, sin embargo, dichos cambios no son iguales para todas las especies, cada una tiene su forma particular de adaptación para incrementar la eficiencia en el momento del forrajeo.

---

## ABSTRACT

There are several scientific reports that describe the adaptation of the echolocation calls of several species of bats, mostly attributed to geographical factors. In this study the changes in the pulses, along of the years 2009 and 2010 were investigated. These were generated by species found in two different locations: the Chapultepec's Forest and the Cantera Oriente del Pedregal de San Ángel, both areas possess characteristic of being located in an urbanized area.

The record was obtained of the registration of the species *Eumops underwoodi*, *Tadarida brasiliensis*, *Molossus rufus*, *Molossus sinaloae*, *Lasiurus cinereus*, *Myotis velifer* y *Myotis californicus*. It was considered 5 characteristics of the foraging pulses: high frequency, low frequency, frequency at maximum amplitude and bandwidth. The variables were analyzed with three statistics tests: cluster analysis, principal components analysis and Kruskal-Wallis analysis.

The results show that the variation in the sound is not only related with the geographical differences, but also with the seasonality, however, those changes are not equivalent for all species, each has its own way of adaptation to increase the efficiency at the time of foraging.

---

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Acercamiento a los murciélagos

Si bien, no son los soberanos en lo que al carisma se refiere, los murciélagos, (derivado del latín *mur*: ratón, *caecus*: ciego y *alatus*: alado), han pasado de ser deidades para algunos a demonios para otros, han transitado por la línea de ser centinelas del alma hasta promotores de pesadillas. Su rareza radica en un número de peculiaridades, las cuales hoy en día no pueden ser clarificadas en su totalidad; explica Macdonald (2006).

El director de investigaciones de la Universidad de Oxford, Macdonald (2006) sostiene que existen 4,680 especies de mamíferos, los cuales, están clasificados en 28 órdenes. El interés particular de este estudio es el orden que engloba a los comúnmente llamados vampiros, murceguillos o ratones viejos.

Del griego keiros: mano y pteron: ala, los Quirópteros, son el segundo grupo más diverso de mamíferos, ulteriormente a los roedores. Simmons (2005) contempla la existencia aproximada de 1,116 especies de murciélagos clasificadas en 18 familias, así mismo, Medellín (2008) asegura que de esa variedad de especies, 138 habitan en México (Apartado 1.1.3).

Las características geográficas que posee nuestro país, le permite tener representados, prácticamente todos los ecosistemas del mundo en la superficie de su territorio. En su manual de identificación, Medellín (2008) concluye que, la fauna mexicana de quirópteros, está constituida por cuatro tipos principales de especies: las tropicales con afinidades amazónicas, las de zonas templadas con afinidades neárticas, las migratorias y las endémicas; la mayoría de hábitos nocturnos.



---

### 1.1.1 Anatomía General

Allen (1940) nos relata: “El murciélago, en la asamblea de las aves, se declaró a sí mismo como ratón y en el comité de los animales, se rebeló así mismo como ave”. Es de avispados hacerse pasar por otro, sabiendo que la esencia se conserva sin distorsión alguna. Esta historia tribal nos realza que, la anatomía singular, es la responsable del interés despertado por este animal, alrededor del mundo.

Dentro de las características que comparte con los mamíferos, los Quirópteros poseen pelaje para protegerlos de las inclemencias del clima, glándulas mamarias para el suministro de leche a las crías, el remplazo de al menos una porción de su dentición y finalmente la capacidad de mantener constante la temperatura de su cuerpo, también conocidos como endotermos (Hill *et al*; 1984, Altrigham, 1999; Macdonald, 2006 y Medellín, 2008).

### Adaptaciones para el vuelo

Alcalde (1999) declaró qué, los quirópteros son los “únicos” mamíferos que tienen el privilegio de volar de forma semejante a la de las aves, es decir mediante vuelo activo. La relación que posee el vuelo y la ecolocación será explicada en el capítulo 1.2, Bioacústica.

### Extremidades superiores o Alas

A pesar de compartir el cielo con las aves, los murciélagos poseen una anatomía alar que difiere mucho con respecto a los primeros (Figura 1).

En principio, los huesos del brazo y el de las falanges de los dedos se alongaron y unieron entre sí por medio de una membrana llamada patagio. Según su posición en el ala, el patagio adquiere diferente nombre:

- UROPATAGIO: aquella que se encuentra entre la cola y las extremidades posteriores.
- PLAGIOPATAGIO: aquella que se encuentra entre las extremidades posteriores y el meñique

- 
- DACTILOPATAGIO: aquella que se encuentra entre cada una de las falanges (meñique, anular, medio e índice).
  - PROPATAGIO: aquella que se encuentra entre la parte superior del húmero (hombro) y se dirige hasta el pulgar.

Este último, el pulgar, es el único dedo que carece de prolongación y posee la una garra que sirve para la locomoción terrestre, el combate e incluso para aferrar su alimento (Medellín *et al*; 2008).

Macdonald (2006) explica que la forma de las alas afecta mucho al vuelo y que existen dos propiedades aerodinámicas especialmente importantes. La primera, “la carga de las alas”, la cual describe la proporción del peso con respecto al área de las mismas; es decir un ala que posee una carga alta es aquella que es pequeña para un peso determinado y le otorga la capacidad de un vuelo rápido pero una maniobrabilidad limitada, en comparación con otra del mismo peso que es más grande (carga baja).

La segunda característica es conocida como “la relación de aspecto” la cual se obtiene dividiendo la envergadura al cuadrado por el área del ala; es decir un ala con alta relación de aspecto es larga y estrecha y sufre poca resistencia al avance.

Por ejemplo, aquellas especies que viven en hábitats con muchos obstáculos, como los bosques, tienen que disponer de maniobrabilidad y por lo tanto tienen cargas de alas bajas. Sin embargo, aquellas especies que habitan en espacios abiertos, necesitan volar rápida y eficazmente, por lo tanto, poseen una alta relación de aspecto, que les confiere alta carga de alas.

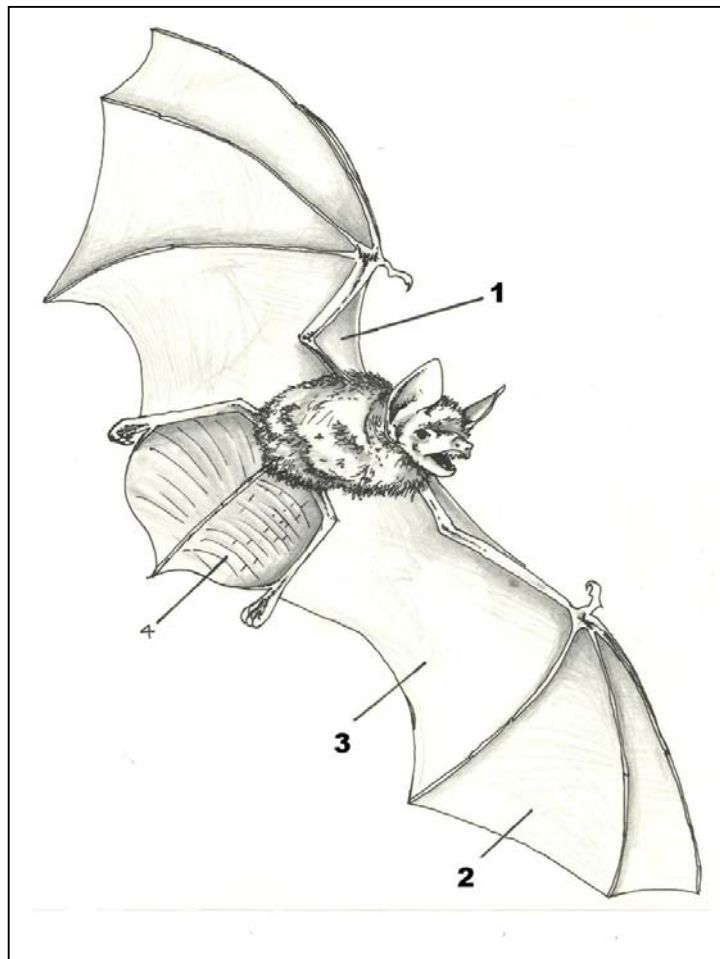


Figura 1: ANATOMÍA ALAR

Especie del genero *Myotis*; 1:Propatagio; 2: Dactilopatagio; 3: Plagiopatagio y 4: Uropatagio.  
Tomada de ORDUÑA-VILLALOBOS (2010).

## Extremidades inferiores o Patas

Al igual que las alas, las extremidades inferiores, están adaptadas para la locomoción en el aire.

Comenzando por el hecho de que el hueso superior de las patas, ha rotado unos 180 grados de la posición común dentro de los mamíferos, lo que provoca que las rodillas se flexionen hacia atrás (Macdonald 2006).

---

La parte inferior de la pata está formada por un único hueso: la tibia. Así mismo, las patas carecen de la capacidad de soportar el peso del individuo. Ambas características son usadas para poder maniobrar mejor el UROPATAGIO. Allí, existe un hueso que partiendo del talón de cada pata, sostiene y gobierna el movimiento de la membrana, llamado calcáneo.

Las extremidades inferiores están, por lo tanto, más adaptadas para tirar que para empujar. Cuando los murciélagos perchan (descansan sobre alguna superficie) lo hacen con todo el peso suspendido sobre los dedos de los pies y sus garras desarrolladas. La mayoría de los quirópteros poseen un mecanismo de sujeción de tendón que mantiene las garras flexionadas sin necesidad de una contracción muscular. (Hill *et al*; 1984, Altrigham, 1999; Airas, 2003; Macdonald, 2006 y Medellín, 2008)

## Esqueleto y Musculatura

En conjunto, el esqueleto de los murciélagos posee una composición muy liviana, de no ser así, no podrían surcar los cielos a su antojo (Figura 2).

Si bien, la estructura ósea está plenamente aclimatada al vuelo, los músculos son los que transmiten la energía requerida para dicha faena. Su musculatura está tan especializada que trabaja eficientemente en la locomoción aérea y en la locomoción terrestre (Altrigham, 1999; Airas, 2003; y Medellín, 2008).

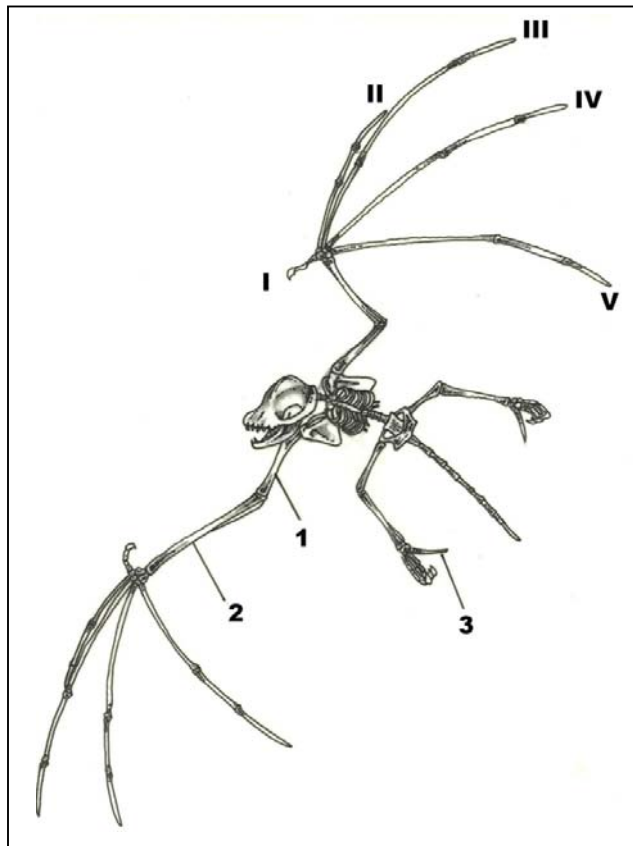


Figura 2: ESQUELETO

Esqueleto de murciélago del género *Myotis*; I: Pulgar; II: Índice; III: Medio; IV: Anular y V: Meñique; 1: Húmero; 2: Radio y 3: Calcáneo

Tomada de ORDUÑA-VILLALOBOS (2010).

## Sistemas cardiovascular y respiratorio

Durante el vuelo, el consumo de oxígeno en kg por unidad de tiempo, es aproximadamente el doble que en los mamíferos corredores. Cuando los murciélagos despegan, su ritmo respiratorio se incrementa al grado de igualarse con el ritmo de aleteo.

Asimismo el corazón, el cual es tres veces más grande que el de un mamífero de similar tamaño, puede bombear el oxígeno imprescindible para el vuelo sostenido (Altrigham, 1999; Airas, 2003; y Medellín, 2008).

---

## Morfología facial

Dentro de los mamíferos no existe alguno que posea una heterogeneidad tan marcada en lo que a la anatomía del cráneo respecta (Figura 3). Dicha característica es consecuencia de la dieta que cada especie posee, por ejemplo, aquellos que aprovechan a los insectos voladores como fuente de nutrientes, conservan un hocico reducido, con una hoja nasal prominente y orejas grandes (Apartado 1.2.1). Esto se debe, a que confían plenamente en la ecolocación para la obtención de sus presas, a diferencia de aquellos que consideran más deleitable el néctar de las flores, que poseen de un hocico largo y afilado pero orejas cortas y de tamaño menor (Altrigham, 1999; Airas, 2003; Dos Santos, 2008y Medellín, 2008).

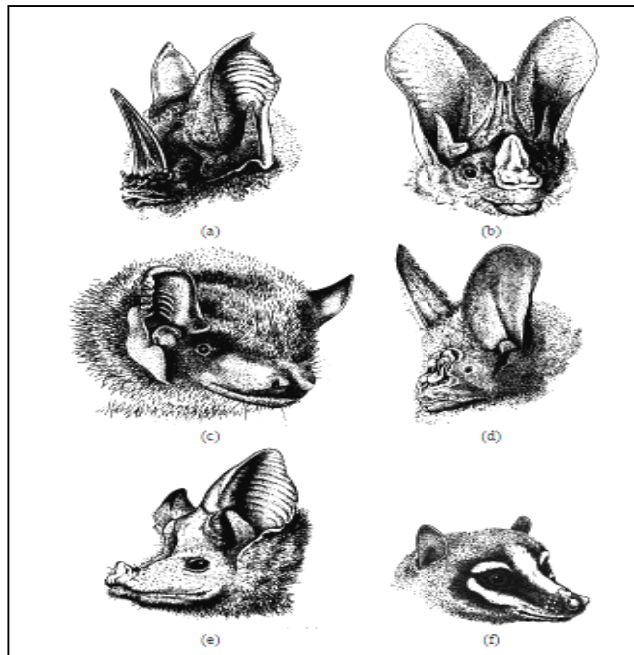


Figura 3: DIFERENTES TIPOS DE RASGOS FACIALES

(a) *Lonchorhina aurita*, (b) *Macroderma gigas*,  
(c) *Nyctalus noctula*, (d) *Nycteris grandis*, (e) *Rhinopoma  
hardwickei*, y (f) *Pteropus personatus*. *P. personatus*  
Imagen obtenida de AIRAS (2003).

---

### 1.1.2 Dieta

Los rasgos faciales indican la alimentación de las especies de murciélagos. Del interés del estudio son aquellos quirópteros insectívoros, es decir, que se alimentan de artrópodos voladores.

Alrededor del 70% de las especies de murciélagos son insectívoros y en términos generales tienen preferencia por insectos de los órdenes Dictyoptera, Diptera, Lepidoptera, Neuroptera y Orthoptera. Estos animales poseen una importancia ecológica considerable, dado que son capaces de mermar las poblaciones de insectos drásticamente (Ducummon, 2002 y Altringham, 2008).

Para la agricultura este es un servicio imprescindible. Por ejemplo, un solo individuo de *Myotis lucifugus* es capaz de depredar 1,200 insectos del tamaño de un mosquito en una hora; una colonia de tan solo 150 individuos de *Eptesicus fuscus* pueden proteger a los granjeros de 33 millones de escarabajos al año y en México las congregaciones de *Tadarida brasiliensis* pueden consumir alrededor de 2 toneladas de insectos cada noche (Ducummon, 2002).

La mayoría de los murciélagos insectívoros son de tamaño pequeño, esto les permite maniobrar de mejor manera durante la cacería de sus presas. El tamaño del depredador esta en relación con el tamaño de su presa esclarece Altringham (1999), bajo esta condición los cazadores seleccionan la presa más provechosa en términos energéticos. Un insecto demasiado grande, requerirá demasiado tiempo para ser atrapado y esto va a repercutir en un gasto innecesario de energía. Si por el otro lado, el insecto es demasiado pequeño, no será posible abastecer los requerimientos energéticos, dado que, requerirá un mayor número de presas y eso se traduce en un mayor gasto durante la cacería.

El número y tamaño de dientes, el tamaño de la mandíbula, la forma de la cresta craneal, donde los músculos usados para masticar se insertan son características relacionadas con el tipo de dieta que los murciélagos pueden tener. Sin embargo la herramienta más efectiva usada para la cacería de insectos voladores es la ecolocación (Capítulo 3).

---

### 1.1.3 Taxonomía

El Orden de los Quirópteros está dividido en dos subórdenes, los Megachiroptera, (los cuales se alimentan de néctar, polen, frutos y flores) con tan solo 167 especies y los Microchiroptera con 834 especies, según Hutson (2001). Dentro de este último suborden se encuentran las familias de las especies estudiadas.

Ceballos en su libro “Mamíferos silvestres de la cuenca de México” (1984) y Medellín *et al*, en su libro “Identificación de los Murciélagos de México” hacen una descripción exacta de las características de las familias de nuestro interés, enumeradas a continuación.

#### Familia Vespertilionidae

Sin duda una de las familias más ampliamente distribuidas en el mundo, se caracteriza por carecer de pliegues, hojas nasales y otras estructuras faciales. Las orejas tienen un trago bien desarrollado. La cola es larga y está incluida, casi por completo, en la membrana interfemoral (uropatagio), a excepción de una pequeña porción distal. En la cuenca de México podemos encontrar las especies del género *Myotis*, *Eptesicus*, *Lasiurus*, *Idionycteris* y *Plecotus*.

#### Familia Molossidae

Una de las características más representativas de esta familia, es el rostro semejante a la de los perros de raza bulldog. La cola se prolonga más allá de la pequeña membrana interfemoral y le da un aspecto inconfundible. Las orejas son redondeadas, grandes y anchas y se proyectan hacia adelante. Sus alas son estrechas y en las patas se pueden apreciar pelos, que se extienden más allá del borde externo de las mismas. Son extremadamente gregarios y pueden formar colonias muy numerosas, de hasta 20,000,000 de individuos. En la cuenca de México se encuentran los géneros *Tadarida*, *Molossus* y *Eumops*.



---

## 1.2 Bioacústica

Se recomienda hacer una revisión al Apéndice 1, el cuál posee las bases del estudio del sonido, para poder así tener una mejor comprensión de este capítulo.

La ecolocación es un fenómeno complejo, que le ha concedido a los murciélagos la habilidad de explotar un nicho ecológico existente para todos, pero elegido por unos cuantos, el cielo nocturno. Este proceso se resume, como el análisis del eco producido por el sonido al rebotar en alguna superficie solida, con el cual el animal genera una imagen precisa de sus alrededores y sus presas (Simmons, 1979; Bradley, 2002; Airas, 2003 y Rizo, 2008).

### ¿Qué fue primero el vuelo o el sonido?

Como se mencionó anteriormente (Apartado 1.1.1 - Adaptaciones para el vuelo) el vuelo y la ecolocación tienen una relación fuerte, la cual se ha forjado a través de la evolución. Para poder adentrarnos propiamente, a la manera en que el sonido es usado por los quirópteros, es importante entender su proceder.

Ha existido un debate sin fin acerca de que existió primero, la capacidad de vuelo o la ecolocación en los murciélagos. Speakman (2008) describe que hay dos hipótesis.

La primera se explica con base en la existencia de pequeños mamíferos terrestres o arbóreos que usaban la ecolocación para detectar insectos voladores y así poder atraparlos mientras volaban. Esto, ocasionó que los brazos y dígitos se prolongaran en forma de trampas para incrementar su eficiencia en el momento de la cacería. Eventualmente desarrollaron la capacidad de saltar distancias largas usando los brazos como planeadores y permitiéndoles alimentarse desde perchas y con el paso del tiempo esto dio origen al vuelo sostenido. En la actualidad existen algunas especies de musarañas que poseen sistemas rudimentarios de ecolocación.

Sin embargo, Speakman (2008) está a favor de la segunda hipótesis, la cual señala que el vuelo fue el primero en desarrollarse. Esta idea se sustenta, con el hecho de

---

que, la ecolocación es extremadamente costosa a nivel energético y esto explica el por qué los animales terrestres no pueden desarrollar sistemas de ecolocación complejos. En los quirópteros este gasto desaparece. Existe un acoplamiento notable del batir de alas, con la ventilación de los pulmones y la emisión del sonido de ecolocación. Cuando los murciélagos perchan, requieren contraer la musculatura para generar el sonido de manera eficaz, es en este punto donde el gasto de energía es mayor, por otro lado, durante el vuelo dichos músculos ya están contraídos, por lo tanto este gasto energético es nulo durante la emisión del sonido.

El siguiente punto a resolver, fue el hecho de conocer cómo los quirópteros volaban en la oscuridad antes de desarrollar un sistema de orientación. La postura más aceptada, indica que sus ancestros eran diurnos y se desplazaban utilizando la visión. Con la aparición de depredadores voladores, tuvieron que esperar hasta caer la noche para poder realizar sus actividades cotidianas, dando origen así a la ecolocación.

Remitiéndonos a las pruebas fósiles, hasta hace algún tiempo el murciélago más antiguo era el *Icaronycteris index*, que vivió hace 52.5 millones de años y que ya poseía una cóclea muy desarrollada, característica peculiar de los murciélagos actuales. Recordemos que la Cóclea, es una estructura en forma de tubo, enrollado en espiral, situado en el oído interno, es tan vulgarmente conocido como Caracol.

A pesar de la evidencia fósil anteriormente mencionada, en Wyoming, USA se encontró un fósil de misma edad que *I. index*, el cual fue bautizado con el nombre de *Onychonycteris finneyi* ("murciélago con garras", debido a que posee las 5 falanges), características aun más primitivas.

Este ejemplar posee alas anchas y cortas, lo cual le permitía planear entre el aleteo, pero sus cócleas, de tamaño reducido y la ausencia de aparato laríngeo capaz de producir ultra frecuencias, indicaban que no podía ecolocalizar. Dos Santos (2008) lo expresa de manera concreta, *O. finneyi* podía volar perfectamente, pero navegaba y cazaba visualmente. Por lo tanto, hasta el momento se sabe que el vuelo fue antecesor a la ecolocación.

---

### 1.2.1 Anatomía Acústica

Para poder realizar el vuelo sostenido, los murciélagos desarrollaron órganos especializados, mencionados con anterioridad en el apartado de “Anatomía General”, a su vez para emitir y recibir el sonido, son indispensables ciertas estructuras particulares, las cuales hacen que la anatomía facial sea variada. La forma de las estructuras emisoras y receptoras están directamente relacionadas con la alimentación de cada especie (Apartado 1.1.1 - Morfología facial).

#### Órganos emisores

Altringham (1999), Airas(2003) y Seco (2006) concuerdan con el hecho de que el **sonido** es emitido por la laringe y que en comparación con otros mamíferos, es considerablemente más larga. Muchas especies de Microquirópteros, poseen membranas vocales, las cuales son extensiones delgadas de las cuerdas vocales, estas últimas están tensionadas por poderosos músculos. Dichas membranas le permiten al animal incrementar la eficiencia y la intensidad del sonido (Figura 4).

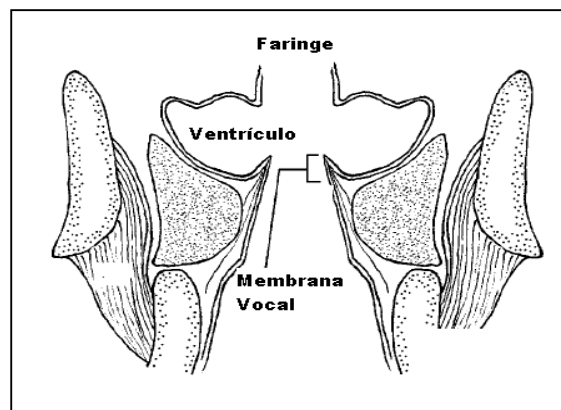


Figura 4: ESQUEMA DE CUERDAS VOCALES

Imagen obtenida de AIRAS (2003).

El sonido una vez generado en las cuerdas vocales, es transmitido hacia la hoja nasal o hacia el hocico. La hoja nasal, es una prolongación cartilaginosa de morfología variada, que actúa como un canalizador acústico, direccionando el sonido hacia donde el murciélago desee (Figura 5).

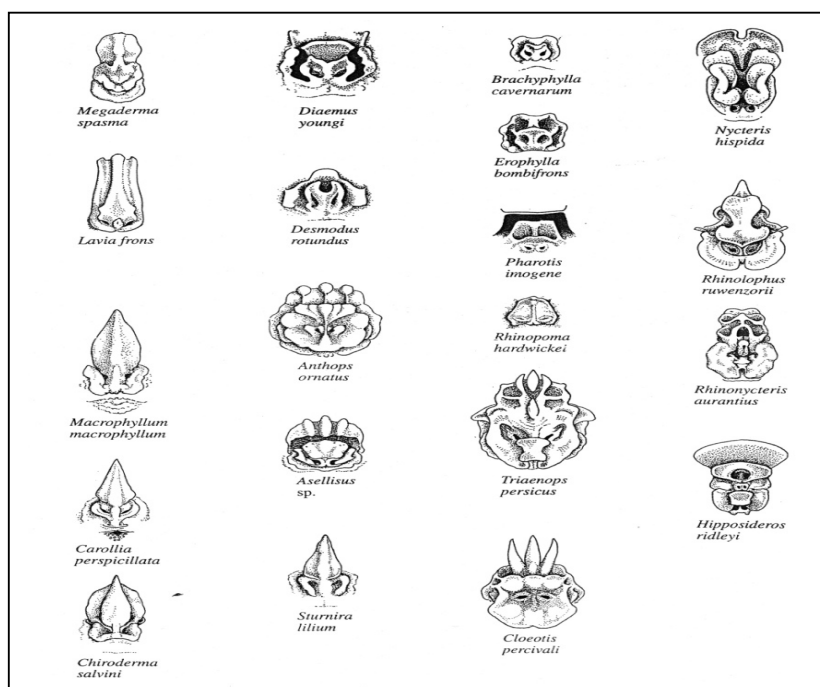


Figura 5: ESQUEMA DE HOJAS NASALES DE DIFERENTES ESPECIES

Imagen obtenida de ALTRINGHAM (1999).

## Órganos receptores

El sistema auditivo sigue un esquema similar al del resto de los mamíferos. Poseen Pinnae (orejas) proporcionalmente grandes que son a menudo mayores que el tamaño del cráneo (Figura 6).

También presentan una proyección cartilaginosa en la base de la oreja llamada Trago. En conjunto, ambas estructuras funcionan limitando el área de recepción y mejorando la sensibilidad para captar eco. (Airas, 2003 y Seco, 2006).

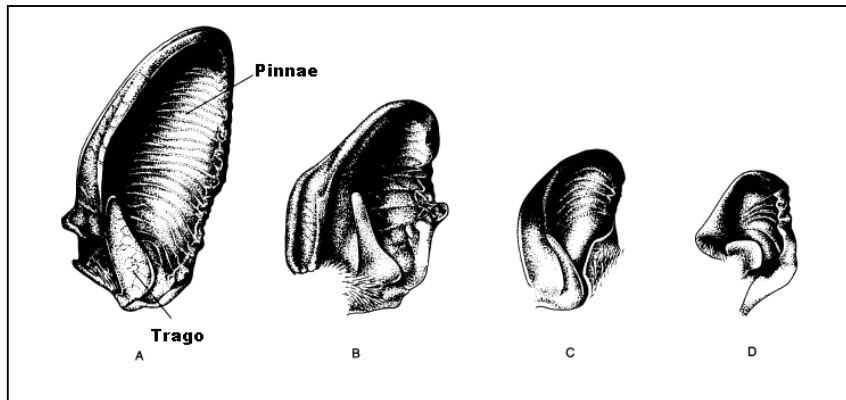


Figura 6: ESQUEMA DE PINNAE Y TRAGO DE DIFERENTES ESPECIES

(a) *Plocotus auritus*, (b) *Barbastella barbastrellus* (c) *Myotis daubentonii* y  
(d) *Nyctalus noctula*

Imagen obtenida de AIRAS (2003).

El sonido es canalizado hacia el oído interno y hace vibrar el tímpano. Este último es considerablemente delgado.

El oído medio, posee dos conjuntos musculares:

El tensor del tímpano, que permite al tímpano mantener su tensión, y el músculo Estapedio, que bloquea parte del sonido que incide sobre el tímpano, contrayéndose unos 10 milisegundos antes de la emisión ultrasónica, y relajándose después, por lo que actúa efectivamente como un control automático de ganancia de la señal acústica, evitando que el sonido dañe la cóclea; órgano extremadamente sensible (Figura 7).

Por último la cóclea, (Apartado 1.2 - ¿Qué fue primero el vuelo o el sonido?), puede alcanzar en algunas especies un tercio del tamaño del cráneo. Este órgano tiene como tarea categorizar el sonido por su frecuencia antes de ser interpretada por el cerebro, con ayuda de células ciliares, las cuales transforman las señales mecánicas en nerviosas (Airas, 2003).

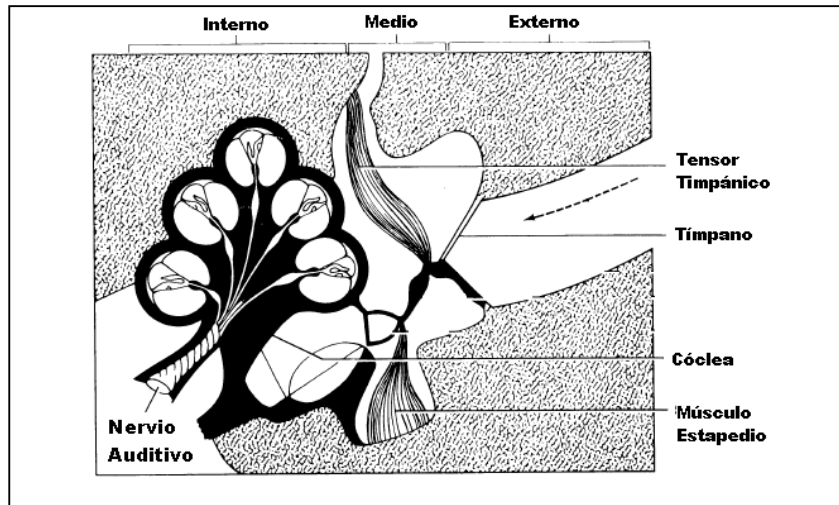


Figura 7: ANATOMÍA DEL OIDO MEDIO E INTERNO

Imagen obtenida de AIRAS (2003).

## 1.2.2 Fisiología Acústica

El sonido emitido por los murciélagos, posee un rango de **frecuencia** que va desde los 20 kHz a los 120 kHz (ultrasonido), entre más alta es la frecuencia más corta es la **longitud de onda** y viceversa. Altringham (1999) explica las razones por las cuales, estos organismos utilizan este tipo de ondas y no otras, como el infrasonido por ejemplo.

Como factores secundarios, el ultrasonido evita que ciertos depredadores sean alertados de su presencia, pero, el principal uso que se le da es la discriminación de los objetivos.

En otras palabras, se sabe que a frecuencias altas, la longitud de onda disminuye, a sonidos de 100 kHz, 50 kHz y 10 kHz la longitud de onda es 3.4 mm, 6.8 mm y 34 mm respectivamente. El sonido más efectivo para localizar un objeto, es aquel que posee una longitud de onda similar a la longitud del objeto en cuestión. Por lo tanto, las altas frecuencias son usadas según el tamaño de los insectos que conforman la dieta de los murciélagos, que en su mayoría, son de tamaño pequeño.

---

### 1.2.3 Tipos de Frecuencia

El sonido durante la ecolocación es emitido en forma de pulsos, esto quiere decir que no se produce de manera continua, sino que, existen periodos de silencio entre cada emisión de sonido. Los pulsos emitidos pueden estar representados de 2 maneras diferentes: frecuencia modulada (FM) y frecuencia constante (FC).

El mecanismo de utilización de estas frecuencias durante la cacería de insectos voladores será descrito en el apartado 3.3.2.

#### Frecuencia Modulada

Cuando la frecuencia en los pulsos no es constante, sino que puede ser modificada (modulada) entonces nos encontramos con la FM.

Dichos pulsos se caracterizan por tener duraciones muy cortas, normalmente de entre 2 a 5 milisegundos, en algunos, de menos de 0.2 milisegundos.

La FM es utilizada para obtener una mejor imagen tridimensional del ambiente, una mejor percepción de la distancia del objetivo y también detalles de la estructura del objeto en cuestión (Figura 8).

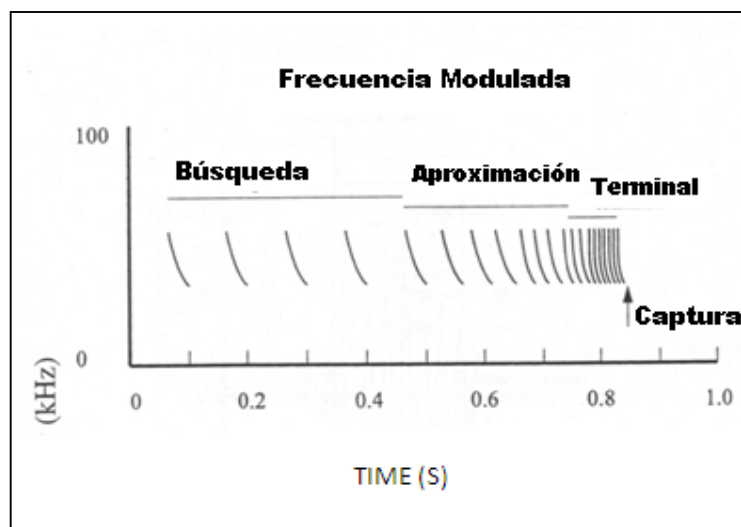


Figura 8: SONOGRAMA CON PULSOS DE FRECUENCIA MODULADA

Imagen obtenida de ALTRINGHAM (1999).

---

## Frecuencia Continua

En contra posición a la FM, la Frecuencia Continua está formada por pulsos de larga duración, de entre 10 a 15 milisegundos. Altringham (1999) notó que las altas frecuencias son susceptibles a ser atenuadas rápidamente en el aire, la manera de permitir que el sonido se mantenga estable es por medio de la concentración de la mayor cantidad de energía en una sola frecuencia (Figura 9).

Este tipo de frecuencias son efectivas para detectar presas en ambientes abiertos (con escasa vegetación) ubicados en distancias largas.

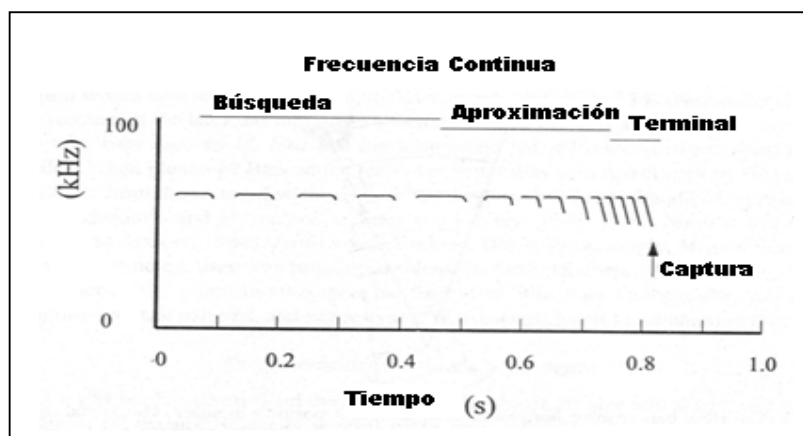


Figura 9: SONOGRAMA CON PULSOS DE FRECUENCIA CONTINUA

Imagen obtenida de ALTRINGHAM (1999).

### 1.2.4 Sobre posición eco/pulso

Tomando en cuenta que la velocidad del sonido es de 340 m/s, el **eco** resultante del rebote en un objeto, a un metro de distancia, es percibido por el murciélago 5.9 milisegundos después de ser emitido el pulso. Si el murciélago emite un pulso de mayor duración que 5.9 milisegundos, entonces podrá percibir el eco mucho antes de terminar la emisión del sonido, a este fenómeno se le conoce como sobre posición eco/pulso. Este se convierte en un problema, dado que la señal no es procesada completamente y el murciélago no obtiene ninguna información útil.



---

### 1.2.5 Ecolocación usada en la cacería de presas voladoras

En este apartado se unifican las propiedades físicas del sonido para poder entender cómo es que los murciélagos se alimentan durante la noche.

#### Señales de ecolocación

El proceso de cacería o forrajeo consta de tres fases: Búsqueda, Aproximación y Terminal. Cada una de ellas posee una serie de pulsos, que en la mayoría de los casos, son una mezcla entre la FM y FC. Al conjunto de pulsos se le conoce como “señal” (Figura 10).

Las señales cuyos pulsos poseen una composición de FC y finaliza con FM, se les conoce como “señales genéricas”. Algunas especies emiten solo uno de los componentes y otras tantas combinaciones como FM-FC-FM.

En la primera fase, conocida como Búsqueda, las señales transmitidas son principalmente FC, con una frecuencia de repetición baja cada 50 – 100 ms. Esto proporciona gran sensibilidad para la detección de presas y para determinar cualquier desplazamiento Doppler producido por el batido de las alas de los insectos.

La segunda fase, Aproximación, posee pocos componentes FC, y los pulsos FM son aumentados, incrementando la frecuencia de repetición cada 10-50 milisegundos. El murciélago ajusta la duración de la señal ultrasónica para que su longitud sea un poco menor al doble de la distancia que lo separa de la presa, llenando literalmente todo el espacio entre ellos con sonido.

Por último, está la fase Terminal, en donde los pulsos de FM tienen muy corta duración y son extremadamente verticales, la frecuencia de repetición es muy alta va desde 4-7 milisegundos y se le da el nombre de “bus de alimentación” (Altringham, 1999 y Airas, 2003).

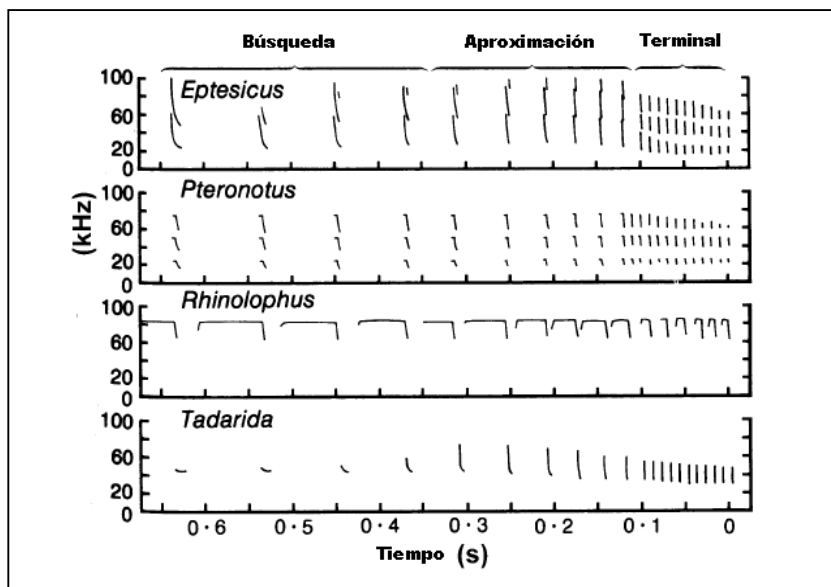


Figura 10: FASES DE CACERÍA

Imagen obtenida de AIRAS (2003).

Figura 10: FASES DE ALIMENTACIÓN

## Posicionamiento de las presas en el espacio tridimensional

Para la detección y el posicionamiento de la presa, los murciélagos ubican tres puntos espaciales: profundidad, acimut y elevación (Figura 11).

La profundidad o rango en la cual se encuentra la presa, es detectada por el retraso que existe entre la emisión del sonido y la percepción del eco al rebotar, a su vez el efecto Doppler juega un papel importante en dicha tarea (Apartado 1.2.7).

El acimut o desviación horizontal, indica que tan a la derecha o izquierda se encuentra el insecto con relación a la fuente emisora del sonido. Y se calcula por la diferencia de tiempos de recepción del sonido de cada oreja por separado. Si la oreja izquierda es la primera en recibir la señal, el insecto se encuentra en esa dirección y lo mismo ocurre si es la oreja derecha la que percibe primeramente la señal.

La elevación o desviación vertical, indica a qué altura se encuentra la presa y es reconocida por la diferencia del tiempo que tarda en llegar el sonido a diferentes alturas del pabellón auditivo (Seco, 2006).

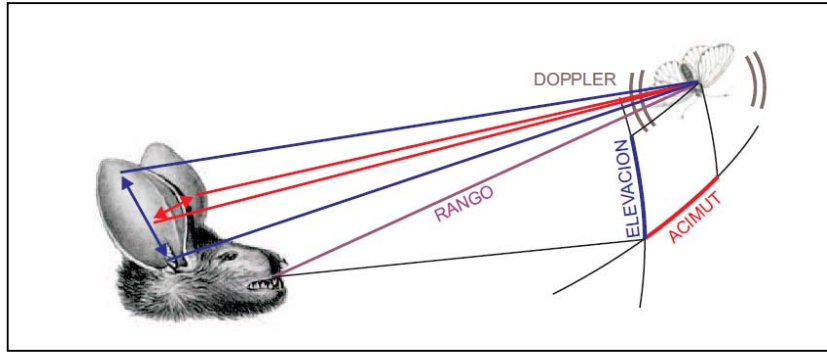


Figura 11: POSICIONAMIENTO DE LA PRESA

Imagen obtenida de SECO (2006).

### 1.2.6 El uso de los armónicos

Además de los componentes principales, es decir FM1, FC1, el murciélago puede emitir **armónicos** a frecuencia doble (FM2,FC2), triple (FM3,FC3), etc. (Figura 12). Los armónicos son usados para identificar su propia señal en situaciones de intensa interferencia por otros individuos. De esta manera, el murciélago puede utilizar todo el **ancho de banda** del que dispone (Altringham, 1999).

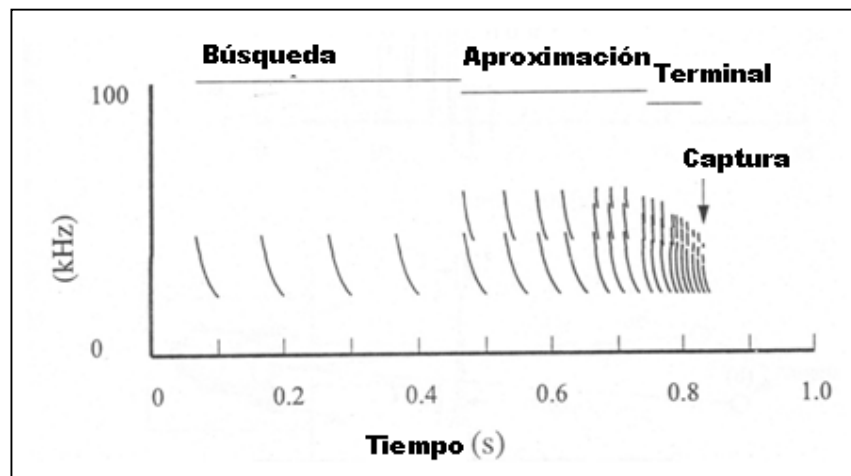


Figura 12: SONOGRAMA DE PULSOS QUE PRESENTAN ARMÓNICOS

Imagen obtenida de ALTRINGHAM (1999).

---

### 1.2.7 La ecolocación en conjunto con el Efecto Doppler

En la ecolocación, la frecuencia del eco será determinada por la combinación de la velocidad del murciélago y del insecto. Es decir, el eco recibido por un quiróptero aproximándose a un insecto inmóvil, sufrirá un incremento en su frecuencia, así mismo, el incremento en la frecuencia será aún mayor en el momento en que el insecto se aproxime al depredador.

Altringham (1999) afirma que existe evidencia del uso de las características del **Efecto Doppler** para calcular su velocidad en relación con otros objetos alrededor suyo.

Por ejemplo, un murciélago que emite pulsos de FC con una frecuencia de 82 kHz y el se desplaza a una velocidad de 5 m/s. El pulso será comprimido y el eco será registrado con una frecuencia de 84 kHz. En ese momento el individuo hará un cambio de frecuencia, emitiendo pulsos a 80 kHz, de esta manera el eco será registrado con una frecuencia de 82 kHz. La especie en cuestión es particularmente sensible al sonido que está entre los 82 – 83 kHz, por esta razón es importante el ajuste de frecuencias durante el vuelo. La sensibilidad a ciertas frecuencias está determinada por la cóclea, por lo tanto, cada especie posee rangos óptimos de identificación de sonido diferentes entre sí. Son estas características, la clave importante para clasificar individuos de diferentes especies.

Si bien, las propiedades del efecto Doppler son útiles durante la cacería, son aun más importantes para la percepción del entorno y los obstáculos durante el vuelo a velocidades altas (Altringham, 1999).

### 1.2.8 Percepción del entorno y forrajeo como uno solo.

Los murciélagos se desplazan siguiendo rutas más o menos estables entre sus lugares de forrajeo y las de descanso, memorizando marcas sobre la ruta. En conjunto durante la alimentación, los murciélagos deben ser capaces de distinguir sus presas al mismo tiempo que su entorno, para evitar el choque mientras forrajean.

Cada especie posee un estilo de forrajeo diferente, provocando que cada especie desarrolle formas particulares en la emisión del sonido y por consecuencia ocupen nichos ecológicos variados entre sí.

Como por ejemplo, aquellas especies que poseen alta relación de aspecto (Apartado 1.1.1 - Extremidades Superiores o Alas) tienden a forrajear en espacios abiertos por debajo de la vegetación, concentrando la frecuencia de sus pulsos entre los 15-30 kHz, de esta manera pueden detectar presas a largas distancias. Esta estrategia es utilizada por varios Vespertilionidos y Molósidos.

También existen especies que pueden alimentarse dentro y fuera de la vegetación. Estas especies poseen una carga alar baja (Apartado 1.1.1 -Extremidades Superiores o Alas). Esta característica les permite identificar insectos en movimiento, contrastándolos con el entorno. Normalmente estos murciélagos emiten pulsos por arriba de los 50 kHz.

El conocer las frecuencias de los pulsos, ayuda a identificar las especies que se encuentran en localidades determinadas. Así como también, permiten distinguir sus hábitos de forrajeo y por lo tanto los nichos ecológicos que pueden ocupar (Altringham, 1999 y Airas, 2003).

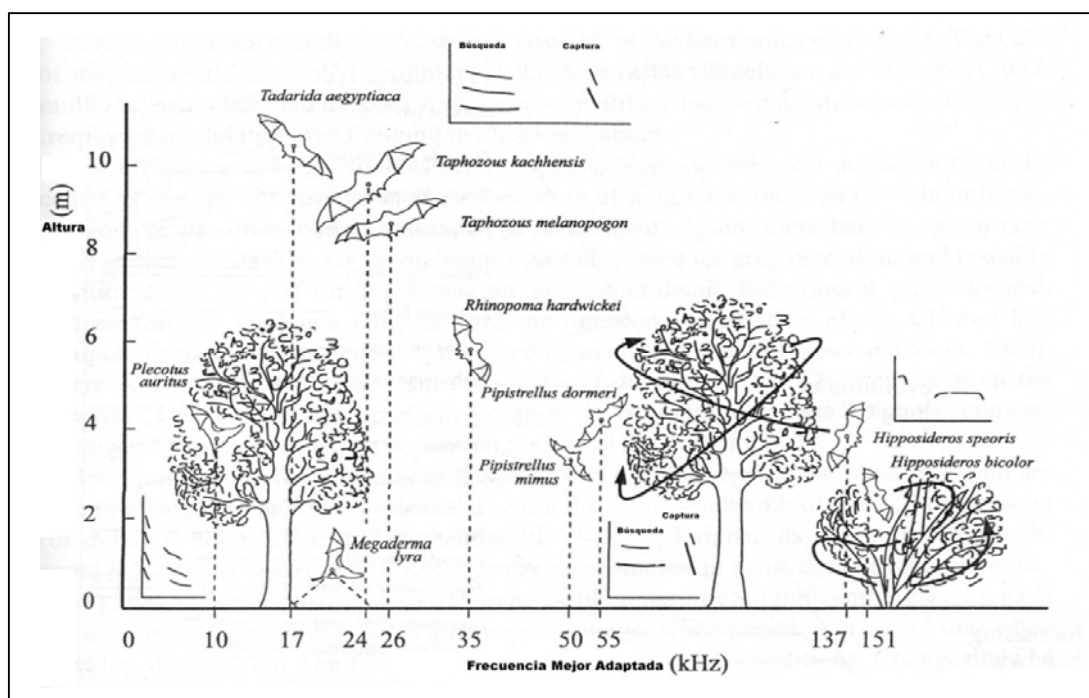


Figura 13: ESTRATEGIA DE FORRAJEО DE DIFERENTES ESPECIES

Imagen obtenida de ALTRINGHAM (1999).

---

## 1.3 Ecología

Los quirópteros no sólo son organismos altamente especializados para ocupar el cielo nocturno, también son muy sensibles a las modificaciones en su ambiente. La supervivencia de estos animales, depende de su adaptación a dichas alteraciones.

### 1.3.1 Factores ambientales

La alimentación es indispensable para poder mantener la temperatura corporal de los murciélagos.

Cuando los animales son bastante pequeños en tamaño, requieren consumir un equivalente mayor que su propio tamaño corporal en alimento. La razón por la cual se requiere una gran cantidad de nutrientes es porque, cuando el tamaño de un animal decrece, pierde una gran cantidad de calor debido a las condiciones ambientales. Proporcionalmente, un animal pequeño, posee una mayor área en comparación con el volumen relativo de su cuerpo, el cuál genera la energía necesaria para mantenerlo cálido; nos explica Macdonald, 2006 (Figura 14).

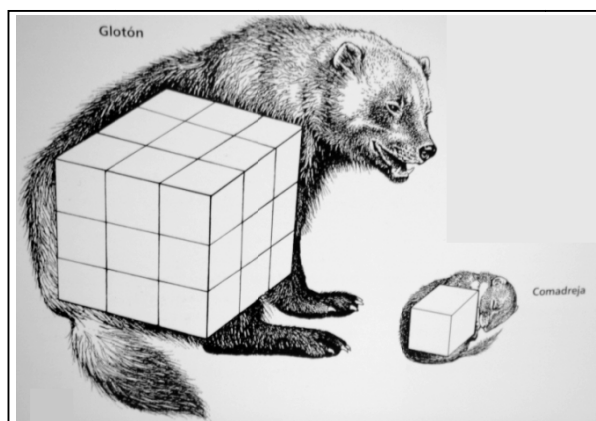


Figura 14: METABOLISMO EN MAMÍFEROS

Imagen obtenida de MACDONALD,  
2006.

Factores como intensidad lumínica, temperatura y humedad tienden a cambiar durante el día (ciclos circadianos) y durante el año (ciclos circanuales) afectando directamente el desarrollo de los murciélagos en su hábitat.

---

---

En el caso de la intensidad lumínica, se ha visto que los murciélagos retrasan la búsqueda de alimento, en noches de luna llena, posiblemente para evitar encuentros con depredadores, explican Altingham (1999) y Meyer (2004).

Por otro lado si la temperatura decrece, las poblaciones de insectos también lo hacen, y por lo tanto, no existe suministro de energía que les permita mantener su temperatura corporal, este hecho tiene como consecuencia que los murciélagos entren en estado de torpor o hibernación (Apartado 1.3.2), Ceballos (1984) recalca que las poblaciones de insectos aumentan durante la época de lluvias y es cuando la obtención de alimento para los quirópteros es segura.

### 1.3.2 Torpor e Hibernación

En aquellas temporadas adversas, como lo es el invierno, los murciélagos utilizan un mecanismo de compensación y almacenamiento de energía, que consiste en, disminuir su temperatura corporal de modo lento y controlado hasta igualarse con los niveles ambientales; este mecanismo se le conoce como torpor. La hibernación por otro lado, es un estado prolongado de torpor y puede llegar a durar días, semanas o meses en respuesta de una prolongada disminución en la temperatura ambiental.

En estado de torpor o hibernación, el ritmo cardíaco puede bajar de 400 latidos por minuto hasta 11-25. Los lugares donde hibernan pueden cambiar de temperatura: desde -10 °C hasta 21 °C, por ejemplo un murciélago pardo de grandes orejas, a una temperatura de 5 °C, consume solamente el 0.7% de energía que requeriría en plena actividad.

Durante la temporada de letargo, los murciélagos perchan en minas, grietas, árboles y cuevas; dependiendo de las características del ecosistema.

En las zonas de refugio, se apiñan buscando calor y mayor protección de los depredadores.

En términos fisiológicos lo que ocurre en la hibernación es:

- Una disminución controlada de la temperatura corporal.
- Una disminución en el consumo de O<sub>2</sub>, ritmo respiratorio, ritmo cardíaco y ritmo metabólico.

- 
- Vasoconstricción periférica y en algunos casos la restricción del flujo sanguíneo con excepción de algunos órganos vitales.
  - Capacidad de reavivarse espontáneamente e independientemente de la temperatura ambiental.

Las características previamente mencionadas, con respecto al torpor e hibernación están más profundamente explicadas por Altringham, (1999) y Macdonald (2006).

### 1.3.3 Zonas urbanas

Gehrt (2008), hace mención que el proceso de urbanización transforma dramáticamente el paisaje natural y como consecuencia un gran número de organismos se ven afectados, incluidos los murciélagos. Este problema ha provocado la disminución en las poblaciones de ciertas especies, sin embargo, existen algunas lo suficientemente fuertes como para encontrar en las zonas urbanas, los requerimientos ambientales necesarios para su supervivencia.

Dentro de las zonas urbanas, han surgido parches de vegetación natural, rodeados de edificios y estructuras artificiales, dentro de los cuales, se desarrollan micro hábitats con características únicas y que para evitar su completa desaparición, en su mayoría, son considerados áreas naturales protegidas. Ávila (2003), describe que la heterogeneidad de plantas que habita los parches, incrementa la riqueza de insectos y a su vez otorga zonas de descanso y protección.

Se ha observado que las lámparas blancas de las calles atraen una gran cantidad de atropodos voladores, fuente alimenticia que no es desperdiciada, los murciélagos adaptados para vuelo rápido son los primeros en aprovechar dicho festín (Altringham, 199; Ávila, 2003 y Gehrt, 2008).

El vuelo permite a los quirópteros desplazarse entre parches para satisfacer sus necesidades. Y mientras los requerimientos de alimento y de zonas de protección durante el invierno queden resueltos, estos animales podrán desarrollarse de manera adecuada, aun en las zonas más urbanizadas.



---

## Capítulo 2

### Estudios Precedentes

Con anterioridad se ha mencionado la importancia que poseen los murciélagos en la merma de poblaciones de insectos y también el hecho de que estos animales se han adaptado para ocupar un nicho ecológico único, el cielo nocturno.

Alrededor del mundo, la herramienta más frecuentemente utilizada para el estudio de los quirópteros, es el análisis de las ondas sonoras, que permite identificar las especies encontradas en localidades determinadas, los momentos en el tiempo en los cuales es más factibles encontrar animales forrajeando, la variación en su densidad e incluso para conocer aquellas especies mejor adaptadas dentro de los parches urbanos.

#### 2.1 Europa

El agua atrae a todos los murciélagos y ya que todos los cuerpos de agua poseen características particulares, la diversidad de especies de quirópteros es de esperarse. Es decir, hay preferencia por algunas especies para determinados cuerpos acuáticos.

La detección acústica fue una herramienta significativa para detectar que especies se encuentran en un estanque natural en medio del bosque y en un estanque con riachuelo contiguo a un pequeño poblado, ambas localidades dentro de territorio polaco.

Ciechanowski (2002) encontró que las especies que utilizaban las zonas anteriormente mencionadas como bebederos, eran diferentes entre sí. Por arriba del río la especie dominante fue *Myotis daubentonii* en un 84%, en el reservorio forestal las especies dominantes fueron *Nyctalus noctula* (63%) y *Pipistrellus nathusii* (21%) y estas dos últimas especies junto con *Eptesicus serotinus*, dominaron en la laguna vecina al poblado.

El índice de diversidad más alto fue en las pequeñas lagunas, mientras que la actividad, fue considerablemente mayor en el río.

---

Este fenómeno ocurre debido a que para algunos murciélagos, les resultan más accesibles ciertos cuerpos de agua, dependiendo de su anatomía y su estilo de vuelo.

## 2.2 África

Meyer y cols; (2004) hacen hincapié en la importancia del uso de detectores ultrasónicos para el estudio de quirópteros. En el parque nacional de Camoe, en Costa de Marfil, se realizó el análisis acústico en cinco sectores, dentro de tres diferentes tipos de hábitat.

Los resultados revelan que la actividad es significativamente y positivamente mayor en aquellas zonas en donde la disponibilidad de alimento (insectos) es grande, sin embargo, también se percataron de que la luz de la luna tiene un impacto negativo en la actividad, encontrándose así la menor tasa de actividad durante las noches de luna llena.

## 2.3 Oceanía

Stuart (2002) y cols; puntualizan en una investigación realizada en Australia, que el estudio de los llamados durante la fase de búsqueda (Apartado 1.2.5 – Señales de ecolocación) es una herramienta fundamental para la identificación de especies. Sin embargo, la identificación se puede ver afectada por variaciones intraespecíficas de los pulsos. Se ha visto que el sonido de algunas especies varía según el sexo, la edad, el hábitat y la región geográfica.

Fueron grabadas 5 especies del género *Vespadelus* en diferentes zonas geográficas de New South Wales y Queensland. Al final se encontró que en el caso de la especie *V. vulturinus* hay cambios abruptos en la frecuencia de sus llamados, de más de 14 kHz de diferencia en dos regiones que están separados por tan solo 100 km de distancia y se encuentran unidos entre sí por un bosque continuo. Por otro lado, no se encontró diferencia en la ecolocación de la especie *V. regulus* en las regiones anteriormente mencionadas.

---

Poco se sabe de las causas que conciernen al cambio en la frecuencia de los llamados en diferentes regiones geográficas. Pero dentro de las posibilidades se encuentran: la presencia de especies crípticas, las diferencias morfológicas, los cambios de dieta y los lugares en donde se desarrollan las poblaciones.

## 2.4 Estados Unidos

Entre diferentes especies, la estructura de los llamados varía según las condiciones ambientales. Los murciélagos deben adaptar el sonido para poder ubicar todos aquellos obstáculos presentes en su hábitat y también para ecolocalizar presas de diferentes formas y tamaños.

En Michigan Wund (2003) grabó los llamados de un murciélago capaz de adaptarse muy bien a diferentes hábitats, *Myotis lucifugus*, con la finalidad de determinar si las variaciones sonoras, son resultado de la flexibilidad individual en el comportamiento de la ecolocalización.

Al final encontró que *M. lucifugus* usa llamados con frecuencias más altas, de duración más corta y con una mayor gama de FM en zonas con mayor cantidad de obstáculos que en aquellos espacios abiertos. Esto se debe primordialmente, a que el sonido en espacio con mayor número de obstáculos, debe viajar más rápido, por el contrario, en espacios abiertos, el sonido requiere mayor energía, para abarcar largas distancias. La variación de los llamados por lo tanto es consecuencia de la plasticidad individual que cada especie posee según su hábitat.

## 2.5 Sudamérica

El reconocimiento de las diferentes especies de murciélagos, ha sido facilitado con el apoyo de los detectores ultrasónicos. Ochoa (2000) presentó los resultados obtenidos en un estudio acústico en cuatro áreas protegidas de Venezuela.

Dentro de las zonas de estudio, la composición taxonómica de los quirópteros era supuestamente bien conocida. Los resultados acústicos fueron comparados con listas obtenidas previamente por métodos convencionales (redes de niebla). Por medio del

---

análisis acústico se encontraron 30 especies diferentes, representados en 15 géneros, ubicados en las familias Emballonuridae, Noctilionidae, Mormoopidae, Vespertilionidae y Molossidae. De estas, 19 fueron corroboradas con especímenes atrapados, el resto fueron comparadas con bases de datos de otras localidades. En adición, 11 especies no identificadas de diferente taxón a los anteriores fueron encontradas.

Finalmente, se concluyó que el reconocimiento acústico igualó o excedió la riqueza de especies en 3 de las 4 localidades y añadió de entre 2 a 9 especies a las listas obtenidas con anterioridad en todas las zonas de estudio, la mayoría de estos corresponden a taxones difíciles de identificar por medio de métodos convencionales.

## 2.6 México

En los Tuxtlas, Estrada y *cols*; (2004) elaboraron un estudio con la finalidad de conocer la tolerancia de los murciélagos neotropicales, a la fragmentación de las selvas donde habitan.

La investigación se llevo a cabo en una zona de selva continua, en fragmentos aislados de cítricos, en pastizales y en la vegetación presente en asentamientos humanos. Con la utilización de detectores ultrasónicos, se midió la actividad durante las tres horas subsiguientes al atardecer.

Al finalizar el trabajo, se encontró que las zonas con mayor tasa de actividad fueron las que poseían asentamientos humanos y aquellos fragmentos de selva aislados. Las zonas con tasa de actividad baja fueron los pastizales. Los investigadores concluyeron que las zonas con vegetación arbórea autóctona e introducida por el hombre pueden constituir un factor importante para sostener la actividad de los murciélagos, proporcionando todos aquellos requerimientos ambientales indispensables.

---

## HIPOTESIS

Dos individuos de la misma especie, localizados en hábitats diferentes, van a generar un sonido que variará entre sí, debido al cambio en las condiciones ambientales.

## OBJETIVO

- General:
  - Monitorear por medio de un detector ultrasónico, las especies de murciélagos que pueden encontrarse en dos localidades diferentes dentro del Distrito Federal, durante las 4 estaciones de los años 2009 y 2010.
- Específico:
  - Identificar a que especie pertenecen los llamados obtenidos en el muestreo.
  - Demostrar por medio de una prueba estadística, si existen diferencias significativas en el llamado de la misma especie en dos localidades diferentes.

---

## CAPITULO 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Área de estudio

El trabajo se realizó durante Primavera, Verano, Otoño e Invierno de los años 2009 y 2010 en dos localidades diferentes: En la Cantera Oriente, dentro de la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel y en la segunda sección del Parque Urbano de Chapultepec. Ambas poseen la característica de ser parches protegidos dentro de áreas urbanizadas.

Para la detección de los llamados se utilizó un detector ultrasónico Petterson 980x y los archivos se almacenaron en una grabadora digital h4 modelo .Zoom. Se comenzó a grabar aproximadamente 30 minutos después del anochecer, durante 2 horas.

##### 3.1.1 Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel

En su guía ilustrada Antonio Lot (2007) explica que la Cantera Oriente, corresponde a la Zona del Amortiguamiento A3 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). Dentro de las unidades ambientales sobresalen los cuerpos de agua que conforman el paisaje lacustre, bordeado por una pared de basalto de hasta 40 metros de altura.

La cantera posee 5 cuerpos de agua que suman una superficie total de 11,906.45 m<sup>2</sup> y representan el 14.36% del área total de la reserva. Con una superficie de 19,243.34 m<sup>2</sup> y representando el 23.21% del territorio se encuentran las planicies palustres o ciénagas. Esta unidad se caracteriza por estar bordeando los cuerpos de agua. Finalmente, la zona del sector sur se caracteriza por inundarse en época de lluvias, estas ocupan una superficie de 4,024.63 m<sup>2</sup> representando el 4.85% (Figura 15).

En total esta zona ecológica posee 1,904.9 m<sup>2</sup> de jardines y 41,237.43 m<sup>2</sup> de paisajes de bosques y arbustos dentro del cual el 3% está conformado por cipreses.

El impacto ocurrido en la cantera varios años atrás puede ser calificada como permanente e irreversible, es un hecho que jamás podrá regresar a poseer su estructura original. Hoy en día, cada uno de los componentes formadores de la Cantera Oriente, son artificiales, y a pesar de esto, esta zona de la REPSA poco a poco ha permitido el desarrollo de diversos organismos, dentro de los cuales están incluidos los quirópteros.

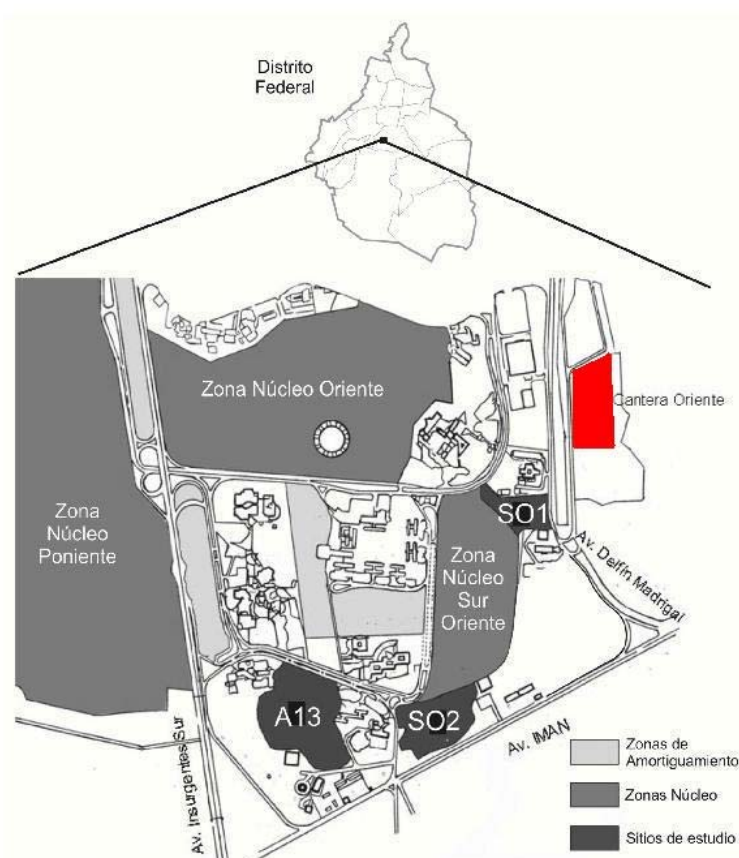


Figura 15: MAPA DE LA CANTERA ORIENTE, DENTRO DE LA RESERVA ECOLÓGICA DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL

En rojo se encuentra la zona de estudio.

Imagen obtenida de

<http://www.puma.unam.mx/ComiteSalud/ambiental.html> (2010).

---

### 3.2.1 Parque Urbano de Chapultepec

Declarada como Área con Valor Ambiental de la Ciudad de México, el bosque de Chapultepec posee una gran importancia ecológica y cultural.

Con 647.5 Hectáreas, está formado por 3 secciones y representa la principal área verde urbana de la capital. El estudio se realizó en la segunda sección dentro de la cual se localiza el Lago Mayor (Figura 16).

El bioma representativo de Chapultepec es el bosque templado donde hay cerca de 40 especies diferentes de árboles, entre los que se destacan fresnos, truenos, el pirul, el cedro, los pinos y *Ginkgo biloba*. De los 700 ahuehuetes censados por el Instituto Nacional de Antropología e Historia, 50 tienen más de 400 años según Guillén (2005), así mismo, es hogar de la “dalia silvestre” –considerada la flor nacional–.

Chapultepec no solo resguarda una gran variedad de especies de plantas, sino también de animales, entre ellos los murciélagos. Según la Secretaría del Medio Ambiente en su listado faunístico del bosque de Chapultepec (2002) se encuentran ejemplares de las familias, Vespertilionidae, Molosidae y Philostomidae.



Figura 16: MAPA DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC

La zona de estudio está limitada dentro del círculo de color rojo.  
Imagen obtenida de <http://www.metropoli.org.mx/node/17459>

---



---

## 3.2 Grabación de Llamados

Se utilizó para la obtención de llamados, un detector ultrasónico Petterson d980x. Durante la grabación es importante eludir el sonido ambiental no deseado. Para optimizar la grabación se debe mantener el control de ganancia (gain) en un nivel medio, esto con la finalidad de grabar la señal tan fuerte como sea posible sin distorsiones. Estos ajustes van a depender también de la distancia a la cual esté la grabadora y el animal, una disminución en la distancia puede repercutir en un aumento en la distorsión de la grabación.

### 3.2.1 Detector Ultrasónico PETTERSSON D980 x

Los detectores poseen un micrófono o transductor que permite transformar en voltaje, el sonido no audible de los murciélagos, para después procesarlo en sonido que si pueda ser escuchado por nosotros. Este tipo de detectores utiliza tres diferentes métodos de grabación, explicados en el *Estudio de los quirópteros a través de sus emisiones ultrasónicas* (1998) de Balmori, y en la tesis de Maestría de Rizo (2008); y son: Heterodinos, División de Frecuencias y Tiempo Expandido (Figura 17).

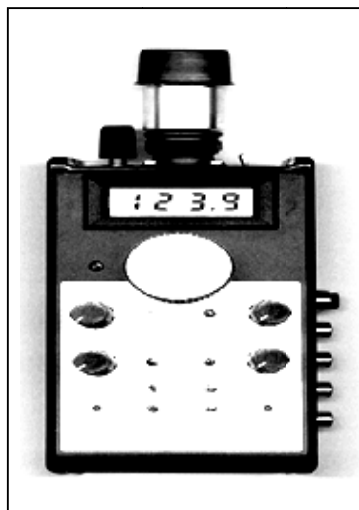


Figura 17: DETECTOR ULTRASÓNICO PETTERSON D980X

Imagen obtenida de  
<http://www.batdetective.com/alana-time.htm>

---

---

## Heterodinos

En este sistema la señal entrante es mezclada por un oscilador interno produciendo una frecuencia diferente que es audible. Su gran sensibilidad permite detectar con precisión especies determinadas, sin embargo por no poder sintonizar un amplio espectro de frecuencias no puede detectar murciélagos que utilizan llamados que estén en otra frecuencia.

## División de Frecuencias

El detector amplifica y posteriormente divide la señal para crear un sonido audible (Figura 18).

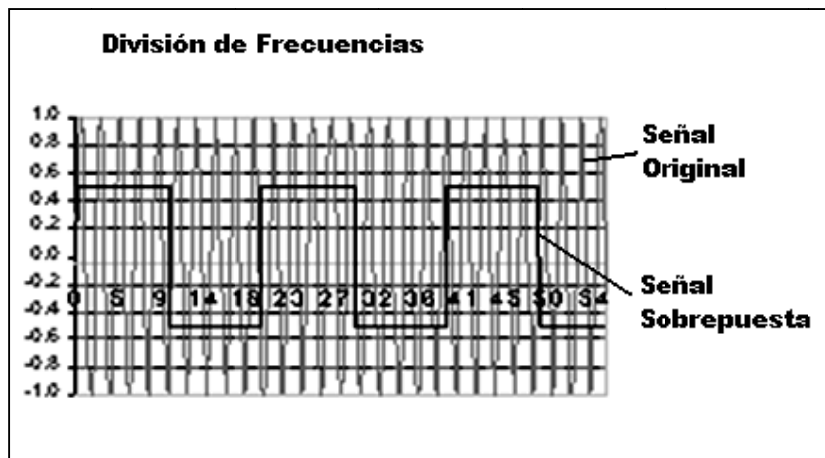


Figura 18: SISTEMA DE DIVISIÓN DE FRECUENCIAS

Tomada de ORTIZ (2010)

Cada vez que la señal pasa por el cero se cuenta, así cuando la señal ha pasado al menos 16 o 32 ocasiones la señal de salida cambia. Por ejemplo, si un murciélago emitiera un sonido a 48 KHz, causaría una señal de salida de  $48/16 = 3\text{kHz}$ . La cual es fácilmente escuchada por el humano.

Estos detectores permiten escuchar cualquier tipo de murciélago al mismo tiempo. No requieren de sintonizar alguna frecuencia en especial, como es el caso del sistema heterodino.

---

---

Tanto la división de frecuencias como los heterodinos reproducen la información en tiempo real.

## Tiempo Expandido

Consiste en reproducir los llamados previamente grabados, 10 veces más lento. Esta técnica permite apreciar de manera más precisa la frecuencia de los llamados, por lo tanto es esencial para la identificación de especies (Figura 19).

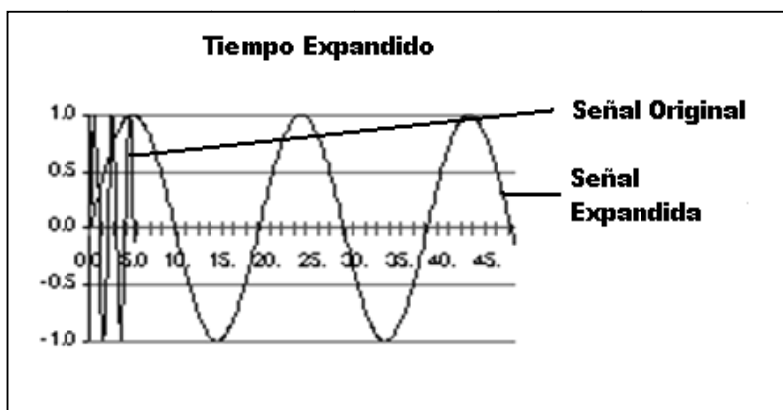


Figura 19: SISTEMA DE TIEMPO EXPANDIDO

Tomada ORTIZ (2010)

Los dos sistemas utilizados en la investigación fueron División de Frecuencias y Tiempo Expandido.

### 3.3 Edición

Debido a que los archivos obtenidos, en su mayoría, poseen una cantidad significativa de información, se editó cada uno de los archivos por medio del programa Adobe Audition 1.5, en archivos de menor tamaño para su análisis en el Sonobat.

## Transformación de Sonido a Imagen

La información obtenida se almacenó en una grabadora digital h4 modelo .Zoom, en donde es digitalizada automáticamente en archivos WAV para posteriormente ser analizadas en el software Sonobat 2.6 (Figura 20).

---

---

Lo que ocurre en el Sonobat, es una transformación de la información digital a un esquema conocido como espectrograma, que representa visualmente la frecuencia de cada uno de los llamados grabados en tiempo expandido.

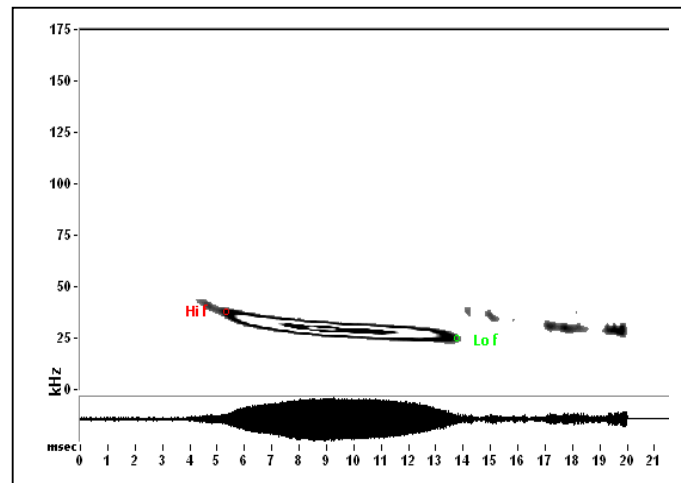


Figura 20: ESPECTROGRAMA

Tomada Orduña-Villalobos (2010)

El detector Pettersson reproduce 10 veces más lento las grabaciones en tiempo expandido y el Sonobat posee una tasa de muestreo o frequency sample de 350 kHz. Es importante que estos rangos se mantengan constantes durante el análisis.

Los datos más importantes de analizar para la identificación de especies son:

- FINI; frecuencia inicial (kHz): es el valor de la frecuencia en el punto en donde inicia el pulso.
- FFIN; frecuencia final (kHz): es el valor de la frecuencia en el punto en donde termina el pulso.
- FMAXAM; frecuencia de máxima amplitud (kHz): es el valor de la frecuencia en el punto de máxima energía del pulso.
- AB; ancho de banda (kHz): es la diferencia entre la FINI y la FFIN o bien el rango de frecuencias que el murciélago utiliza para modular sus pulsos.
- DUR; duración del llamado (milisegundos): intervalo de tiempo en que inicia y termina un pulso.
- INTERV; intervalo entre pulsos (ms): es el lapso de tiempo que transcurre entre el inicio de un pulso hasta el inicio del siguiente.

Los conceptos anteriormente numerados fueron obtenidos de Rizo (2008).

---

---

El parámetro de medición fue el mismo para todas las grabaciones: se colocó el cursor de frecuencia inicial y de frecuencia final, justo a la mitad de cada extremo del pulso. Se obtuvieron la media y la desviación estándar de cada una de las características anteriormente mencionadas, separándolas según la localidad.

Todos aquellos llamados que no se grabaron con claridad, debido al exceso de ruido atmosférico, fueron descartados del estudio, así como también todos aquellos pulsos que presentaban una saturación provocado por el acercamiento excesivo de los murciélagos al detector.

### 3.4 Identificación de Especies

#### Identificación por medio del sonido

Una vez obtenidos los datos necesarios para la identificación de especies (Apartado 3.3 - Transformación de sonido a imagen), se compararon cualitativamente y cuantitativamente con aquellos obtenidos por Rydell en su trabajo “Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico” (2002), Orozco en “Descripción de llamados de ecolocación de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México” (2008), en la investigación “What you see is what you get, the role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in neotropical bat assemblages” de MacSwiney en el 2008 y en la Tesis de Maestría de Rizo Aguilar titulado, Descripción y análisis de los pulsos de ecolocación de 14 especies de murciélagos insectívoros aéreos del estado de Morelos (2008).

#### Listados Faunísticos

Las especies obtenidas gracias a la comparación del sonido (Apartado 3.4 - Identificación por medio del sonido), fueron corroboradas con listados faunísticos:

Se comenzó con una guía general de toda la República Mexicana escrita por Medellín y cols; en el 2008 titulado “Identificación de los Murciélagos de México”. Debido a que abarca todo el territorio nacional; también se analizaron los trabajos: “Los mamíferos silvestres de México” y “Mamíferos silvestres de la cuenca de México” ambos escritos por Ceballos y cols; (2005), los cuales describen las especies de Quirópteros encontradas en diversas colonias dentro del Distrito Federal. Finalmente y como complemento se analizaron las guías de Hortelano (2009) “Mamíferos silvestres de la

---

Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.” y el listado faunístico del Bosque de Chapultepec realizado por la Secretaría Del Medio Ambiente en el 2002.

## Prueba estadística

Para demostrar la diferencia entre los pulsos de localidades diferentes, se utilizaron las pruebas; de normalidad: Kolmogórov-Smirnov, Componentes principales (CP), prueba de Clusters y prueba Kruskal-Wallis, por medio del programa Minitab 13.1 y Statistica 6.0.

---

## CAPITULO 4

### Resultados obtenidos y su análisis

#### 4.1 Identificación de especies

Se obtuvieron 1267 pulsos en total, pertenecientes a la fase de búsqueda (Apartado 1.2.5 - Señales de colocación), entre ambas localidades, los cuales correspondieron a las especies *Eumops underwoodi*, *Molossus rufus*, *Molossus sinaloae* y *Tadarida brasiliensis* de la familia Molossidae y *Lasiurus cinereus* perteneciente a la familia Vespertilionidae. Se obtuvieron datos de *Myotis velifer* y *Myotis californicus* también propios de los Vespertilionidos, únicamente en Chapultepec (Ver Apéndice 2).

Del total de pulsos, el 38.51% corresponde a *Tadarida brasiliensis*, el 21.94% a *Eumops underwoodi*, el 16.89% a *Molossus rufus*, el 9.40% a *Molossus sinaloae*, el 7.26% a *Myotis velifer*, el 3.40% a *Lasiurus cinereus* y el 2.44% a *Myotis californicus*. (Figura 21).

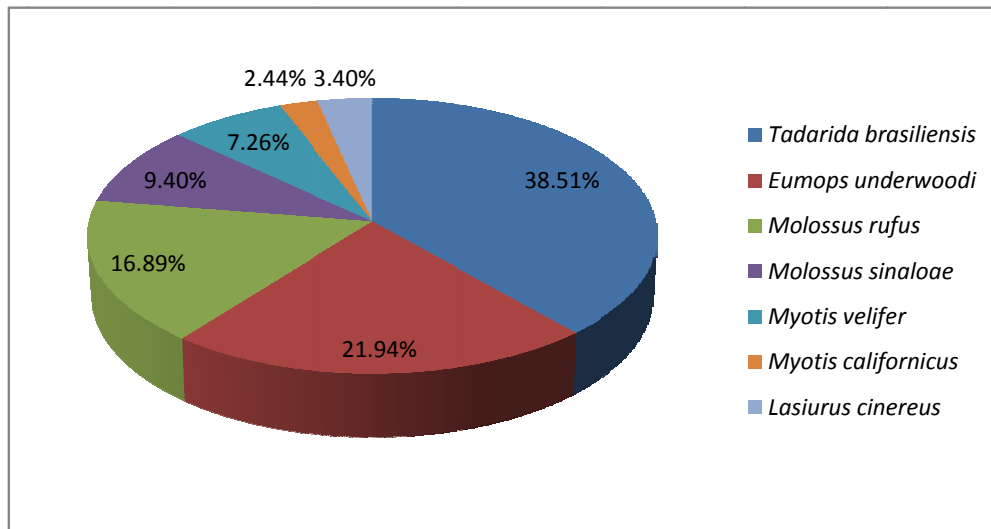


Figura A: PORCENTAJES QUE POSEEN LAS ESPECIES DEL TOTAL DE PULSOS OBTENIDOS

Ceballos (2005), Medellín y cols; (2008) y Hortelano (2009), reportan que existen otras especies que se distribuyen dentro y cerca de las áreas de estudio de este trabajo, sin embargo, nos concentramos en aquellas especies que fueron grabadas con una

---

---

calidad que permitiera la identificación específica. (Apartado 3.3 - Transformación de sonido a imagen).

La proporción de los llamados no fue la misma en ambas localidades (Figura B).

Para *Eumops underwoodi*, se grabó un mayor número de llamados en la Cantera; Ceballos (1984), describe que esta especie utiliza principalmente las grietas y oquedades entre las rocas como refugios, característica que encuentra mayoritariamente en la Cantera que en el Bosque de Chapultepec.

*Tadarida brasiliensis* es una de las especies que forma las congregaciones más numerosas, colonias de hasta 20 millones de individuos se refugian en cuevas, Ceballos (1984); es en Chapultepec en donde el establecimiento de colonias de esta especie es más factible debido a su extenso terreno.

A su vez, es la abundancia de árboles que posee Chapultepec, lo que permite que la especie *Lasiurus cinereus* se encuentre en mayor número dentro de esta localidad, Ceballos (1984).

Las especies *Molossus rufus* y *Molossus sinaloae* son animales gregarios que utilizan como refugios más comunes construcciones, hoyos en los árboles y grietas; (Ceballos, 1984). Se grabó casi el mismo número de pulsos en las dos localidades para ambas especies.

Con la información obtenida de los pulsos no es posible estimar el número de individuos que habitan en una localidad, pero si es posible estimar la cantidad de pulsos emitido por una misma especie en un tiempo determinado, o “actividad”.



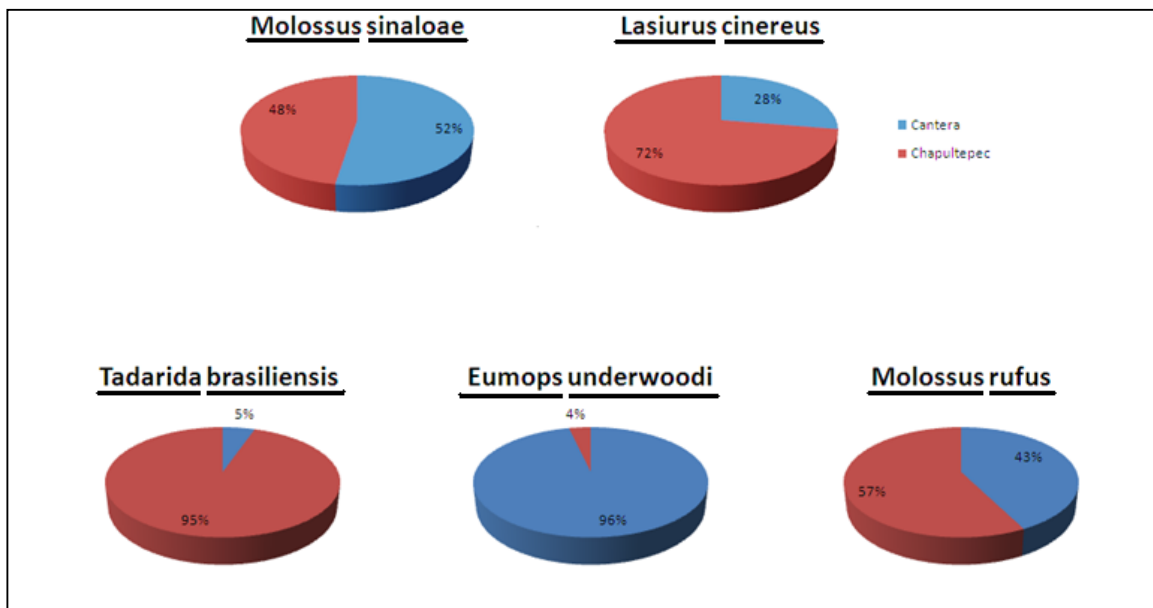


Figura B: PORCENTAJES DE LOS PULSOS GRABADOS POR LOCALIDAD

## Características cuantitativas de los pulsos

Las características que se tomaron en cuenta para el análisis interespecífico son FINI, FFIN, FMAXAM, AB, DUR e INTERV (Apartado 3.3 - Transformación de sonido a imagen). La media y la desviación estándar que cada una de las características posee se encuentran en la Tabla 1.

### *Eumops underwoodi*

Las mediciones resultantes para *E. underwoodi* son similares a los obtenidos por Orozco (2008) y por Rizo (2008) con excepción de la FINI (frecuencia inicial) que es más baja, >16 kHz. Los pulsos poseen la duración más larga en comparación con las otras especies, >15 ms, característica que les permite encontrar presas a distancias más grandes. El valor del AB es considerablemente el más pequeño, >2 kHz, lo que da como resultado la emisión de pulsos con una FC. Los pulsos generados por *E. underwoodi* son emitidos con una cadencia lenta, es decir existe un intervalo entre pulsos considerable >520 ms.

### *Tadarida brasiliensis*

*T. brasiliensis* es una de las especies que posee un rango muy amplio de variabilidad en sus pulsos, según Simmons (1979), Fenton (1981) y Ratcliffe (2004) y se corrobora

---

observando la FINI de los pulsos, que va entre los 30 kHz y los 50 kHz. Ratcliffe describe que hay una mayor variación en las frecuencias del llamado cuando estos murciélagos vuelan junto a individuos coespecíficos, es decir, organismos de la misma especie o de la misma familia. Gillam (2007) examinó la variación de los pulsos en respuesta a la escala geográfica y variables ambientales a nivel local, con esto se documentó que *T. brasiliensis* ajusta la estructura de sus pulsos para evitar interferencia con el ruido ambiental, es decir posee un amplio AB, de entre los 15 y los 20 kHz. El ruido ambiental es notablemente mayor en Chapultepec, debido al acceso sin restricción de un gran número de personas; en la Cantera por el contrario, existe la presencia de menos ruido ambiental debido a su acceso restringido y al hecho de que es un área más pequeña.

### ***Molossus sinaloae* y *Molossus rufus***

Ambos pulsos son muy similares entre sí, sin embargo *M. sinaloae*, genera un pulso con una FINI menor que el pulso que genera después, que tendrá una FINI mayor al pulso predecesor y también al pulso sucesor, esto se ve reflejado en el AB, >8.5 kHz que es mayor que el del *M. rufus*, entre 3.5 kHz y 5.5 kHz, Muy parecidos a *T. brasiliensis*, ambas especies de *Molossus* generan pulsos de larga duración >11.9 kHz. Al igual que los resultados obtenidos por Orozco (2008) y por Rizo (2008), estas dos especies poseen una cadencia rápida, es decir un INTERV de entre 50 y 100 kHz, la más rápida entre los individuos estudiados de la familia Molossidae.

### ***Lasiurus cinereus***

*L. cinereus* posee uno de los llamados de más corta duración junto con *Myotis velifer* y *Myotis californicus*, >5 ms. Los valores de la frecuencia de máxima amplitud son de los más bajas de los vespertilionidos, lo que indica que emiten pulsos débiles (Rizo, 2008). Los valores de FFIN y la FMAXAM son un poco más altos que los reportados por Rizo; >30 kHz y >35 kHz respectivamente. Los pulsos se caracterizan por poseer un AB de banda que esta alrededor de los 15 kHz y 20 kHz, es decir utilizan una amplia gama de frecuencias.

### ***Myotis velifer* y *Myotis californicus***

Ambas especies generan pulsos con frecuencias altas, >77 kHz en la FINI para *M. velifer* y > 80 kHz en la FINI para *M. californicus*. Poseen pulsos de corta duración > 4 ms y poseen un AB mayor, >35 kHz, dentro de las especies de la familia

---

Vespertilionidae. Dentro de las especies de *Myotis* la identificación es complicada debido a las similitudes que presentan entre sí. Así como Rizo (2008), se analizó la morfología de la FMAXAM, por medio del Espectro Acumulado de Potencia (Figura C), a través del programa de análisis Raven 1.2.1. La cresta más pronunciada es la FMAXAM, en *M. velifer* posee un valor de 90 dB y en *M. californicus* un valor de >70 dB.

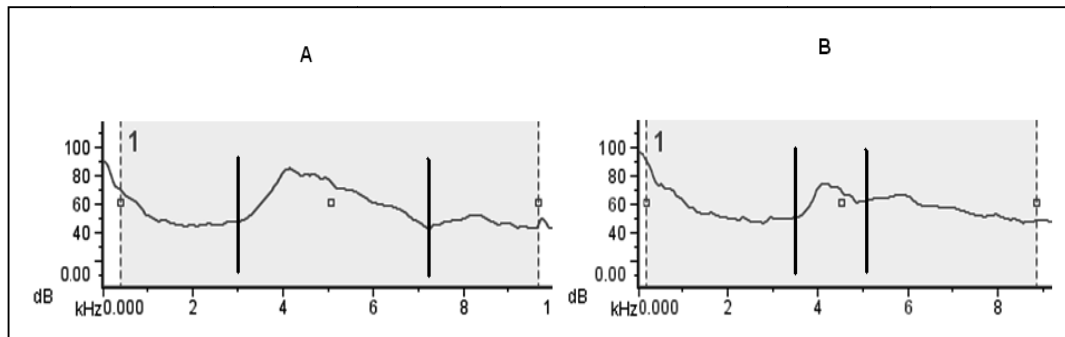


Figura C: ESPECTRO ACUMULADO DE POTENCIA  
a) *Myotis velifer* y b) *Myotis californicus*

TABLA 1: VALORES REGISTRADOS DE FINI, FFIN, FMAXAM, AB, DUR E INTERV DE LAS 7 ESPECIES ENCONTRADAS EN LA CANTERA Y EN CHAPULTEPEC. Se muestra promedio  $\pm$  desviación estándar.

### Cantera

Nombre	FINI (kHz)	FFIN (kHz)	FMAXAM (kHz)	AB (kHz)	DUR (ms)	INTERV (ms)
<i>Eumops underwoodi</i>	16.03 $\pm$ 2.8	13.21 $\pm$ 1.8	13.39 $\pm$ 1.5	3.1 $\pm$ 2	16.35 $\pm$ 2.9	529.75 $\pm$ 9.91
<i>Lasiurus cinereus</i>	51.68 $\pm$ 6.1	36.84 $\pm$ 2.4	38.82 $\pm$ 2.3	14.84 $\pm$ 7	5.61 $\pm$ 0.98	129.71 $\pm$ 13
<i>Tadarida brasiliensis</i>	39.39 $\pm$ 4.6	24.18 $\pm$ 1.3	27.68 $\pm$ 1.3	15.6 $\pm$ 5.4	8.9 $\pm$ 1.4	110 $\pm$ 16
<i>Molossus rufus</i>	31.06 $\pm$ 3.6	27.53 $\pm$ 2.8	28.2 $\pm$ 2.88	3.88 $\pm$ 2.27	12.66 $\pm$ 1.6	101 $\pm$ 3.5
<i>Molossus sinaloae</i>	36.34 $\pm$ 3	28.53 $\pm$ 2.2	29.89 $\pm$ 2.1	8.9 $\pm$ 3.1	12.9 $\pm$ 1.9	48 $\pm$ 3.5

### Chapultepec

Nombre	FINI (kHz)	FFIN (kHz)	FMAXAM (kHz)	AB (kHz)	DUR (ms)	INTERV (ms)
<i>Eumops underwoodi</i>	16.98 $\pm$ 3.3	12.29 $\pm$ 1.2	13.12 $\pm$ 0.98	2.4 $\pm$ 2	15.46 $\pm$ 1.9	520.3 $\pm$ 7.5
<i>Lasiurus cinereus</i>	50.45 $\pm$ 6.24	30.51 $\pm$ 5.1	37.35 $\pm$ 4.8	20.14 $\pm$ 7.3	5.48 $\pm$ 1.6	119.9 $\pm$ 3
<i>Tadarida brasiliensis</i>	51.13 $\pm$ 6.9	29.41 $\pm$ 2.6	33.96 $\pm$ 2.3	21.19 $\pm$ 5.9	9.5 $\pm$ 1.3	113 $\pm$ 8.4
<i>Molossus rufus</i>	31.61 $\pm$ 4.4	25.94 $\pm$ 2.8	28.88 $\pm$ 3.3	5.86 $\pm$ 3.31	11.93 $\pm$ 1.51	114 $\pm$ 8
<i>Molossus sinaloae</i>	36.34 $\pm$ 2.7	26.52 $\pm$ 1.9	29.55 $\pm$ 2.4	9.6 $\pm$ 2.8	11.94 $\pm$ 1.25	63 $\pm$ 2.1
<i>Myotis velifer</i>	77.55 $\pm$ 7.8	39.50 $\pm$ 5.2	44.54 $\pm$ 3.1	38.59 $\pm$ 7.6	4.72 $\pm$ 0.78	93.2 $\pm$ 1.6
<i>Myotis californicus</i>	82.33 $\pm$ 8	39.53 $\pm$ 1.7	43.7 $\pm$ 4	42.80 $\pm$ 8	4.7 $\pm$ 0.45	90.3 $\pm$ 4

---

## Características cualitativas de los pulsos

Las características cuantitativas (Apartado 4.1 Características cuantitativas de los pulsos), no generan la información completa para la identificación de especies por sí sola. Como se puede notar, mucha de la información obtenida en la Tabla 1 es muy parecida entre individuos de especies diferentes. Es por eso, que es necesario complementar la identificación de las especies con ayuda del análisis del espectrograma del pulso para cada especie (Figura D).

### ***Eumops underwoodi***

El pulso emitido es Frecuencia Constante (Apartado 3.3.1.2), comienza por debajo de los 20 kHz y posee una larga duración, >15 ms, característica que está relacionada con su dieta. Estos murciélagos se alimentan de coleópteros y lepidópteros, y son capaces de localizar sus presas a larga distancia (Kiser, 1995 e Íñiguez, 2005).

### ***Tadarida brasiliensis***

Los llamados están conformados por Frecuencia Modulada (Apartado 3.3.1.1), comenzando aproximadamente en los 34 kHz y terminando en los 24 kHz, posee una característica forma de “S” invertida de manera vertical.

### ***Molossus sinaloae***

Este murciélago emite FM, sin embargo su AB no es muy grande, alrededor de 8 kHz; los pulsos poseen la característica de variar en su FINI, como se ve en la Figura D, a partir del primer pulso observado, el siguiente va a variar su FINI, por ejemplo: Si el primer pulso observado comienza en los 31 kHz aproximadamente, el que le sigue va a iniciar en los 36 kHz aproximadamente, posterior a este, volverá a generar un pulso de 31 kHz aproximadamente y así sucesivamente.

### ***Molossus rufus***

Posee una estructura en el llamado muy parecida a *M. sinaloae*, sin embargo, este murciélago emite todos sus pulsos sin variar demasiado la Frecuencia Inicial, 31 kHz.

---

### ***Lasiurus cinereus***

Llamados que se caracterizan por tener forma de media luna, de FM con un AB bastante amplio, alrededor de 20 kHz, comienzan a partir de los 50 kHz y termina alrededor de los 36 kHz; poseen una duración corta, >5 ms.

### ***Myotis velifer* y *Myotis californicus***

Dentro de los Vespertilionidos los murciélagos del género *Myotis*, poseen los pulsos con mayor AB, >35 kHz. Los llamados tienen forma de “S” invertida verticalmente, y están formadas por FM, frecuencias altas, >75 kHz.

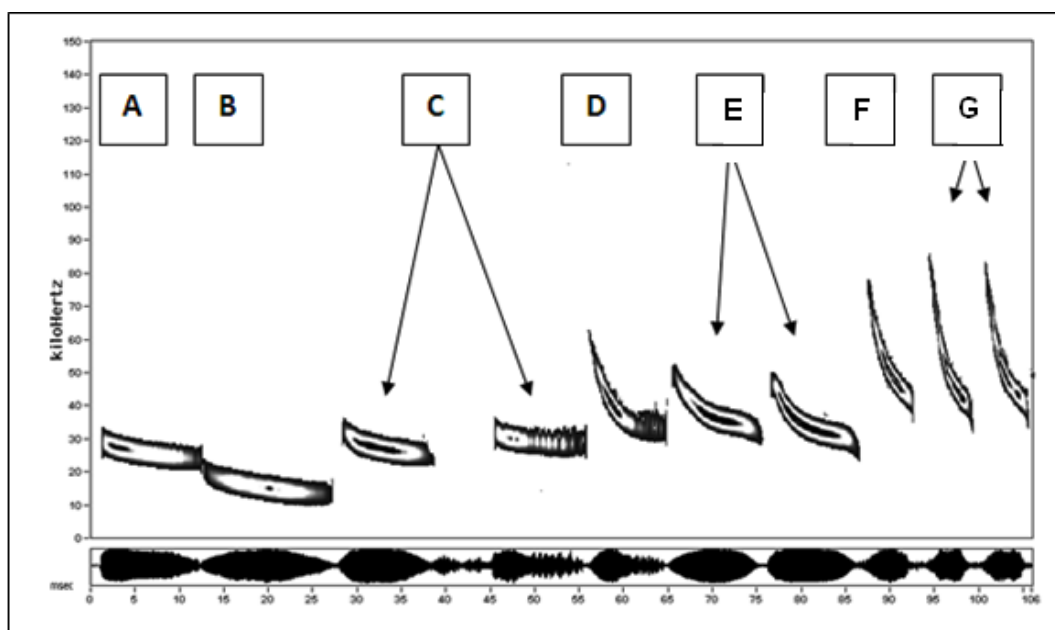


Figura D: ESPECTROGRAMA DE LOS PULOS MÁS REPRESENTATIVOS POR ESPECIE

- a) *Molossus rufus*, b) *Eumops underwoodi*,  
c) *Molossus sinaloae*, d) *Lasiurus cinereus*,  
e) *Tadarida brasiliensis*, f) *Myotis californicus*  
y g) *Myotis velifer*

---

## 4.2 Diferencias entre pulsos

Las características cualitativas y cuantitativas permitieron conocer qué especies se encuentran en la Cantera y en Chapultepec, sin embargo, para poder saber si existen diferencias entre los pulsos de la misma especie en ambas localidades se aplicaron tres pruebas estadísticas; Prueba de Clusters, Prueba de Componentes Principales (CP) y Prueba de Kruskal-Wallis.

### Prueba de Clusters

Esta prueba se utilizó para explorar la interacción entre los grupos formados, se utilizaron para el análisis la FINI, FFIN, FMAXAM y el AB. Los mismos grupos fueron los que se compararon en la prueba de Componentes Principales:

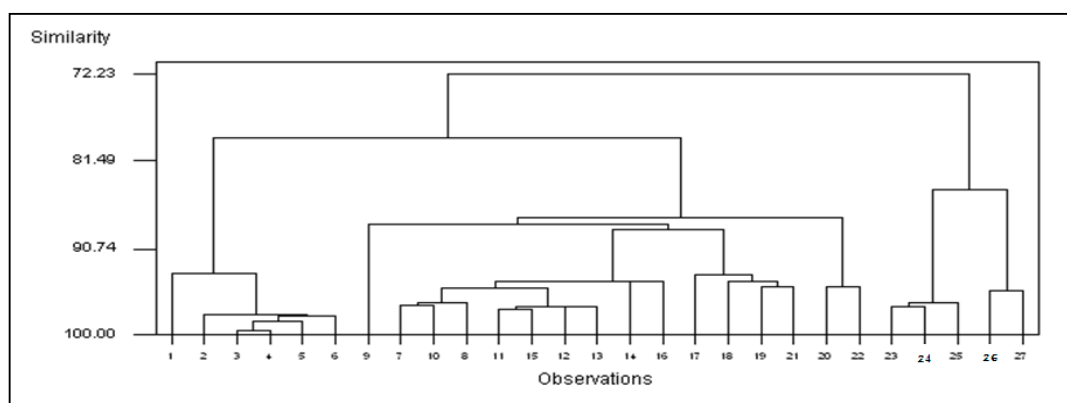


Figura E: DENDROGRAMA POR ESPECIE, LOCALIDAD Y ESTACIÓN

- 1) Eu Ca Pr: *Eumops underwoodi* Cantera Primavera
- 2) Eu Ca Ve: *Eumops underwoodi* Cantera Verano
- 3) Eu Ca Ot: *Eumops underwoodi* Cantera Otoño
- 4) Eu Ca In: *Eumops underwoodi* Cantera Invierno
- 5) Eu Ch Pr: *Eumops underwoodi* Chapultepec Primavera
- 6) Eu Ch Ve: *Eumops underwoodi* Chapultepec Verano
- 7) Mr Ca Pr: *Molossus rufus* Cantera Primavera
- 8) Mr Ch Pr: *Molossus rufus* Chapultepec Primavera
- 9) Mr Ch Ve: *Molossus rufus* Chapultepec Verano
- 10) Mr Ch In: *Molossus rufus* Chapultepec Invierno

- 
- 11) Ms Ca Pr: *Molossus sinaloae* Cantera Primavera
  - 12) Ms Ca In: *Molossus sinaloae* Cantera Invierno
  - 13) Ms Ch Pr: *Molossus sinaloae* Chapultepec Primavera
  - 14) Ms Ch Ve: *Molossus sinaloae* Chapultepec Verano
  - 15) Ms Ch In: *Molossus sinaloae* Chapultepec Invierno
  - 16) Tb Ca Pr: *Tadarida brasiliensis* Cantera Primavera
  - 17) Tb Ch Pr: *Tadarida brasiliensis* Chapultepec Primavera
  - 18) Tb Ch Ve: *Tadarida brasiliensis* Chapultepec Verano
  - 19) Tb Ch In: *Tadarida brasiliensis* Chapultepec Invierno
  - 20) Ls Ca Pr: *Lasiurus cinereus* Cantera Primavera
  - 21) Ls Ch Pr: *Lasiurus cinereus* Chapultepec Primavera
  - 22) Ls CH In: *Lasiurus cinereus* Chapultepec Invierno
  - 23) Mv CH Pr: *Myotis velifer* Chapultepec Primavera
  - 24) Mv CH Ve: *Myotis velifer* Chapultepec Verano
  - 25) Mv CH In: *Myotis velifer* Chapultepec Invierno
  - 26) Mc CH Pr: *Myotis californicus* Chapultepec Primavera
  - 27) Mc Ch Ve: *Myotis californicus* Chapultepec Verano

*Eumops underwoodi* fue la única especie de la cual se obtuvo registro en el periodo de Otoño. El Sistema Meteorológico Nacional registró que esa temporada tuvo la temperatura más baja junto con Invierno, a su vez, presentó un alto porcentaje de lluvias; características que provocan que los murciélagos retrasen su salida para alimentarse. (Altringham, 1999), en concordancia con Ceballos (2005), Rodrigo Medellín (2008) y Rizo (2008), las temporadas migratorias concuerdan con aquellas temporadas en donde hay ausencia de información.

El Dendrograma de la prueba de Clusters (Figura E) muestra claramente la agrupación por especies:

Del Cluster (Grupo) 1-6 se encuentra *Eumops underwoodi*, agrupación que está bien separada del resto de los datos.

Los Clusters 7-10 corresponde a *Molossus rufus* y con una distancia de separación corta entre *M. rufus* sigue *Molossus sinaloae* con los Clusters 11-15. Los Clusters 16-19 corresponden a *Tadarida brasiliensis*. Estas tres especies se encuentran muchísimo



---

más cercanas entre sí que el resto, son pertenecientes a la misma familia y sus pulsos poseen muchas características cualitativas similares.

Los Clusters 20-22 pertenecen a *Lasiurus cinereus* y finalmente los Clusters 23-25 y 26-27 agrupan a *Myotis velifer* y a *Myotis californicus* respectivamente, ambas considerablemente separadas del resto de las especies.

El análisis de Cluster sirvió para conocer cómo los grupos se relacionan entre sí por medio de las características del sonido. Los individuos de la familia Vespertilionidae se relacionan en un 72 % con los de la familia Molossidae, *Lasiurus cinereus* posee una similitud del 79% con *Eumops underwoodi* y 85% con las especies *Molossus sp.* y *Tadarida brasiliensis*. A su vez *Tadarida brasiliensis* posee un 89% de similitud con las especies de *Molossus sp.*

## Prueba de Componentes Principales

El análisis de cluster no permite apreciar cómo interactúan las características particulares de cada grupo, y relacionarlo con sus diferencias entre los grupos. La Prueba de Componentes Principales ayuda a resolver este problema.

Para la prueba de Componentes Principales (CP) se analizaron las mismas características y los mismos grupos utilizados en la prueba de Clusters (Apartado 4.2 - Prueba de Clusters).

Los resultados mostraron que las agregaciones en los Componentes Principales se separan por especie.

El CP1 explica el 93% de la variación o varianza y el CP2 el 0.06%, en conjunto los dos primeros componentes explican el 99% de la varianza en las características utilizadas en el análisis (Tabla 2).

TABLA 2: VARIANZA Y COEFICIENTES EXPLICADOS PARA LOS TRES PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES

Parámetros	CP1	CP2	CP3
Porcentaje	93.10%	0.06%	0.004%
FINI	-0.512	0.25	-0.533
FFIN	-0.501	-0.493	-0.423
AB	-0.484	0.706	0.311
FMAXAM	-0.503	-0.444	0.664

En el CP1 se correlacionan negativamente todas las variables (FINI, FFIN, AB y FMAXAM); por otro lado en el CP2 se correlacionan negativamente tan solo las variables de FFIN y de MAXAM, el resto (FINI y AB) de manera positiva y por último el CP3 se correlacionan negativamente la FINI y la FFIN, y positivamente el AB y la FMAXAM. Debido a que explican el 99% de la varianza se utilizó únicamente el CP1 y el CP2.

Lo primero que se puede observar es que al igual que en la Prueba de Clusters, los grupos se aglomeran taxonómicamente por especie (Figura F).

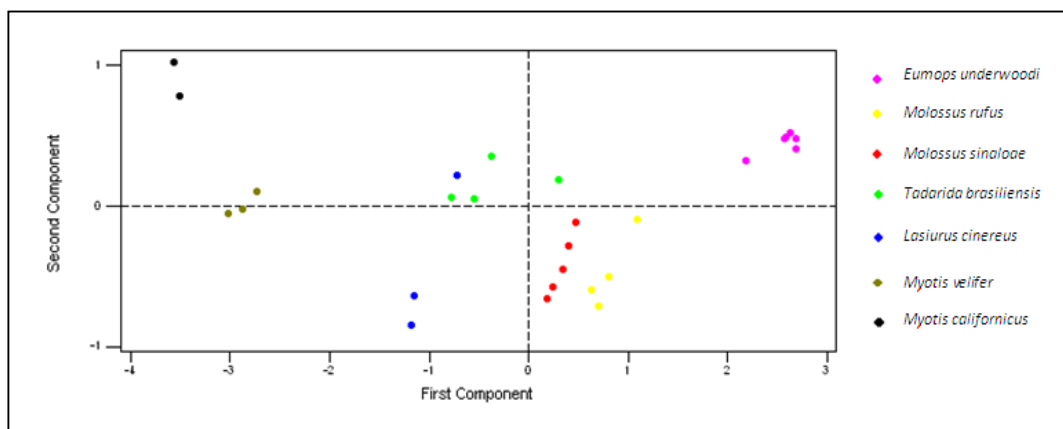


Figura F: AGRUPACIÓN DE LAS VARIABLES POR ESPECIE

La identificación de las aglomeraciones según los datos que la conforman se encuentra en la Figura G; los grupos se encuentran descritos en el Apartado 4.1 Prueba de Clusters.

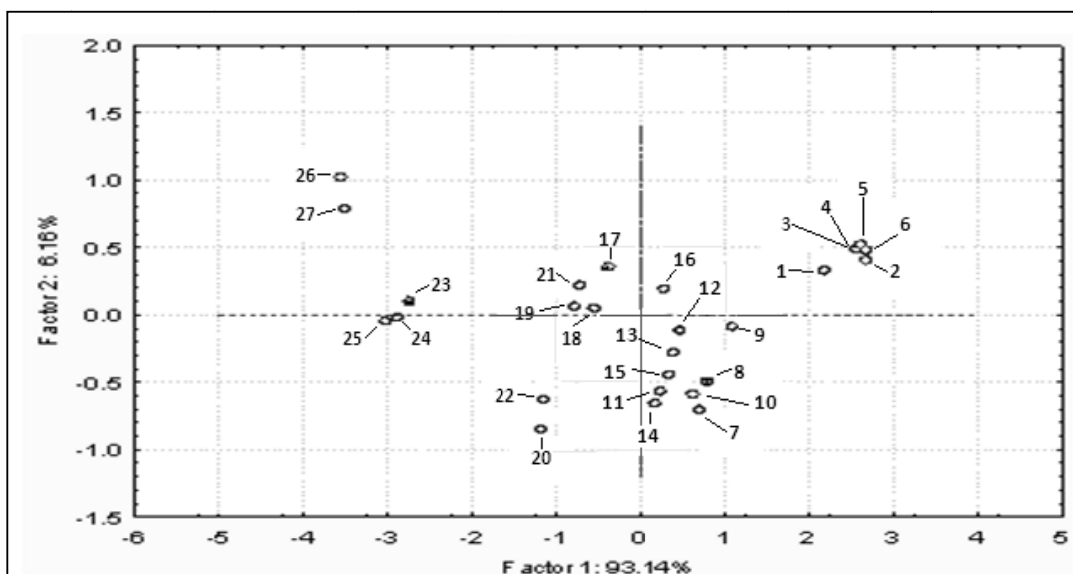


Figura G: IDENTIFICACIÓN DE LAS AGLOMERACIONES DENTRO DE  
LOS COMPONENTES PRINCIPALES

- 1) Eu Ca Pr: *Eumops underwoodi* Cantera Primavera
- 2) Eu Ca Ve: *Eumops underwoodi* Cantera Verano
- 3) Eu Ca Ot: *Eumops underwoodi* Cantera Otoño
- 4) Eu Ca In: *Eumops underwoodi* Cantera Invierno
- 5) Eu Ch Pr: *Eumops underwoodi* Chapultepec Primavera
- 6) Eu Ch Ve: *Eumops underwoodi* Chapultepec Verano
- 7) Mr Ca Pr: *Molossus rufus* Cantera Primavera
- 8) Mr Ch Pr: *Molossus rufus* Chapultepec Primavera
- 9) Mr Ch Ve: *Molossus rufus* Chapultepec Verano
- 10) Mr Ch In: *Molossus rufus* Chapultepec Invierno
- 11) Ms Ca Pr: *Molossus sinaloae* Cantera Primavera
- 12) Ms Ca In: *Molossus sinaloae* Cantera Invierno
- 13) Ms Ch Pr: *Molossus sinaloae* Chapultepec Primavera
- 14) Ms Ch Ve: *Molossus sinaloae* Chapultepec Verano
- 15) Ms Ch In: *Molossus sinaloae* Chapultepec Invierno
- 16) Tb Ca Pr: *Tadarida brasiliensis* Cantera Primavera
- 17) Tb Ch Pr: *Tadarida brasiliensis* Chapultepec Primavera
- 18) Tb Ch Ve: *Tadarida brasiliensis* Chapultepec Verano
- 19) Tb Ch In: *Tadarida brasiliensis* Chapultepec Invierno

- 
- 
- 20) Ls Ca Pr: *Lasiurus cinereus* Cantera Primavera
  - 21) Ls Ch Pr: *Lasiurus cinereus* Chapultepec Primavera
  - 22) Ls CH In: *Lasiurus cinereus* Chapultepec Invierno
  - 23) Mv CH Pr: *Myotis velifer* Chapultepec Primavera
  - 24) Mv CH Ve: *Myotis velifer* Chapultepec Verano
  - 25) Mv CH In: *Myotis velifer* Chapultepec Invierno
  - 26) Mc CH Pr: *Myotis californicus* Chapultepec Primavera
  - 27) Mc Ch Ve: *Myotis californicus* Chapultepec Verano

En *Eumops underwoodi* se observa que no hay diferencia entre las localidades sin embargo hay una separación considerable en el grupo 1 (Eu Ca Pr) del resto, dado por la diferencia que existe en los valores de FFIN y la FMAXAM la cual en primavera es significativamente diferente según la prueba de KW.

En la especie *Molossus rufus* el grupo 9 (Mr Ch Ve) se separa del resto, también por medio del CP2, pero de manera positiva, es decir son la FIN y el AB lo que lo hace diferente y en *Molossus sinaloae* la diferencia entre los grupos es homogénea, es decir, a lo largo del tiempo y durante las estaciones, el sonido es adaptado gradualmente.

*Tadarida brasiliensis* es una de las especies que como Gillam (2007) explica, varían sus pulsos dependiendo de las condiciones de ruido, clima y disponibilidad de alimento. En este caso si hay una diferencia en separación con respecto a ambas localidades, sin embargo esta especie dentro de la Cantera únicamente fue encontrada en primavera. Dentro de Chapultepec, es en primavera donde se observa la mayor diferencia.

Los pulsos emitidos por *Lasiurus cinereus* no presentan diferencia entre localidades, los cuales son muy similares, sin embargo el grupo 21 (Ls Ch Pr) posee una diferencia significativa al resto de los datos generados para esta especie, de manera positiva, (FIN y AB).

En las especies *Myotis velifer* y *Myotis californicus* los datos están agrupados muy cercanamente entre si y no existe ningún valor que sea mayormente diferente.

## Prueba Kruskal-Wallis

Finalmente se utilizó la prueba Kruskal-Wallis para corroborar la significancia en las diferencias encontradas en las varianzas de los CP fueron significativas cuando el valor de p fue menor a 0.05 (Tabla 3).

TABLA 3: ANÁLISIS DE COMPONENTES DE FINI, FFIN, FMAXAM Y AB.

Se indican en formato obscuro la significancia,  $p < 0.05$

Nombre	Factor	FINI (kHz)	FFIN (kHz)	FMAXAM (kHz)	AB (kHz)
<i>Eumops underwoodi</i>	Localidad	0.1976	0.3424	0.8613	0.1976
	Estación	<b>0</b>	<b>0.0041</b>	<b>0.008</b>	<b>0</b>
<i>Lasiurus cinereus</i>	Localidad	1	<b>0.0007</b>	0.3884	0.2418
	Estación	0.7505	<b>0.026</b>	0.2411	0.4605
<i>Tadarida brasiliensis</i>	Localidad	<b>0.0165</b>	<b>0</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0048</b>
	Estación	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0.2763
<i>Molossus rufus</i>	Localidad	0.2062	<b>0</b>	0.4838	<b>0</b>
	Estación	<b>0.0137</b>	0.829	0.0982	<b>0.0021</b>
<i>Molossus sinaloae</i>	Localidad	0.5134	<b>0</b>	0.7962	0.2471
	Estación	0.3	<b>0.0089</b>	<b>0.0245</b>	0.4172
<i>Myotis velifer</i>	Estación	<b>0</b>	0.0952	0.1251	<b>0</b>
<i>Myotis californicus</i>	Estación	<b>0</b>	0.8791	<b>0.0043</b>	<b>0</b>

Como se mencionó en el Capítulo 4, las condiciones ambientales no son las mismas a lo largo del año y por consecuencia la disponibilidad de alimento tampoco lo es. Hay especies que toleran las condiciones ambientales a la perfección pero deben adaptar su sonido a la disponibilidad de presas, por ejemplo, si hay poca disponibilidad de presas, lo que ocurre es que incrementan el ancho de banda, para aumentar el rango de sensibilidad como por ejemplo las especies de *Myotis* (Altringham, 1999); en las épocas de abundancia, el sonido incluso puede reducirse en el ancho de banda porque hay suficiente alimento, sin embargo en estas épocas suele haber un gran número de individuos aprovechando el mismo recurso. Para evitar confundirse con otro llamado que no es el de ellos, son capaces de mover sus rangos de frecuencia final y frecuencia inicial sin alterar el ancho de banda, como por ejemplo *Tadarida brasiliensis* (Altringham, 1999).

La prueba de Kruskal-Wallis, enseña concordancia con la información de los CP (Apartado 4.2 Prueba de Componentes Principales) respecto al comportamiento particular de cada especie:

*Eumops underwoodi* es una especie que puede adaptarse a diferentes condiciones ambientales (Apéndice 2) pero su sonido está regido por la viabilidad en la obtención de alimento. Los valores de “P” indican que no existe diferencia entre el sonido emitido en ambas localidades pero si en como varia a lo largo del año. Es en primavera donde aumentan las 4 variables, probablemente debido a que la población de insectos disminuye debido al frío que le precedió en el invierno (Figura H).

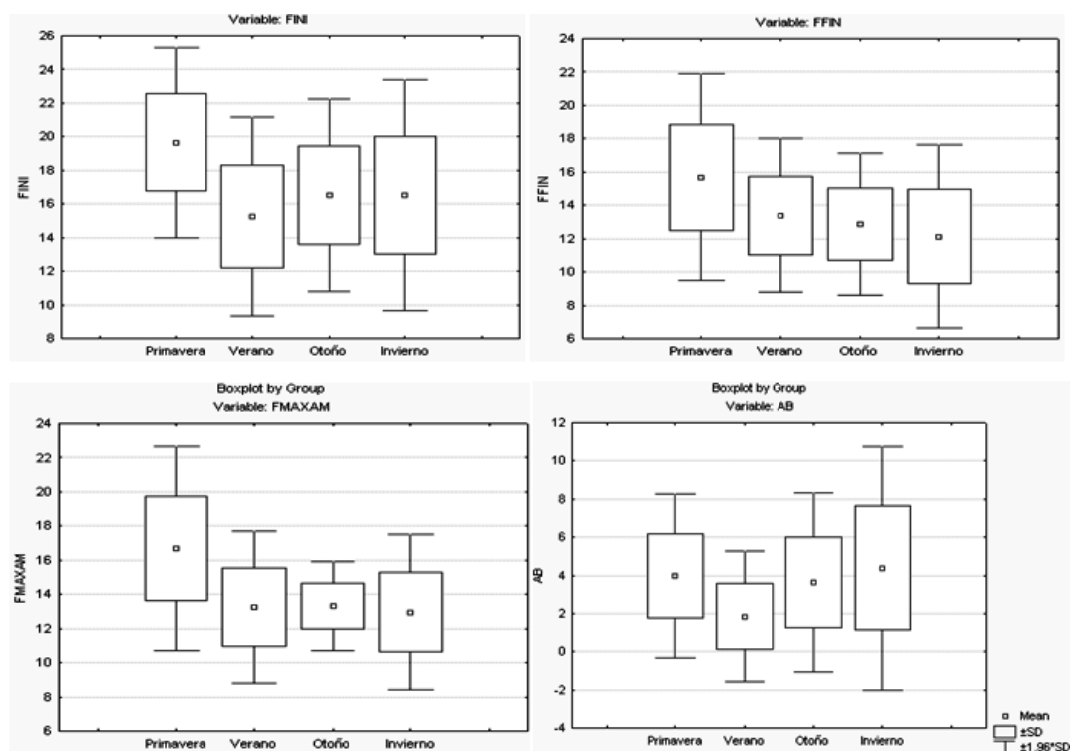


Figura H: DISTRIBUCIÓN DE LOS REGISTROS POR ESTACIÓN PARA *Eumops underwoodi*.

*Lasiurus cinereus* modifica solamente un valor tanto en la localidad como en la estación (FFIN), la modificación permite ampliar el rango de búsqueda de presas, sin embargo es solo una variable la modificada, en términos generales esta especie puede adaptarse muy bien a diferentes entornos, es su alimentación especializada (polillas) la que provoca el cambio en la variable, debido a la disponibilidad (Figura I).

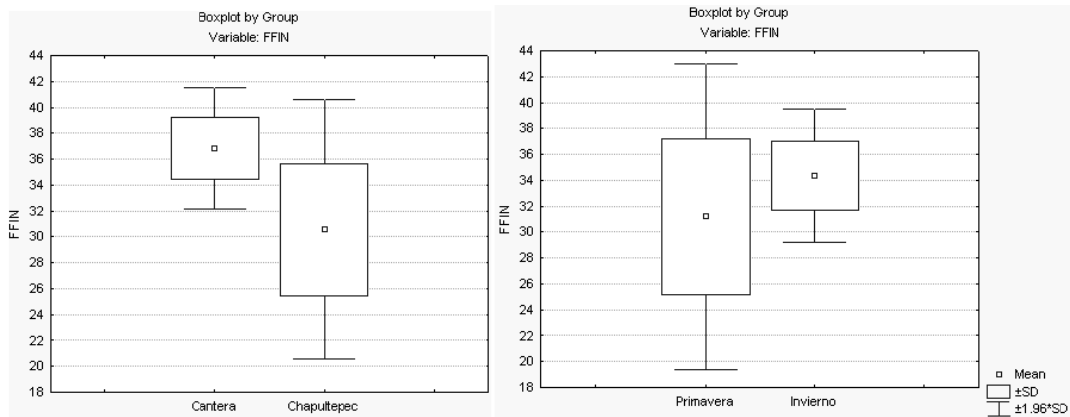


Figura I: DISTRIBUCIÓN DE LOS REGISTROS  
POR LOCALIDAD Y ESTACIÓN PARA *Lasiurus cinereus*.

*Tadarida brasiliensis* es la especie que mas plasticidad presenta su sonido, lo adapta según su entorno y a su vez por la disponibilidad de alimento, hay que recordar que son animales que forman colonias numerosas, y en el momento del forrajeo, deben evitar la confusión de la emisión de su propio sonido con la de otro individuo. Es en Chapultepec en donde las variables se incrementaron en contraste a la Cantera, recordando que el área del Bosque es más grande que el de la Cantera, deben modificar todas las variables para ser más específicos (Figura J).

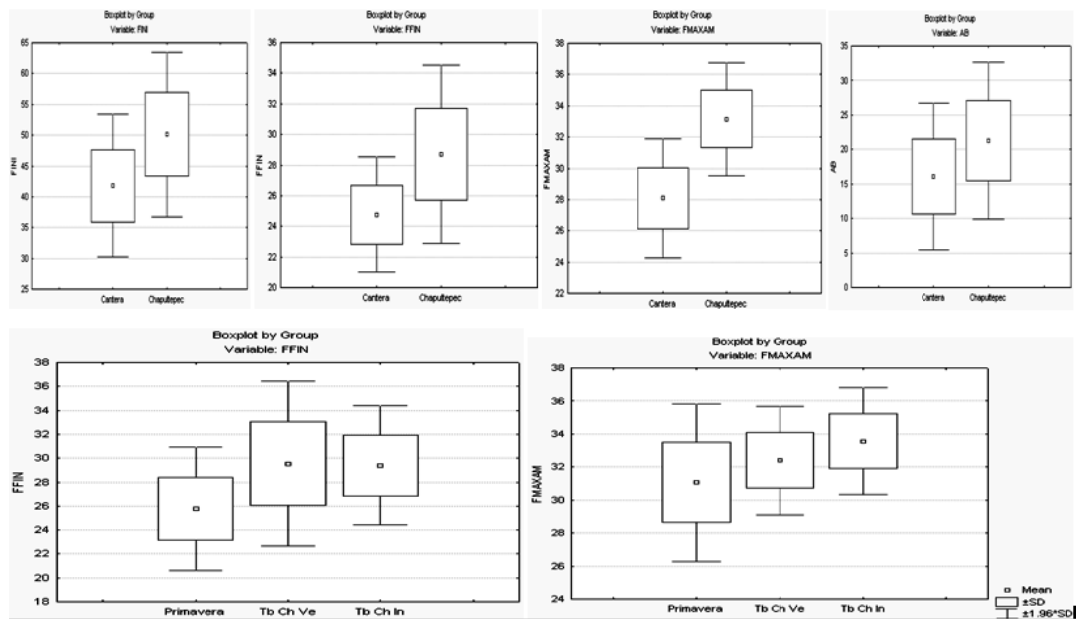


Figura J: DISTRIBUCIÓN DE LOS REGISTROS POR LOCALIDAD Y ESTACIÓN  
PARA *Tadarida brasiliensis*.

*Molossus rufus* modifica en la localidad su FFIN y por estación la FINI, ambos cambios afectan directamente al AB, ampliando el rango de búsqueda de alimento, la disponibilidad de alimento, por lo tanto, no solo varia a lo largo del año sino que también entre localidades. Es en verano en donde las poblaciones de insectos se incrementa (Ceballos, 2005), por lo tanto el sonido incrementando la FFIN y por lo tanto disminuyendo el rango del pulso es decir el AB (Figura K).

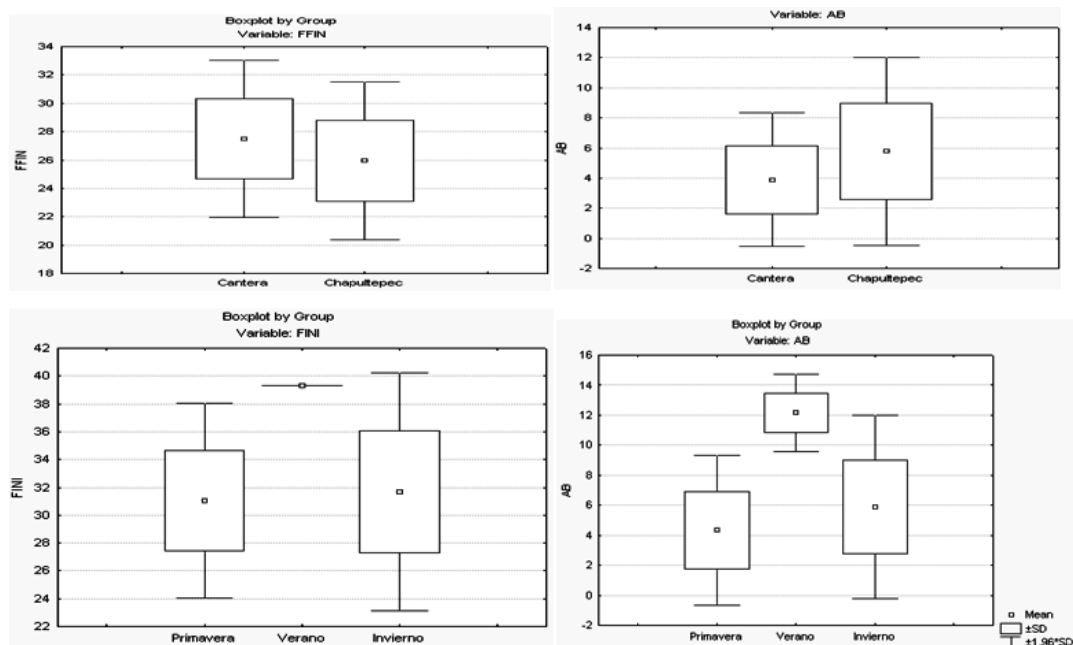


Figura K: DISTRIBUCIÓN D ELOS REGISTROS  
POR LOCALIDAD Y ESTACIÓN PARA *Molossus rufus*.

*Molossus sinaloae* el cambio más notable es por estación en donde además de su FFIN modifica su FMAXAM, hay que recordar que estos cambios pueden deberse a la peculiar forma en que emiten sus pulsos, un pulso alto seguido por uno bajo y así sucesivamente. En esta especie ocurre algo muy similar que en *M. rufus*, al incrementar la FFIN el rango del pulso (AB) disminuye (Figura L).



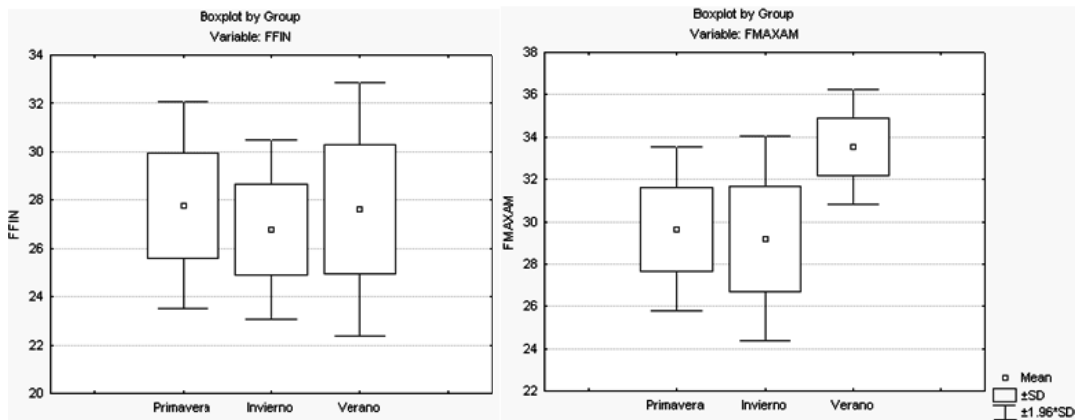


Figura L: DISTRIBUCIÓN DE LOS REGISTROS POR LOCALIDAD Y ESTACIÓN PARA *Molossus sinaloae*.

*Myotis velifer* y *Myotis californicus* son especies pequeñas que poseen un sonido muy especializado, en el momento en que las condiciones ambientales provocan que la población de insectos disminuya, incrementan su FINI y por lo tanto el AB para tener un mejor rango de sensibilidad. Nuevamente en verano la FINI aumenta disminuyendo la AB para ambas especies. (Figura M). Se recalca que el hecho de que no se tenga información para la Cantera de esta especie no implica que no pueda existir una diferencia entre las características de los pulsos entre ambas localidades.

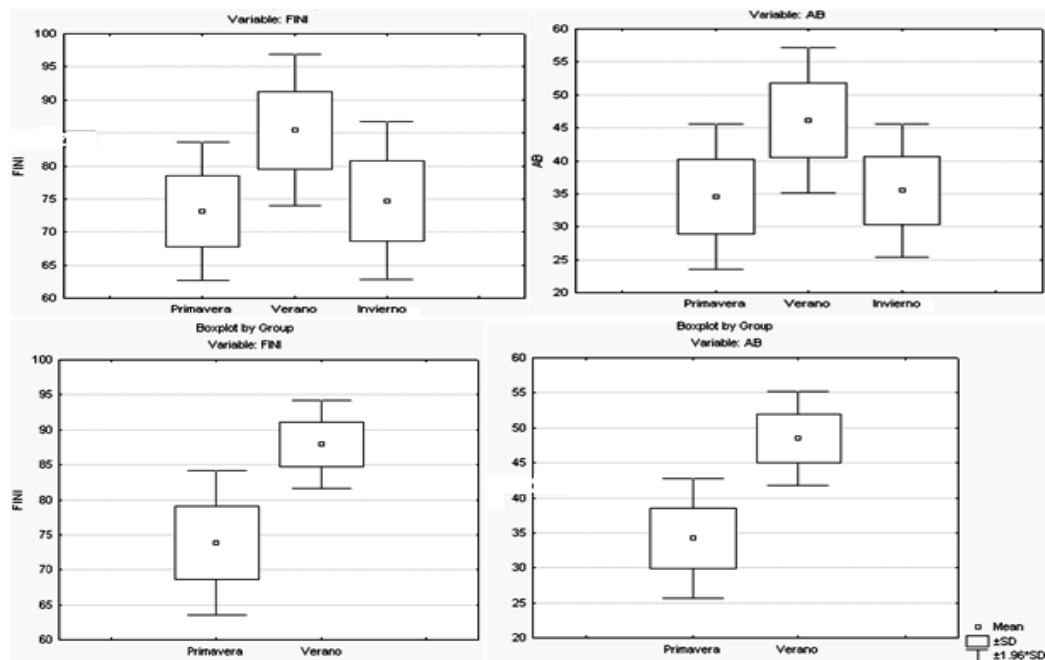


Figura M: DISTRIBUCIÓN DE LOS REGISTROS POR ESTACIÓN PARA *Myotis velifer* (superior) y *Myotis californicus* (inferior)

---

## CAPITULO 5

### Conclusiones

A lo largo de los años 2009 y 2010, dentro de las localidades de Chapultepec y la Cantera Oriente, se monitorearon 7 especies de murciélagos: *Lasiurus cinereus*, *Tadarida brasiliensis*, *Molossus rufus*, *Myotis velifer*, *Myotis californicus*, *Molossus sinaloae* y *Eumops underwoodi*. Las características cualitativas y cuantitativas del sonido fueron las que ayudaron a determinar la especificidad. Estas especies son las que poseen mayor abundancia en las zonas de estudio, sin ser las únicas que están reportadas para ambas localidades.

Existe una predilección en la zonas de forrajeo para cada especie, por ejemplo, se encontró una mayor actividad de alimentación por parte de *Lasiurus cinereus*, *Tadarida brasiliensis*, *Molossus rufus*, *Myotis velifer* y *Myotis californicus* en el bosque de Chapultepec, mientras que *Molossus sinaloae* y *Eumops underwoodi* se alimentan en mayor número en la Cantera Oriente.

Los murciélagos adaptan su sonido a las condiciones de su hábitat, por ejemplo, en una localidad con un gran número de árboles los pulsos se acortan en duración y aumentan en el ancho de banda, características que les ayuda a sortear obstáculos, por otro lado, dentro de una localidad abierta, los pulsos incrementan en su duración y disminuyen en su ancho de banda, de esta manera el sonido recorre distancias más largas.

Las características del sonido para cada especie varían, no solamente por las diferencias geográficas de sus hábitats, sino también, por el cambio en las condiciones ambientales o estacionalidad a lo largo del año. Las fluctuaciones en el clima afectan directamente la densidad de población de los insectos de los cuales los murciélagos se alimentan, por ejemplo las temporadas frías traen consigo una disminución en la población de artrópodos, para compensar esto, los murciélagos generan pulsos con un ancho de banda más amplio con la finalidad de abarcar un espectro más grande y encontrar con mayor precisión a sus presas. En el caso contrario, con la presencia de un gran número de insectos, los rangos de la frecuencia de los pulsos tienden a disminuir, siendo menos específicos pero permitiendo a los quirópteros ahorrar energía.

---

Específicamente, *Eumops underwoodi* no emite un sonido significativamente diferente entre ambas localidades, puede adaptarse a los cambios geográficos, sin embargo es una especie muy susceptible a los cambios en la estacionalidad.

*Lasiurus cinereus* emite un sonido estable a lo largo del año en ambas localidades y a lo largo del año; no necesitan modificar significativamente el sonido que emiten, por lo tanto es una especie que se adaptable.

*Tadarida brasiliensis* la especie que emite un sonido plástico que se modifica a lo largo del año y entre localidades diferentes. Dado que esta especie tiende a forrajear en grandes comunidades, evitan confundirse con el sonido de otro individuo modificando sus frecuencias, dando una gran variabilidad al pulso emitido.

*Molossus sinaloae* y *Molossus rufus* son especies que pueden adaptarse adecuadamente a cualquier cambio que se presente en su entorno modificando aquellas características en el sonido que favorece la obtención del alimento.

*Myotis velifer* y *Myotis californicus* son especies cuyo sonido se ve afectado según la estacionalidad, incrementando o disminuyendo el rango del sonido (ancho de banda) según la disponibilidad de alimento. Sin embargo el que no se haya encontrado en otra localidad no es indicador de que no pueda modificar su sonido también en dos localidades diferentes.

---

## Bibliografía

- AIRAS, M. (2003) Echolocation in bats HUT, Laboratory of Acoustics and Audio Signal Processing 320 págs.
- ALCALDE, J. T. (1999) Situación actual de los murciélagos en la península Ibérica SECEMU Sociedad Española para la conservación y el estudio de los murciélagos. Recuperado el 5 de abril del 2010 de <http://www.secemu.com/cod/documinter04.html>.
- ALLEN, G. M. (1940) Bats, Harvard University Press. United States. Pp: 50-61.
- ALTRINGHAM, J. D. (1999) Bats. Biology and Behaviour Oxford University 259 págs.
- ARITA, H. y J. Ortega (2005) Tadarida brasiliensis. En Ceballos G. y G. Olivia (Coordinadores). Los Mamíferos Silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Pp: 335-337.
- AVILA, R. (2003) Habitat use by foraging insectivorous bats in a large urban mosaic York University, Toronto Canada Pp: 415-422.
- BALMORI, A. (1998) El estudio de quirópteros a través de sus emisiones ultrasónicas Métodos de Mastozoología. Galemys, 10 (1), 8 págs.
- BALMORI, A. (1999). La reproducción en los quirópteros Galemys, Valladolid 11 (2): 17-34.
- Bat Conservation International Publication (2010) Bat Conservation Times. Obtenido el 9 de Enero de 2011 de <http://www.batcon.org/news2/scripts/article.asp?articleID=131>
- BRADLEY, S. y C. Flaquer (2002) Geographic variation in the echolocation calls of Vespardelus spp. (Vespertilionidae) from New South and Queensland, Australia. Museum and Institute of Zoology PAS. Acta Chiropterologica, 4(2):201-215.
- BROWN, T. (2000) Handbook of Applied Multivariate Statistics and Mathematical Modeling Elsevier, 730 págs.
- CASTRO C. (2005) Myotis velifer En Ceballos G. y G. Olivia (Coordinadores). Los Mamíferos Silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Pp: 293-295.

- 
- 
- CEBALLOS G. y C. Galindo (1984). Mamíferos silvestres de la cuenca de México. Limusa México D. F. Pp. 64 – 127.
  - CEBALLOS, G. y G. Olivia (2005). Los mamíferos silvestres de México. CONABIO y Fondo de Cultura Económica, México D.F.
  - CIECHANOWSKI, M. (2002) Community structure and activity of bats (Chiroptera) Mamm. biol. 67 Pp. 276-285.
  - CORNELL LAB OF ORNYTHOLOGY. (2009). Appendix B A Biologist's Introduction to Spectrum Analysis. Bioacoustics Research Program. Recuperado el 11 de mayo de 2010 de <http://www.birds.cornell.edu/brp/pdf-documents/AppB-SpectrumAnalysis.pdf>.
  - DOS SANTOS, M. (2009) Abre tus alas. Revista de divulgación Axxón, febrero de 2009, Argentina Pp. 50-52.
  - DUCUMMON, S. (2002) Ecological and Economic importance of bats. Bat conservation International, Inc, Austin Texas 12 págs.
  - El Parque Urbano de Chapultepec. Obtenido el 4 de julio del 2010 de <http://www.chapultepec.org.mx/web2010/index.php>.
  - ESTRADA, A., C. Jiménez, A. Rivera y E. Fuentes (2004) General bat activity measured with an ultrasound detector in a fragmented tropical landscape in Los Tuxtlas, Mexico. Animal Biodiversity and Conservation 27.2 Pp. 1-9.
  - FENTON, M.B. y Bell, G.P. (1981). Recognition of species of insectivorous bats by their echolocation calls. J. Mammal. 62: 233–243
  - GEHRT, S. y J. Chelsvig 2008 Bat Activity in an Urban Landscape: Patterns at the Landscape and Microhabitat. ScaleMcGraw Wildlife Foundation, Pp. 437-457.
  - GILLAM, E. H. y G. F. McCracken (2007). Variability in the echolocation of *Tadarida brasiliensis*: Effects of geography and local acoustic environment. Animal behavior 74: 277-286.
  - GUILLEN, F. (2005) Chapultepec es un ecosistema urbano y el hábitat de cuatro especies en peligro de extinción. Comunicación social GDF. Boletín 624 del Domingo, 26 de junio de 2005
  - HILL, J. E. & Smith, J. D. (1984), Bats—A natural history, University of Texas Press, Austin, Texas.
  - HORTELANO, Y., F. Cervantes y A. Trejo-Ortiz (2009) Mamíferos silvestres de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria.

- 
- Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 507- 520, 2009.
- HUTSON A., S. Mickleburgh y P. Racey (2001) Microchiropteran bats. Global status survey and conservation action plan. IUCN The World Conservation Union 254 págs.
  - ÍÑIGUEZ, I. (2005) *Eumops underwoodi*. En Ceballos G. y G. Olivia (Coordinadores). Los Mamíferos Silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Pp: 321-322.
  - ÍÑIGUEZ, I. (2005) *Myotis californicus*. En Ceballos G. y G. Olivia (Coordinadores). Los Mamíferos Silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Pp: 280-281.
  - KISER, M. (1995) *Eumops underwoodi*. Mammalian Species. The American Society of Mammalogists. No. 516, Pp: 1-4.
  - LOT, A. (2007) Guía ilustrada de la cantera oriente. Caracterización ambiental e inventario biológico. Secretaria ejecutiva de la reserva ecológica del pedregal de san Ángel 59 págs.
  - MACDONALD, D. (2006) La gran enciclopedia de los mamíferos. Oxford Institute. Pp. 780-811.
  - MACSWINEY, C. (2008) What you see is what you get. The role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness. *Journal of Applied Ecology*, 45, 1364-1371.
  - MEDELLÍN, R. (2008) Identificación de los Murciélagos de México. Clave de campo. 2a edición. Instituto de Ecología, UNAM. 79 págs.
  - MEYER, C., C. Schwarz y J. Fahr (2004) Activity patterns and habitat preferences of insectivorous bats in a West African forest-savanna mosaic. *Journal of Tropical Ecology* 20: 297- 407.
  - MIYARA, F. (2001) El sonido, La música y el ruido. *Publicado en Tecnopolitan, número de Marzo-Abril de 2001.*
  - MORALES, T. (2005) *Lasiurus cinereus*. En Ceballos G. y G. Olivia (Coordinadores). Los Mamíferos Silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Pp: 270-275.

- 
- 
- OCHOA, J. y A. Arrizabalaga (2000) Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela Acta Chiropterologica, 2(2):171-183.
  - O'FARREL, Michael (2000) Geographic variation in the echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*) Acta Chiropterologica, 2(2): 185-196.
  - OROZCO, L. (2008) Descripción de llamados de ecolocación de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. Departamento de ecología y conservación de los recursos naturales. Laboratorio de Macroecología, México DF. 22 págs.
  - PEMBU, Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario. Obtenido el 25 de noviembre del 2010 de <http://pembu.atmosfcu.unam.mx/version/pembu.html>.
  - QUINN, G. (2002) Experimental Design and Data Analysis for Biologists. Cambridge University Press, UK, Pp. 443- 493
  - RATCLIFFE, J. y K. Helversen (2004) Conspecific influence call design in the Brazilian free-tailed bat, *Tadarida brasiliensis*. Publicado en NRC Research Press Web site at <http://cjz.nrc.ca> on 19 August 2004.
  - RIZO, A. (2008) Descripción y Análisis de los pulsos de Ecolocación de 14 especies de murciélagos insectívoros aéreos del estado de Morelos. Maestría en Ciencias. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz. Pp 102.
  - RUMSEY, D. (2003) Statistics for Dummies Wiley Publishing, Inc. Hoboken, 353 págs.
  - RUMSEY, D. (2007) Intermediate Statistics for Dummies The Ohio State University, 387 págs.
  - RYDELL, J. (2002) Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico. J. Zool., de London 257, 27-36.
  - SANTOS, M. (2005) *Molossus sinaloae*. En Ceballos G. y G. Oliva (Coordinadores). Los Mamíferos Silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Pp: 326.
  - SECO, F. y A. R. Jiménez (2006) Visión ultrasónica de los murciélagos. Seminario de Sistemas Inteligentes SSI2006, libro de actas, Madrid Pp. 31-45.

- 
- 
- SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE (2002). Anexo B. Listado Faunístico. Proyecto Ejecutivo para la implementación del manejo integral y desarrollo autosustentable del Bosque de Chapultepec. 63 Págs.
  - SEIDMAN, V. (2001) Bat activity along entertainment streams in northwestern California. Journal of Mammology, 82(3): 738-747.
  - SIMMONS, J. A. (1971) Echolocation in bats: Signal processing of echoes for target range. Science 171, Pp. 925-928.
  - SIMMONS, J. A. (1975) Information content of bat sonar echoes. Amer. Sci. 63 Pp. 204-215.
  - SIMMONS, J. A. (1979) Perception of echo phase information in bat sonar. Science 204:1336-1338.
  - SIMMONS, J. A., M. Fenton y M. O'Farrell (1979). Echolocation and pursuit of prey by bats. Science (Wash., D.C.), 203:16–21.
  - SIMMONS, J. A. (1980) Acoustic imaging in bat sonar. Echolocation signals and the evolution of echolocation. J. exp. Zool. 176:351-328.
  - SIMMONS, N. B. (2005). Order Chiroptera. in Mammal species of the World: a taxonomic and geographic reference, Third Edition, Volume 1 (D.E. Wilson and D.Mreeders, eds.). Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland USA. Pp. 312- 529.
  - SPEAKMAN, J. (2008) A first for bats. Evolutionary Biology. Nature Vol. 451, 14 Febrero 2008 Pp. 774-775.
  - STUART, B. (2002) Geographic variation in the echolocation calls of Vespadelus spp. (Vespertilionidae) from New South Wales and Queensland, Australia. Polish Academy of Sciences. Acta chiropterologica A. 2002 4-2:201-215.
  - WUND, M. (2003) Variation in the Echolocation Calls of Little Brown Bats (*Myotis lucifugus*) in response to different habitats. The American Midland Naturalist 156: 99-108.



---

## Apéndice I

Es importante esclarecer las características básicas del sonido para comprender en su totalidad la terminología utilizada en este trabajo (Altringham 1999).

El **sonido** es una vibración u onda que se propaga por un medio elástico (agua o aire). Esta vibración genera una perturbación en el medio, la cual se entiende como una presión determinada provocando que las moléculas de aire o de agua se acerquen unas a otras. El sonido es generado por una fuente en estado de vibración, en este caso la laringe de los murciélagos.

Al número de ondas por unidad de tiempo se le conoce como **frecuencia** y se mide en Hz o ciclos sobre segundo. Es decir 1 Hz es un suceso ocurrido en un segundo, 2 Hz son dos sucesos en un segundo y así sucesivamente. El oído humano puede percibir ondas sonoras que están desde los 20 Hz hasta los 20 kHz, por debajo de este rango se le conoce como infrasonido. Los llamados de los murciélagos oscilan entre los 20 kHz a los 120 kHz (ultrasonido).

Con relación a su frecuencia existe la propiedad conocida como **tono** la cual provoca la percepción del sonido grave y agudo.

Cada onda posee una distancia entre cresta y cresta llamada **longitud de onda**, entre más alta es la frecuencia más corta es la distancia entre crestas y viceversa. Existe otra característica importante llamada **amplitud**, la cual es la distancia entre cresta y valle, y está determinada por la cantidad de energía usada para generar dicho sonido. La amplitud se percibe como sonoridad o volumen.

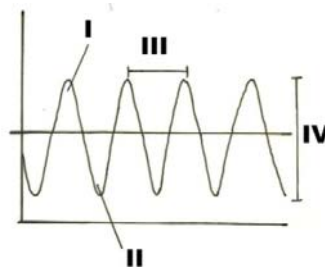


Figura 21: CARACTERISTICAS DE LAS ONDAS SONORAS

I: Cresta, II: Valle, III: Longitud de Onda y IV: Amplitud de Onda. Imagen de ORDUÑA-VILLALOBOS (2010)

---

El **ancho de banda** de un sistema nos indica la diferencia entre la frecuencia máxima y mínima con la que el sistema puede trabajar. El oído humano puede percibir frecuencias comprendidas entre los 20 y los 20000 Hz, es decir, el ancho de banda de nuestro oído es de unos 20 KHz.

Realmente el sonido es más complejo que el esquema anteriormente descrito. En el mundo natural las ondas son más complejas, y este fenómeno se debe a que el sonido posee en su estructura más de una amplitud y más de una longitud de onda. Cada sonido posee una frecuencia fundamental, la cual está representada como la más baja. Suponiendo que la frecuencia fundamental es 1 kHz, todos los siguientes componentes del sonido son múltiplos la frecuencia fundamental, es decir, 2 kHz, 3 kHz, 4kHz y así sucesivamente. A cada uno de estos se le conoce como **armónicos** 2kHz es el segundo armónico, 3kHz es el tercer armónico, etc.

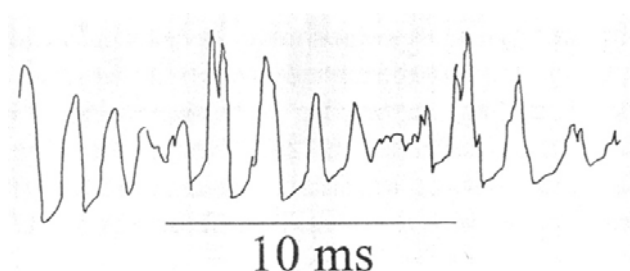


Figura 22: ESQUEMA DE ONDA SONORA COMPLEJA - VOZ HUMANA

Imagen obtenida de ALTRINGHAM (1999).

Es importante tener en claro que el sonido emitido por los murciélagos no es el mismo que recibido para generar imágenes tridimensionales. Al contrario cuando el sonido rebota (reflexión) en una superficie perpendicular a la dirección de la onda, el resultado es lo que conocemos como **eco**, el cual es captado y procesado por los quirópteros para posteriormente ser transformado en información útil.

Cuando una ambulancia pasa por la calle el sonido producido por su sirena será percibido de diferentes maneras según su acercamiento o alejamiento. Cuando el vehículo se aproxima las ondas sonoras son empujadas contra nuestras orejas debido a la velocidad de la ambulancia. Por lo tanto las ondas son comprimidas disminuyendo

---

la longitud de onda, incrementando la frecuencia y por lo tanto el tono, estas propiedades se invierten en el momento en que el móvil se aleja de nosotros. Este fenómeno se le conoce como **efecto Doppler**.

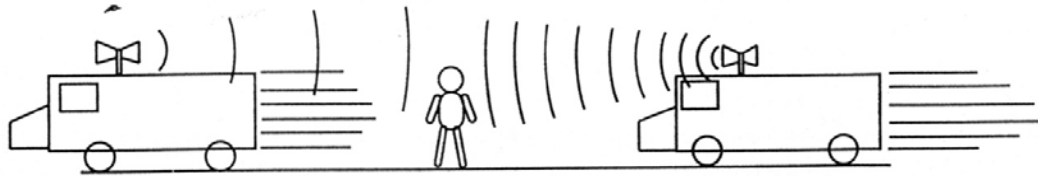


Figura 23: EFECTO DOPPLER  
Imagen obtenida de ALTRINGHAM (1999).

---

## Apéndice II

Las características que se presentan a continuación han sido descritas por Ceballos (2005), Medellín (2008) y Rizo (2008).

### ***Eumops underwoodi***

Especie de gran tamaño 65.5 – 75.3 mm de antebrazo. Posee las orejas unidas en la porción media de la cabeza. La membrana interfemorale es angosta de la cual sobresale cola larga. Forrajea a gran altura y se alimentan principalmente de coleópteros. Son especies que pueden habitar tanto en zonas áridas como templadas.



Figura 24: ***Eumops underwoodi***

Imagen obtenida de Bat Conservation International Publication (2010).

### ***Molossus rufus***

Es una especie de tamaño mediano entre los miembros de la familia Molossidae y grande entre las especies de su género. Sus antebrazos miden entre 47 y 52 mm. Las orejas son redondeadas y no están unidas. El trago es pequeño y semicircular. Son gregarios, sus refugios más comunes son construcciones, hoyos en los árboles y grietas.

---



Figura 25: ***Molossus rufus***

Imagen obtenida de Bat Conservation International  
Publication (2010).

***Molossus sinaloae***

Especie de menor tamaño que *Molossus rufus*, antebrazos alrededor de 46 y 49 mm y pesa entre 14 y 28 g. Igualmente de hábitos gregarios, encuentran sus refugios en casas, hoyos de árboles y grietas.



Figura 26: ***Molossus sinaloae***

Imagen obtenida de Bat Conservation International  
Publication (2010).

---

---

### ***Tadarida brasiliensis***

Molósido pequeño cuyo antebrazo mide de 36 a 46 mm y pesa de 11 a 15 g. Las orejas no sobrepasan la punta de la nariz cuando se extienden hacia el frente, y no se encuentran unidas en la parte media. Se alimenta principalmente de polillas. Es la especie que forma las congregaciones más numerosas. Sus actividades diarias están muy influidas por los cambios en la temperatura del medio ambiente. En días muy fríos permanecen inactivos.



Figura 27: ***Tadarida brasiliensis***

Imagen obtenida de Bat Conservation International  
Publication (2010).

### ***Lasiurus cinereus***

Murciélago de tamaño mediano, su antebrazo mide entre 50 y 57 mm y su peso varía entre 20 y 35 g. Se alimenta principalmente de Polillas. De hábitos solitarios, algunas veces se pueden encontrar dos o tres individuos juntos. Efectúan migraciones estacionales en grupos. La migración se efectúa en los meses comprendidos entre mayo y septiembre, variando un poco con la latitud. Existen evidencias que los machos recorren distancias mayores que las hembras.



Figura 28: ***Lasiurus cinereus***

Imagen obtenida de Bat Conservation International  
Publication (2010).

### ***Myotis velifer***

Son los murciélagos más grandes del género. Su antebrazo mide entre 36.5 y 47 mm y pesa entre 6 y 11 g. Las patas son robustas y de un poco más de la mitad de la tibia en longitud. El calcáneo no es aquillado. Son coloniales y salen de sus refugios cuando ya está bien entrada la noche. Se les encuentra en una extensa variedad de tipo de vegetación tales como bosque tropical caducifolio, espinoso, entre otros, incluso áreas perturbadas.



Figura 29: ***Myotis velifer***

Imagen obtenida de Bat Conservation International  
Publication (2010).

---

---

### ***Myotis californicus***

Es una especie pequeña, sus antebrazos miden menos de 36 mm y pesa entre 2 a 5 g, Las orejas no sobrepasan la punta de la nariz cuando se extienden hacia el frente, la membrana interfemoral es amplia y el calcáneo está aquillado. La cola es larga casi del tamaño del cuerpo. Son murciélagos de hábitos gregarios que se refugian en cuevas, minas, grietas entre las rocas y construcciones. En los meses de invierno permanecen aletargados, quedándose en los refugios durante las noches más frías y mostrándose activos en las de condiciones climáticas menos severas.



Figura 30: ***Myotis californicus***

Imagen obtenida de Bat Conservation International  
Publication (2010).