



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**VARIACIÓN EN LOS PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN DEL
MURCIÉLAGO *Corynorhinus townsendii***

TESIS DE INVESTIGACIÓN

P R E S E N T A:

YADIRA ESTAÑOL CASTILLO

CODIRECTORES

DR. JOSÉ ANTONIO GUERRERO ENRIQUEZ

DRA. ARELI RIZO AGUILAR

CUERNAVACA, MORELOS

MARZO, 2021



*Si realmente amas la
naturaleza, encontraras
belleza en todas partes.*

-Vincent Van Gogh

AGRADECIMIENTOS

A mi tía Bibis por todo el apoyo que me brindó desde el inicio hasta el final de mi carrera, por motivarme a crecer cada día más y siempre dar lo mejor de mí, por creer en cada paso que di y hacer que mi sueño de ser bióloga se hiciera realidad. Te amo infinitamente.

A mis padres por siempre darme ánimo y apoyo incondicional. A mi mamá por echarme porras cuando pasaba por momentos difíciles, por confiar en que lo lograría y nunca dejarme caer, por siempre ayudarme en todos los aspectos y por ser la mejor madre del mundo. A mi papá por todas las veces que me llevo a la universidad en su moto a pesar de la lluvia y por demostrarme que siempre estará ahí. Los amo muchísimo.

A mis hermanos David y Veronica por estar al pendiente de mis progresos, a mi cuñado Carlos por siempre echarme porras.

A mis codirectores de tesis, el Dr. José Antonio Guerrero y la Dra. Areli Rizo por toda la ayuda brindada, por su paciencia, consejos y enseñanzas. Siempre estaré infinitamente agradecida con ustedes.

A mis sínodos, el M. en C. Luis Gerardo Ávila y a la M. en C. Ana Cristel Lara por todas sus contribuciones y correcciones a mi escrito, así como también por su colaboración en campo.

A la M. en CIBC. Montserrat Monter y a la Biol. Blanca Natividad González por formar parte de mi jurado evaluador y sus aportaciones a mi escrito.

Al proyecto Sonozots por brindarme las grabaciones para esta investigación.

A Emery y Blanca por todo su ayuda y enseñanzas en cuanto al uso de los detectores, programas, redes, conocimientos y trabajo de campo, así como también por volverse parte importante de mi vida.

A todos mis amigos y compañeros por sus consejos y su apoyo en campo, Emery, Blanca, Ana, Fabrizio, Gio, Diana, Miguel, Juan, Dirzo, Arleth y Adrián.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Orden Chiroptera.....	1
1.2	La ecolocalización	3
1.3	Variación en los pulsos de ecolocalización	5
1.4	<i>Corynorhinus townsendii</i>	8
1.4.1	Taxonomía y caracteres diagnósticos.....	8
1.4.2	Distribución	9
1.4.3	Hábitos.....	10
1.4.4	Reproducción.....	10
1.4.5	Alimentación	10
1.4.6	Ecolocalización	11
2	ANTECEDENTES	12
3	JUSTIFICACIÓN	15
4	OBJETIVO	15
5	MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1	Sitios de estudio	15
5.2	Grabación de los pulsos de ecolocalización.....	18
5.3	Análisis de los pulsos de ecolocalización	19
5.4	Análisis estadísticos	20
6	RESULTADOS.....	23
6.1	Distribución normal y homogeneidad de varianzas	23
6.2	Variación sexual	24
6.3	Variación en configuración del hábitat.....	24
6.4	Análisis de variación geográfica	25
6.5	Análisis multivariado.....	27
6.6	Análisis del tamaño	29
7	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	30
8	LITERATURA CITADA.....	36

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grupos funcionales de murciélagos insectívoros de acuerdo con su hábito de vuelo (Modificada de Neuweiler 2000)	2
Figura 2. Tipos de señales en llamadas de ecolocalización (Frecuencia modulada, Frecuencia constante y Frecuencia cuasi-constante) (Modificada de Lara-Núñez 2018).	4
Figura 3. Fases de captura: fase de búsqueda, fase de aproximación y fase final de <i>Mormoops megalophylla</i>	5
Figura 4. Distribución del género <i>Corynorhinus</i> (Tomada de Piaggio y Perkins 2005)....	8
Figura 5. Distribución del murciélago <i>Corynorhinus townsendii</i> (Arroyo-Cabrales y Álvarez-Castañeda 2017).	9
Figura 6. Ubicación de los sitios captura y de grabación de <i>C. townsendii</i> en México del proyecto Compilación de la fonoteca de referencia de los murciélagos insectívoros de México: Fase I (a) y ubicación de los refugios de captura y grabación en Morelos (b).	18
Figura 7. Parámetros de Frecuencia Inicial, Frecuencia Final, Frecuencia a Mitad del Pulso y Frecuencia de Máxima Amplitud y Duración e Intervalo de la especie <i>Corynorhinus townsendii</i>	20
Figura 8. Análisis exploratorios obtenidos a partir de la base de datos.	21
Figura 9. Comparaciones de los parámetros: Frecuencia Inicial (a), Frecuencia a Mitad de Pulso (b), Frecuencia Final (c), Duración (d), Intervalo (e) y Frecuencia de Máxima Amplitud (f).	26
Figura 10. Análisis discriminantes multivariados entre los estados.	28

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localidades de diferentes estados de la República Mexicana en donde se realizaron grabaciones de <i>Corynorhinus townsendii</i>	17
Tabla 2. Resultados de la prueba de Bartlett. Los asteriscos indican una diferencia significativa en las varianzas	24

Tabla 3. Promedios de los parámetros de los pulsos de ecolocalización de hembras y machos.....	24
Tabla 4. Promedios de los parámetros de los pulsos de ecolocalización para la configuración del hábitat.....	25
Tabla 5. Promedios de los parámetros de los pulsos de ecolocalización entre las localidades muestreadas para analizar la variación geográfica.....	27
Tabla 6. Análisis discriminativos multivariados, en donde el valor de F se encuentra por encima de la diagonal y el valor de p por debajo de la diagonal.	27
Tabla 7. Parámetros asociados a las variables canónicas	28
Tabla 8. Resultados del análisis de regresión lineal entre la longitud del antebrazo con respecto a los parámetros de los pulsos de ecolocalización.	29

RESUMEN

Los murciélagos presentan una característica peculiar que es emitir sonidos de alta frecuencia para orientarse y ubicar a sus presas en la oscuridad, llamada ecolocalización. Existe una notable variación en los pulsos de ecolocalización entre las especies, el sexo o la edad y también a factores abióticos como el clima, la temperatura, la zona geográfica y la configuración del hábitat donde los murciélagos se desplazan y alimentan. *Corynorhinus townsendii*, es un murciélago insectívoro aéreo de la familia Vespertilionidae, durante la fase de búsqueda, emite pulsos con duración de 2 a 5 milisegundos a frecuencias que van de los 40 a 30 kHz. generar información más amplia de este organismo es importante para entender la variación y facilitar la identificación de la especie en estudios de monitoreo acústico. Se analizó la variación en los pulsos de ecolocalización del murciélago *Corynorhinus townsendii* atribuida a la geografía, al sexo y a la configuración del hábitat, a través de grabaciones de los pulsos de ecolocalización obtenidas del proyecto Sonozots en 8 estados del país, así como de grabaciones de individuos capturados en tres refugios del estado de Morelos. Las grabaciones se examinaron con el programa Bat Sound 4.2, tomando una secuencia de 10 pulsos para cada grabación con los cuales se obtuvo un promedio para analizar parámetros de frecuencia y tiempo. A través de análisis estadísticos univariados y multivariados se mostró que, la geografía, el sexo y la configuración del hábitat no tienen un efecto significativo en la variación de sus pulsos, indicando que esta especie presenta poca plasticidad en su sistema de ecolocalización, con lo cual se sugiere que es debido a la carrera armamentística que desarrolla junto a las polillas, siendo esta su presa potencial, ya que al presentar frecuencias bajas, las polillas no lograrán detectar sus ultrasonidos y podrán efectuar la captura de su alimento de manera efectiva.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Orden Chiroptera

Los murciélagos pertenecen a la clase Mammalia dentro del orden Chiroptera con alrededor de 1,400 especies en el mundo (Fenton *et al.* 2020), 140 especies de las cuales se encuentran registradas para México (Ceballos y Arroyo-Cabrales 2012; Rivas-Camo *et al.* 2020). El orden se divide en dos subórdenes: Yangochiroptera y Yinpterochiroptera. Dentro del suborden Yangochiroptera se encuentran los micromurciélagos agrupados en tres superfamilias (Emballonuroidea, Vespertillonoidea y Noctillonoidea) y en 12 familias, mientras que en el suborden Yinpterochiroptera pertenecen los megamurciélagos con una superfamilia (Rhinolophoidea) y cinco familias (Torres y Guevara 2010). La mayoría de los murciélagos son de hábitos nocturnos, a excepción de los llamados zorros voladores que son activos durante el día (Torres y Guevara 2010).

Los murciélagos presentan diferentes hábitos de alimentación de los cuales existen seis gremios: Carnívoros, insectívoros, nectarívoros, ictiófagos, hematófagos y frugívoros (Mejenes-López y Vallarino-Moncada 2016). Por lo tanto, cumplen un papel ecológico importante dentro de los ecosistemas, ya que ayudan a la polinización de plantas y dispersión de semillas, así como también al control biológico de plagas de insectos que afectan a los cultivos. Dentro del gremio de insectívoros existen dos tipos de forrajeo: Insectívoros recolectores que encuentran a sus presas en un espacio estrecho colocadas en objetos de fondo como puede ser en el follaje o el suelo. Estos se clasifican en tres grupos de acuerdo a la estrategia de alimentación: espigador pasivo, espigador activo y detectores por aleteo; y los insectívoros aéreos, que como el nombre lo dice, capturan a los insectos durante el vuelo sin la interferencia de objetos de fondo, así como también los aéreos de borde tomando su alimento en el dosel de los árboles, cerca de edificios o huecos (Barclay y Brigham 1991; Denzinger y Schnitzler 2013).

Los tipos de vuelo que utilizan los murciélagos insectívoros aéreos se clasifican en tres grupos funcionales de acuerdo con el hábito alimenticio (Figura 1). Los del tipo 1 son forrajeadores de espacio abierto, por ejemplo, miembros de la familia de Molossidae. Tipo 2 y 4 son forrajeadores que capturan a sus presas cerca del sustrato, como la familia Natalidae y algunos Vespertiliónidos (Rizo-Aguilar 2008). Finalmente se encuentran los de tipo 3 que obtienen a sus presas entre la vegetación, como los del género *Myotis* (Neuweiler 2000; González 2018).



Figura 1. Grupos funcionales de murciélagos insectívoros de acuerdo con su hábito de vuelo (Modificada de Neuweiler 2000)

El tiempo estimado de vida para los murciélagos es de aproximadamente 20 años, su tamaño varía de acuerdo con la especie. Algunas especies tienen la capacidad de hibernar para sobrevivir en el invierno. Habitan en espacios cerrados como cuevas, túneles, minas abandonadas o lugares abiertos escondidos entre las hojas de las palmeras y corteza de los árboles, algunos son más sensibles a la perturbación humana que otros. Tienen un periodo de gestación de 3 a 6 meses y la hembra tiene cuidado parental (Mejenes-López y Vallarino-Moncada 2016).

1.2 La ecolocalización

La mayoría de los murciélagos emiten sonidos ultrasónicos para orientarse y ubicar a sus presas en la oscuridad, los cuales no son perceptibles para el oído humano (Jones y Teeling 2006). Estos sonidos son emitidos a través de la boca o nariz y al encontrar a su presa se reflejan mediante un eco que es captado e interpretado por los diversos órganos que conforman el oído, mostrándole una imagen certera de su entorno. Los murciélagos que poseen la capacidad de ecolocalizar son los del suborden Yangochiroptera, los cuales utilizan la laringe para transmitir dichos pulsos, que les sirven para orientarse y navegar en el medio, y en el caso de las especies insectívoras, usan este sistema ecolocalización más desarrollado para ubicar y cazar a sus presas (Cortez-Calva 2013).

Una gran variedad de órganos y estructuras del cráneo intervienen para la emisión y recepción de los pulsos de ecolocalización, permitiendo su proceso y comprensión de manera eficiente (Altringham 2011). El aire que entra por la laringe hace que las cuerdas bucales vibren y los músculos de la laringe se dilaten y contraigan provocando que las cuerdas bucales se tensen y así emitir el pulso por medio de la boca o nariz (dependiendo de la especie) dicho pulso al rebotar regresa en forma de eco que es captado por el oído. Una vez captado por el oído, el sonido viaja a través del oído externo provocando vibración en la membrana timpánica, pasando por el martillo, yunque y estribo, recorriendo la ventana oval para pasar a la cóclea. En la cóclea, los sonidos son ordenados por frecuencia, está el órgano de Corti (respuesta a sonidos de frecuencia reducida), donde las ondas sonoras hacen que la membrana tectorial vibre, moviendo los cilios (microvellosidades) de células sensoriales, estas a su vez tienen un nervio que conecta al cerebro, haciendo que el impulso eléctrico se conduzca a la corteza auditiva para la recepción de la señal (Altringham 2011).

Los sonidos de ecolocalización emitidos por murciélagos insectívoros son de corta duración (milisegundos) los cuales se clasifican en distintos componentes de señales

acústicas (Figura 2). El componente frecuencia modulada (FM) se muestra de manera descendente, comenzando la señal en una frecuencia alta y disminuyendo progresivamente, son señales de banda ancha y poca duración, utilizadas para localizar a la presa y es usada por murciélagos que forrajean en ambientes cerrados como pueden ser en los bordes, sustrato y entre la vegetación (Neuweiler 2000; Schnitzler y Kalko 2001). Para el componente frecuencia constante (FC) se muestra como una señal pura que va de 10 a 100 milisegundos durante la fase de búsqueda, son de banda estrecha y larga duración, usadas para la detección y clasificación de su presa durante movimiento en espacios cerrados y abiertos (Neuweiler 2000; Schnitzler y Kalko 2001). También existe una combinación entre ambos componentes cuando no se tiene por definido si es FM o FC, conocida como frecuencia cuasi-constante (FQC), la cual comprende cambios de frecuencia de pocos kilohertzios (kHz) entre el inicio y el final de la señal, son de banda corta y es utilizada por forrajeadores de espacios abiertos (Neuweiler 2000; Schnitzler y Kalko 2001; Lara-Núñez 2018).

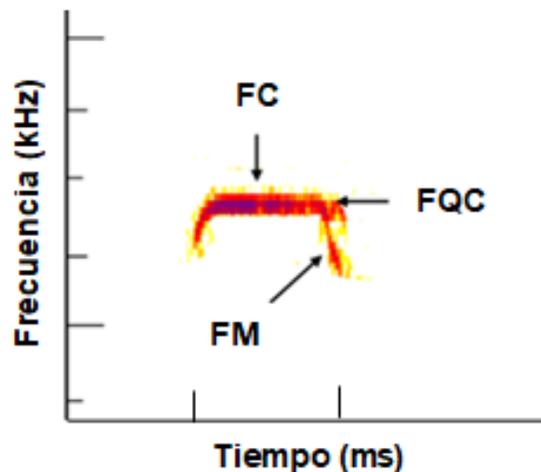


Figura 2. Tipos de señales en llamadas de ecolocalización (Frecuencia modulada, Frecuencia constante y Frecuencia cuasi-constante) (Modificada de Lara-Núñez 2018).

Los murciélagos insectívoros usan su sistema de ecolocalización para buscar, localizar y capturar a sus presas. Para tener un conocimiento más amplio acerca del estudio y descripción de estas secuencias, se han clasificado en tres fases: fase de búsqueda, fase de aproximación y fase terminal (Figura 3). En la fase de búsqueda, la frecuencia

de repetición del pulso emitido es relativamente baja. Cuando la presa ya fue localizada, se presenta la fase de aproximación y empieza la cacería, en donde los pulsos emitidos aumentan en repetición y el intervalo y la duración del mismo disminuye. Finalmente se presenta la fase terminal, en la cual el murciélago se encuentra a una distancia relativamente corta de su presa, emitiendo los pulsos a una tasa rápida, aquí el murciélago captura a su presa (Griffin *et al.* 1960; Corcoran y Conner 2017).

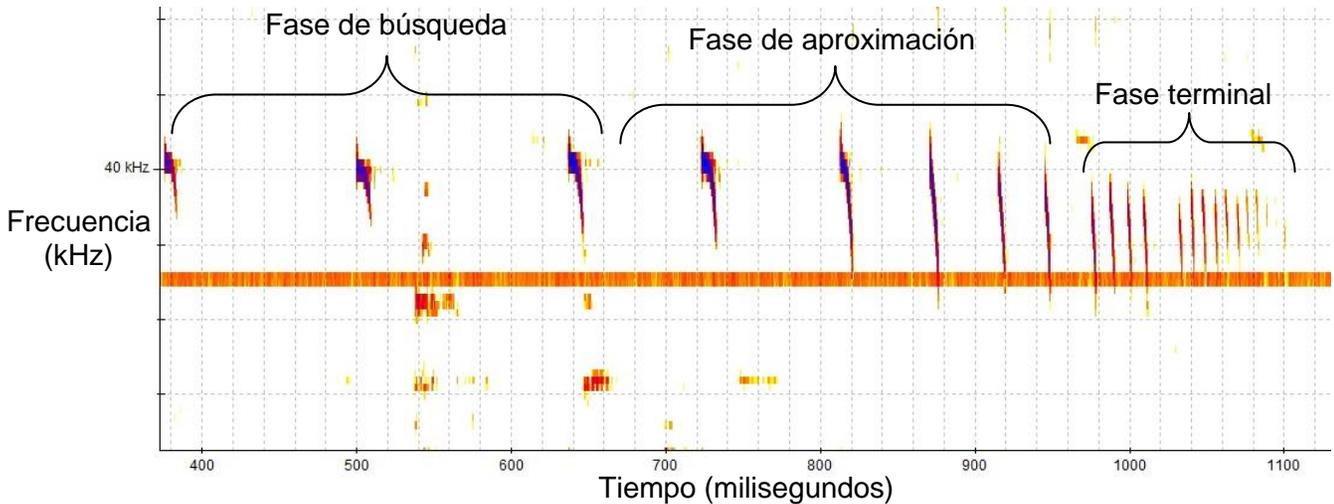


Figura 3. Fases de captura: fase de búsqueda, fase de aproximación y fase final de *Mormoops megalophylla*.

1.3 Variación en los pulsos de ecolocalización

Si bien la ecolocalización es una de las características del orden Chiroptera, existe una notable variación en los pulsos entre las especies (Kazial *et al.* 2001). Además, los pulsos varían de forma individual respecto al tamaño del organismo, el sexo o la edad, a factores abióticos tales como el clima, temperatura o de acuerdo con la zona geográfica (Kazial *et al.* 2001; Shiang-Fan *et al.* 2009). Existen llamados o vocalizaciones dentro de una colonia que se usan para interacciones sociales, y sonidos de ecolocalización, que son emitidos para la búsqueda de alimento y orientación (Russo *et al.* 2017).

El tamaño del cuerpo es un factor que está relacionado con las características de los pulsos de ecolocalización (Barclay *et al.* 1999; Jiang *et al.* 2015; Russo *et al.* 2017; Kraker-Castañeda *et al.* 2018), ya que el tamaño de los tractos bucales más grandes

generan frecuencias más bajas que los más pequeños, es decir, entre más grande la especie de murciélago, menor será la frecuencia del pulso. Esto ocurre en cinco familias: *Rhinolophidae*, *Hipposideridae*, *Emballonuridae*, *Vespertilionidae* y *Molossidae* (Russo *et al.* 2017).

Durante el desarrollo de las crías, existe un cambio de los ultrasonidos debido al desarrollo de órganos bucales y los sistemas de audición (Kraker-Castañeda *et al.* 2018; Varela-Boydo *et al.* 2019). De recién nacidas, las crías producirán chirridos para que la madre pueda reconocerlas, y mientras avanza el desarrollo posnatal, las crías tienden a aumentar las frecuencias al emitir los sonidos reduciendo la duración de los pulsos y produciéndolos de manera repetitiva (Varela-Boydo *et al.* 2019). Mientras que en organismos juveniles, los pulsos emitidos serán de alta frecuencia y serán capaces de procesar la información obtenida mediante los ecos (Kunz y Martín 1982; Kraker-Castañeda *et al.* 2018).

Cuando se comparan los ultrasonidos de hembras y machos en la búsqueda de pareja, las frecuencias pueden variar debido a que la hembra, al elegir pareja, busca al macho con niveles de frecuencia de reposo más altos debido a que posee llamadas de mejor calidad, es por ello que los machos con frecuencias más altas suelen tener mayor descendencia por ser más aptos (Grilliot *et al.* 2009; Jiang *et al.* 2015; Russo *et al.* 2017). En cuanto a los machos, suelen recurrir más a intensidades menores, aunque aún no se tiene claro el motivo (Russo *et al.* 2017).

En presencia del ruido ambiental, los murciélagos son capaces de cambiar las características de sus pulsos de ecolocalización, presentando diversas modificaciones en su estructura, al volar en un espacio abierto aumentan los valores de frecuencia y de sus pulsos en sus sonidos. Esto lo hacen para evitar un enmascaramiento directo y maximizar el alcance, lo cual logran hacer disminuyendo la duración y modificando el diseño de llamadas (Gilliam y McCracken 2007; Lara-Núñez 2018)

La configuración espacial del hábitat es otro factor que modifica los pulsos de ecolocalización de los murciélagos. Cuando estos se encuentran en un espacio abierto, los sonidos de ecolocalización son de banda estrecha lo cual aumenta el alcance por la energía concentrada (Barclay *et al.* 1999; Schnitzler y Kalko 2001; Kracker-Castañeda *et al.* 2018), provocando que los sonidos tengan una mayor distancia y rango operacional, evitando el enmascaramiento directo debido a que las llamadas son de frecuencia baja (Schnitzler y Kalko 2001; Kracker-Castañeda *et al.* 2018). En un espacio cerrado, los murciélagos emiten una señal con mayor ancho de banda en la fase de búsqueda por cada pulso realizado, con sonidos que poseerán múltiples armónicos o un solo armónico y de corta duración (aproximadamente 1–3 ms). Serán susceptibles a la superposición de estos, normalmente estarán acompañados por ecos que guiarán el comportamiento de los murciélagos (Schnitzler y Kalko 2001; Kracker-Castañeda *et al.* 2018).

Al volar en conjunto con otros miembros de la especie, los murciélagos cambian la estructura de sus sonidos de ecolocalización para evitar confundir sus propios ecos con los de otros murciélagos y evitar el enmascaramiento (Gilliam y McCracken 2007; Bates *et al.* 2008), separando así sus propias llamadas de las conoespecíficas. A esto se le llama “respuesta para evitar atascos” (Bates *et al.* 2008).

Por otro lado, al tratarse de poblaciones separadas geográficamente, existen diferencias en los sonidos de ecolocalización entre individuos de cada población, esto puede deberse a la diferenciación genética entre distintas localidades, deriva cultural, aprendizaje, o bien, a las presiones y/o adaptaciones ambientales sobre los individuos en una determinada región (Shiang-Fan *et al.* 2009; Jiang *et al.* 2010; Sun *et al.* 2013; Vasselka *et al.* 2013; Lin *et al.* 2014; Montoya 2019). Además de las variaciones en la distribución altitudinal entre individuos de la misma especie (Gilliam y McCracken 2007).

1.4 *Corynorhinus townsendii*

1.4.1 Taxonomía y caracteres diagnósticos

El género *Corynorhinus* se compone de tres especies: *Corynorhinus rafinesquii*, *Corynorhinus mexicanus* y *Corynorhinus townsendii* (Lack y Van Den 2009) con una amplia distribución (Figura 4). La especie de estudio, *Corynorhinus townsendii* (Murciélago Orejudo de Townsend) es un murciélago insectívoro que se encuentra dentro de la familia Vespertilionidae. Su taxonomía reconoce 5 subespecies, las cuales son: *Corynorhinus townsendii australis*, *C. t. ingens*, *C. t. pallescens*, *C. t. townsendii* y *C. t. virginianus* (Kunz y Martín 1982; Piaggio y Perkins 2005; Gruver y Keinath 2006).

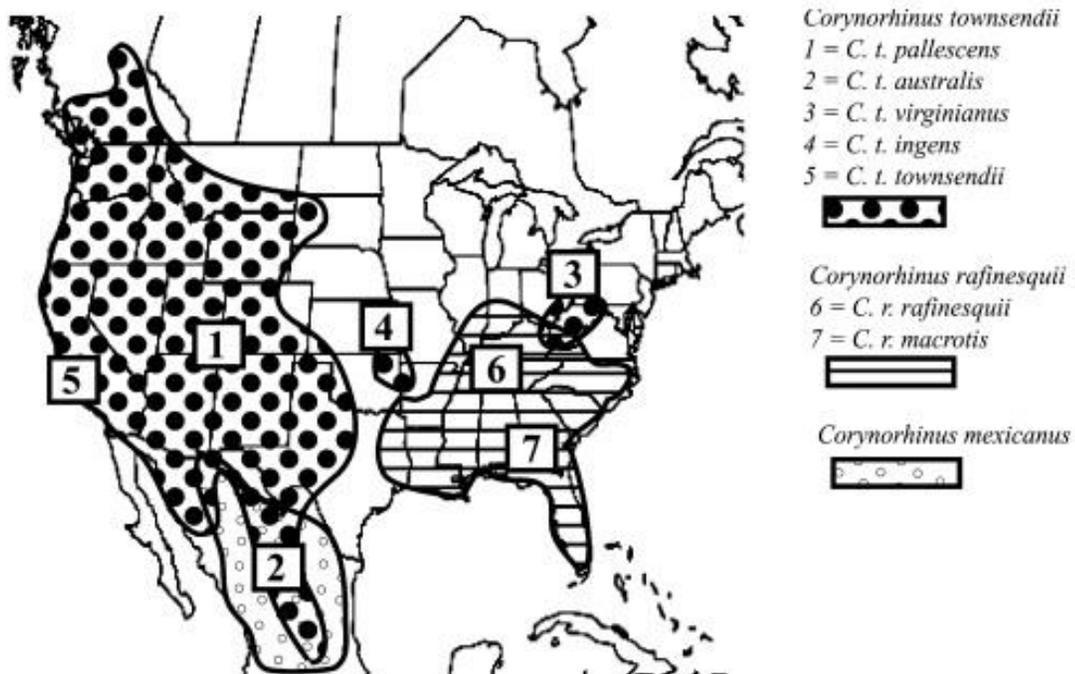


Figura 4. Distribución del género *Corynorhinus* (Tomada de Piaggio y Perkins 2005)

Se distingue de otras especies del género por la coloración, ya que en la base dorsal es grisácea con puntas que varía desde café pálido hasta café oscuro y en la zona ventral, tiene tonos que van de grises a marrones o parduzcas (Ceballos y Oliva 2005; Kunz y Martín 1982). Pesa entre 5 y 10 gramos, su longitud total va desde 45 a 70mm, posee orejas muy largas de 40mm aproximadamente, longitud de cola de 35 a 55mm y el

tamaño del antebrazo va de 35 a 52 mm (Nowak 1994). Sus alas anchas reflejan que tienen una alta capacidad de poder maniobrar ya que estos organismos son de vuelo lento y emprenden su búsqueda de alimento al anochecer (Kunz y Martín 1982).

1.4.2 Distribución

Se distribuye desde Canadá y Estados Unidos, hasta el Sur de México en el estado de Oaxaca (Figura 5), encontrándose en diferentes tipos de hábitats, que van desde bosques de coníferas, bosques ribereños caducifolios, semidesérticos y matorrales (Arroyo-Cabrales y Álvarez-Castañeda 2017) y a altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2 300 msnm (Ceballos y Oliva 2005).



Figura 5. Distribución del murciélago *Corynorhinus townsendii* (Arroyo-Cabrales y Álvarez-Castañeda 2017).

1.4.3 Hábitos

Se refugian en cuevas, minas abandonadas, acantilados, túneles y otros tipos de estructuras fabricadas por los humanos (Ceballos y Oliva 2005), así como también en huecos grandes de los árboles (Gruver y Keinath 2006). Son altamente sensibles a la perturbación humana, lo que provoca que las colonias se reubiquen ante disturbios tales como presencia de ruido, alumbrado con lámparas o presencia de humo (Arroyo-Cabrales y Álvarez-Castañeda 2017). El tamaño de sus poblaciones depende de la región, ya que en el occidente se pueden hallar de una docena a centenares, mientras que, en regiones del este, varían de 1,000 a más organismos. Esta especie hiberna en los sitios de descanso de verano e invierno, protegiéndose de los cambios ambientales extremos y provocándoles la pérdida de la mitad de la masa corporal (Kunz y Martín 1982; Nowak 1994).

1.4.4 Reproducción

Esta especie puede formar colonias de maternidad hasta 1,000 hembras en sitios cálidos como minas, cuevas o edificios. Durante la época de reproducción, el apareamiento ocurre principalmente durante el otoño e invierno (de noviembre a febrero) y los espermatozoides permanecen móviles durante 76 días dentro de la hembra (Kunz y Martín 1982). El período de gestación varía de 56-100 días que dependerá de la temperatura en la época de primavera y el tiempo de letargo de cada hembra (Nowak 1994). Las crías nacen de finales de mayo hasta julio (Kunz y Martín 1982; Nowak 1994). En las primeras etapas de su desarrollo producen chirridos que ayudan a la madre en el reconocimiento de la cría. Posteriormente cuando son juveniles, producen pulsos y son capaces de volar a las 2 o 3 semanas. Los machos adultos alcanzan su máxima actividad reproductiva en el mes de septiembre (Kunz y Martín 1982).

1.4.5 Alimentación

Su alimentación se basa en insectos, especialmente en lepidópteros (Fellers y Pierson 2002; Ceballos y Oliva 2005; Dodd y Lacki 2007), pero también consume dípteros,

coleópteros, himenópteros, neurópteros (Sherwin *et al.* 2000) odonatos y ortópteros (Dodd y Lacki 2007), atrapando a sus presas cerca de la vegetación (Fellers y Pierson 2002), en el follaje de árboles, arbustos o en las paredes de cañones (Nowak 1994), en el dosel del bosque y corredores de arroyos, laderas de montaña (Burford y Lacki 1995; Dodd y Lacki 2007), así como también en áreas que presentan características más abiertas (Gruver y Keinath 2006) como campos, praderas y áreas de pastoreo (Fellers y Pierson 2002), lo que sugiere que presentan plasticidad en la selección del hábitat de forrajeo (Burford y Lacki 1995). Las distancias que recorren de los sitios de percha para la búsqueda de alimento o para hidratarse es de aproximadamente 10.5 km (Lacki y Dodd 2011) pero esto dependerá del sexo, ya que en un estudio se observó que las hembras recorren distancias de 3.2 km y los machos 1.3 km en Colorado y Wyoming (Fellers y Pierson 2002).

1.4.6 Ecolocalización

Sus pulsos de ecolocalización son de banda ancha en frecuencia modulada (Gruver y Keinath 2006): durante la fase de búsqueda o vuelo emite pulsos de una duración de 2 a 5 milisegundos (Kunz y Martín 1982; Corcoran y Conner 2017) y a una tasa que varía de 10 a 20 pulsos por segundo (Grinnell 1962; Kunz y Martín 1982) contando con la presencia de un pulso fundamental y uno o dos armónicos (Corcoran y Conner 2017), refiriéndose como armónico al múltiplo de la frecuencia del pulso fundamental (Adams y Pedersen 2013) con una frecuencia inicial de aproximadamente 40 kHz, 25 kHz como frecuencia final y el armónico con una frecuencia de 80 a 50 kHz (Leslie y Clark 2002). Detecta a sus presas a una distancia reducida de aproximadamente 1.5 m en el campo y 0.8 m en entornos cerrados (Corcoran y Conner 2017), con la capacidad de capturarlas emitiendo de 10 a 5 pulsos (Grinnell 1962). Sus sonidos son de intensidad baja, lo cual ayuda a no ser detectado por sus presas (Corcoran y Conner 2017), pero reduce la efectividad de obtener sus pulsos al grabarlos mediante el uso de detectores ultrasónicos en trabajos de monitoreo (Gruver y Keinath 2006).

2 ANTECEDENTES

En un estudio realizado por Piaggio y Perkins (2005) acerca de la filogenia molecular del género *Corynorhinus* en donde se infirieron las relaciones inter e intraespecíficas a partir de secuencias de ADN mitocondriales y nucleares, se observó que el género *Corynorhinus* se encuentra dividido en tres especies (*C. mexicanus*, *C. townsendii* y *C. rafinesquii*), en donde la especie *C. townsendii* a la vez incluye cinco subespecies formando grupos monofiléticos (*C. t. australis*, *C. t. pallescens*, *C. t. ingens*, *C. t. virginianus* y *C. t. townsendii*). De la subespecie *C. t. australis* que corresponde a los individuos de México, se incluyeron solo cuatro muestras, dos de Durango, México y dos de Texas, E.U., las cuales formaron un grupo monofilético hermano de *C. t. pallescens*, separados por una divergencia de 5.2%.

Lack y Van Den (2009), con base en un estudio del reloj molecular del género *Corynorhinus*, estimaron que la divergencia entre las especies indicaba que probablemente se originaron en el Plioceno, pero la divergencia de *C. rafinesquii* y todos los demás *Corynorhinus* ocurrió dos millones de años antes de la divergencia entre *C. mexicanus* y *C. townsendii* (entre estas dos especies la divergencia ocurrió hace 2.97 millones de años en el plioceno tardío). Además, sus resultados mostraron que la especie *C. townsendii* se expandió durante el periodo interglacial de hace aproximadamente 125 a 75 mil años y que la divergencia entre la especie *C. t. australis* y *C. t. pallescens* fue hace 1.195 millones de años. Datando que la radiación de todas las subespecies de *C. townsendii* ocurrieron hace 349 y 537 miles de años.

Un estudio en Virginia realizado por Adam y colaboradores (1994) acerca de las áreas de alimentación y usos de hábitat del murciélago Orejudo de Virginia (*C. t. virginianus*), en sitios tales como acantilados, caminos y canales considerados de espacios abiertos, bosques y áreas perturbadas en Kentucky, reveló que estos forrajeaban en espacios abiertos y pastizales, a diferencia de otras poblaciones y subespecies de *Corynorhinus*, ya que las diferencias en el uso del hábitat mostraron resultados en los diferentes

accesos de las localidades, diciendo que esta especie se volvió flexible al elegir su hábitat, ambos sexos utilizaron acantilados y espacios forestales.

En un estudio realizado en Carolina del sur en Estados Unidos por Loeb y Britzke (2010) se observaron las respuestas intra e interespecíficas a las llamadas sociales del murciélago de orejas grandes (*C. rafinesquii*) en colonias de las minas de Ledyard y en un sitio del río Savannah, donde se logró observar que las llamadas sociales diferían en varios parámetros presentando diferencias en la estructura y que estos no se sintieron atraídos por las llamadas sociales de conoespecíficos que se encontraban fuera de la colonia, sino que parecían evitar estas llamadas.

Gruver y Keinath (2006) realizaron estudios en la región de las montañas rocosas de Estados Unidos para saber qué tipo de frecuencia utilizaba *Corynorhinus townsendii*, averiguando así que usaba pulsos de banda ancha en frecuencia modulada (FM) que es más efectiva para la detección de presas de corto alcance en un espacio de vegetación cerrada, con una frecuencia máxima de 40kHz a frecuencia mínima de 30kHz.

Rizo-Aguilar (2008) realizó la descripción y análisis de los pulsos de ecolocación de 14 especies de murciélagos insectívoros aéreos del estado de Morelos, en donde encontró que cuatro individuos de la especie *C. townsendii* emitían pulsos de corta duración (2.3 milisegundos) en frecuencia modulada con un intervalo de 81.6 ms, con frecuencia inicial de 39.1 kHz, frecuencia a mitad del pulso a 32.2 kHz y frecuencia final de 25.2 kHz, indicando que esta es la especie con menor ancho de banda (14 kHz).

Un estudio realizado por Barclay y colaboradores en 1999 acerca de la variación en las llamadas de ecolocación del murciélago *Lasiurus cinereus*, se logró observar que los individuos mostraban variación en sus pulsos cuando eran liberados en diferentes espacios, tales como liberados entre la vegetación y en un espacio abierto, declarando que hubo diferencias de frecuencia significativas en las llamadas en los sitios abiertos. Así como también se tomaron las frecuencias de los individuos ubicados en diferentes

localidades, en donde los individuos de Hawái poseían menor talla corporal presentando ultrasonidos de mayor frecuencia, en comparación con los individuos de América del Norte que tenían un mayor peso y tamaño.

Lin y colaboradores (2014), tras la realización de un estudio para observar la variación geográfica en las vocalizaciones de ecolocación del murciélago nariz de hoja del Himalaya (*Hipposideros armiger*), observaron que este poseía diferencias significativas en el pico de los pulsos de ecolocalización, con una variación máxima de 6 kHz en 4 poblaciones, las cuales fueron en el este y sur de China, Hainan y el sur de Yunnan.

Tras el estudio de la variación espacial en la estructura de llamadas de ecolocación del pequeño murciélago marrón (*Myotis lucifugus*) por Vaselka y colaboradores (2013), se observaron diferencias significativas en los pulsos de ecolocalización a pequeña escala entre 3 distintas localidades con separaciones de 1 km de distancia de forma latitudinal en Hudson, Nueva York, en donde la duración, frecuencia máxima y mínima, y frecuencia de máxima energía, así como también a escala continental (>1000km) variaban significativamente.

Kraker-Castañeda y colaboradores (2018) estudiaron los efectos intrínsecos y extrínsecos en la variación de los pulsos de ecolocalización de *Myotis nigricans* en Chiapas, sureste de México, logrando observar diferencias en los parámetros de los pulsos cuando se liberaban en un espacio abierto en comparación a uno cerrado, el ancho de banda fue más alto por 10 kHz, la duración (0.8 ms menos) y el intervalo más corto por 14 ms en sitios cerrados.

Schuchmann y Siemers (2010) demostraron que las frecuencias en los sonidos de ecolocalización de la especie *Rhinolophus hipposideros* en organismos hembras, resultaron ser 8 dB de intensidad más altas y en frecuencia 3 kHz más elevados que los machos en Bulgaria, sureste de Europa, en un estudio sobre la variabilidad en la intensidad de la llamada de ecolocación en una comunidad de murciélagos de herradura europeos.

3 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se efectuó con la finalidad de generar información de la variación de los pulsos de ecolocalización de esta especie. Se conoce muy poco del murciélago orejón de Townsend (*Corynorhinus townsendii*) en relación con sus pulsos de ecolocalización en cuanto diferenciación entre sexos y el vuelo en espacios abiertos o cerrados, así como también en cuanto a variabilidad geográfica y a su tamaño. Debido a que presenta una amplia distribución y una gran plasticidad en sus hábitos de forrajeo, se realizó esta investigación con el propósito de tener una mejor comprensión e información más amplia de este organismo para que nos ayude a entender la variación y facilitar la identificación de la especie en investigaciones que usen grabadores ultrasónicos como medio para estudiar a las especies. Cabe resaltar que este es el primer trabajo del género que analiza la variación en los pulsos de ecolocalización asociada a distintos factores.

4 OBJETIVO

Analizar la variación en los pulsos de ecolocalización del murciélago *Corynorhinus townsendii* atribuida al sexo, a la configuración del hábitat, a la geografía y al tamaño corporal.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Sitios de estudio

Para estudiar la variación sexual de los pulsos de ecolocalización y del contexto del hábitat (espacio abierto y espacio cerrado), se realizaron grabaciones en dos túneles al norte de Cuernavaca, estado de Morelos (UTM 46 91 94.19, 20 96 569.875 y 468485, 2095013) y una cueva en San Juan Tlacotenco, Tepoztlán (UTM 491220, 2103511). Refugios que albergan una colonia de *C. townsendii* (Figura 6b). El área circundante a los túneles presenta vegetación de bosque de galería rodeada por campos de cultivo, mientras que alrededor de la cueva encontramos bosque de coníferas, es decir los

entornos contrastantes nos permiten comparar los pulsos entre ambientes diferentes, tanto entre colonias y/o poblaciones, así como entre sexos.

El análisis de la variación geográfica de los pulsos de ecolocalización en *C. townsendii* y el análisis del tamaño corporal usando como referencia la longitud del antebrazo, se realizaron a partir de 28 grabaciones y datos obtenidos en el proyecto Compilación de la fonoteca de referencia de los murciélagos insectívoros de México: Fase I (Sonozots-AMMAC-CONABIO 2018). Estas grabaciones se obtuvieron en los estados de Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato, Zacatecas, Estado de México, Morelos y Oaxaca (Tabla 1, Figura 6a).

Tabla 1. Localidades de diferentes estados de la República Mexicana en donde se realizaron grabaciones de *Corynorhinus townsendii*

Estado	Localidad	UTM X	UTM Y	g(x)	g(y)	Altura	Vegetación	Contexto
Chihuahua	Colonia Juárez, La Cascada	779302	3358375	- 108.0952	30.325	1550	Agricultura de Riego	Abierto
Coahuila	La Esmeralda	630550	3017700	-103.681	27.27605	1543	Matorral Desértico Rosetofilo	Abierto
Durango	San Pedro	398089	2872115	-106.018	25.96419	2360	Bosque de Pino	Abierto
Guanajuato	Mineral de Pozos, Túnel de Mina	342490	2348562	- 100.5178	21.23184	2529	Pastizal Natural	Abierto
México	Lerma, club de golf.	450015	2133281	- 99.47575	19.29268	2600	Agricultura de Temporal	Abierto
Morelos	Túnel Buenavista del Monte	469194	2096569	- 99.29263	18.96128	1996	Bosque de galería rodeada por campos de cultivo	Cerrado y Abierto
Morelos	Túnel 2 Buenavista del Monte	468485	2095013	- 99.29933	18.94721		Bosque de galería rodeada por campos de cultivo	Cerrado y Abierto
Morelos	San Juan Tlacotenco, Tepoztlán	491220	2103511	- 99.08343	19.02423	2539	Bosque de coníferas	Cerrado y Abierto
Oaxaca	San Miguel El Grande	654923.2	1891732.9	- 97.54386	17.10485	2178	Agricultura de Temporal	Borde
Zacatecas	Vetagrande	753520	2527204	- 96.52975	22.83344	2379	Matorral Sarcocaula	Abierto

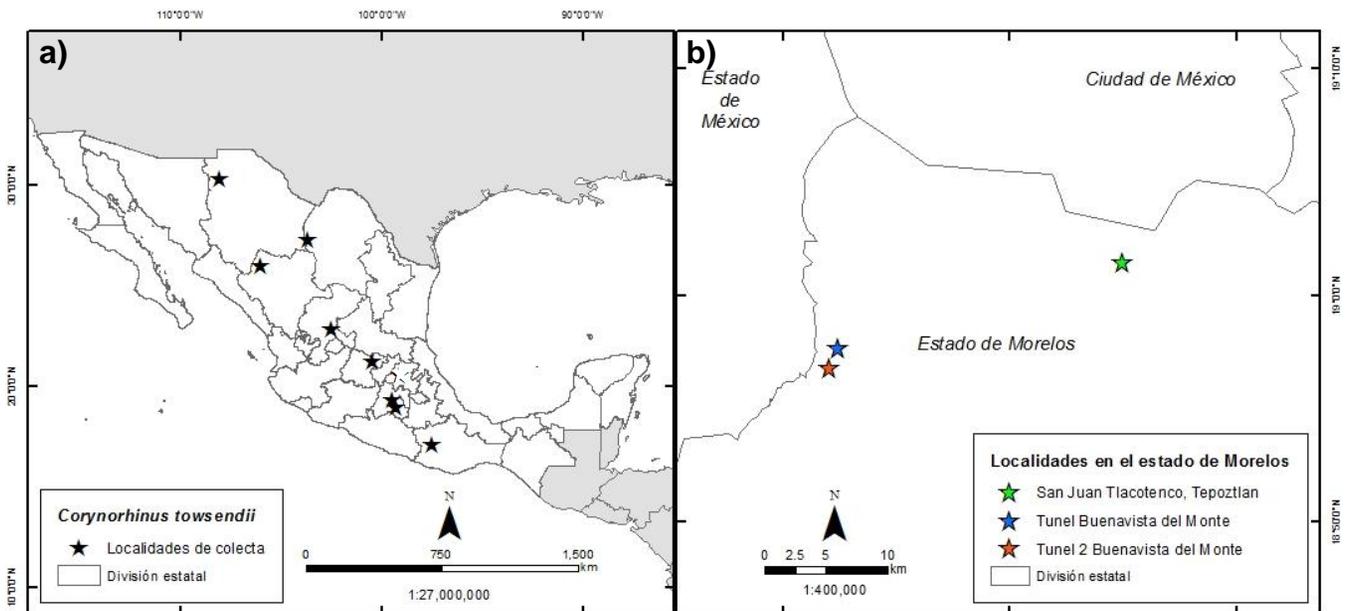


Figura 6. Ubicación de los sitios captura y de grabación de *C. townsendii* en México del proyecto Compilación de la fonoteca de referencia de los murciélagos insectívoros de México: Fase I (a) y ubicación de los refugios de captura y grabación en Morelos (b).

Cabe mencionar, que para el análisis de la variación sexual se consideraron en conjunto las grabaciones realizadas por el proyecto Sonozots y las grabaciones que fueron obtenidas en las 3 localidades para el estado de Morelos.

5.2 Grabación de los pulsos de ecolocalización

Para estudiar la variación de pulsos de ecolocalización debida a la configuración del hábitat, así como también la variación sexual, se capturaron organismos en los túneles de Cuernavaca y la cueva de Tepoztlán (Figura 6b), utilizando redes de mano dentro del refugio. Una vez capturados los individuos, se mantuvieron en una bolsa de manta y posteriormente, se procesaron para su identificación, determinación del sexo (hembra/macho), la edad (juvenil, sub-adulto y adulto), el estado reproductivo (para el caso de las hembras se identificó si eran inactivas, preñadas, lactantes o post-lactante, mientras que para los machos si presentaban testículos inguinales, testículos escrotados, testículos abdominales, activo o inactivo), además se registró el peso tomado con una pesola Lightline con capacidad de 100g., así como la medida del antebrazo tomada con un vernier digital Mitutoyo.

Los murciélagos fueron grabados tras el método liberación de mano. Considerando que, para evaluar la variación en los pulsos de ecolocalización acorde a la configuración del hábitat, las liberaciones y las grabaciones se realizaron con dos tratamientos: liberados entre la vegetación, como un espacio cerrado y liberados en espacio abierto (es decir, que no haya presencia de vegetación) cerca de la zona de captura. Estas grabaciones fueron realizadas usando un detector de ultrasonidos Song Meter SM4BAT FS de Wildlife Acoustics. Los muestreos se realizaron en los meses de enero a octubre del 2019 durante el día para así evitar la grabación de ultrasonidos de otras especies.

Las grabaciones del proyecto de la fonoteca se hicieron con equipo de grabación marca Avisoft modelo USG 116H conectado a la unidad de grabación LapTop Dell Inspiron. Para obtener las grabaciones, los individuos fueron capturados usando redes de niebla colocadas entre la vegetación, así como al interior de refugios usando redes de mano, para posteriormente grabarlos al ser liberados con la técnica liberación de mano.

5.3 Análisis de los pulsos de ecolocalización

Una vez obtenidas las grabaciones, se procedió a analizarlas con el programa Bat Sound 4.2 de Pettersson Electronics y Acoustics AB, mostrando las señales en forma de oscilograma o espectrograma, o bien, en espectro de energía, con la capacidad de capturar frecuencias arriba de 192 kHz (Rizo-Aguilar *et al.* 2015), representada en tiempo real con transformaciones de Fourier de 512 puntos con una ventana de tipo Hanning y 95% de superposición de ventanas sucesivas, en donde se puede modificar el umbral y contraste de acuerdo a la paleta de colores para poder apreciar con claridad los colores para iniciar las lecturas sobre la silueta del pulso a 25dBs por debajo del tono más intenso del mismo. Produciendo un gráfico en el que se representa la energía emitida a cada frecuencia en un determinado tiempo (duración del pulso) (Rizo-Aguilar 2008).

De cada individuo grabado en el proyecto Sonozots y durante este trabajo, se seleccionó una secuencia de 10 pulsos, ubicada aproximadamente a la mitad de cada

grabación ya que poseían una mayor definición y estructura durante la fase de búsqueda. Estos pulsos fueron usados para registrar los siguientes parámetros: 1. Frecuencia Inicial (FI), 2. Frecuencia Final (FF), 3. Frecuencia a Mitad del Pulso (F1/2) y 4. Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA) y 5. Duración (DUR) así como 6. Intervalo (INTERV) registrados en una base de datos (Figura 7). Los parámetros de frecuencia se midieron en kilohertzios (kHz) y los de tiempo en milisegundos. A partir de los pulsos medidos para cada individuo se calculó el promedio para cada parámetro, el cual se utilizó en los análisis estadísticos.

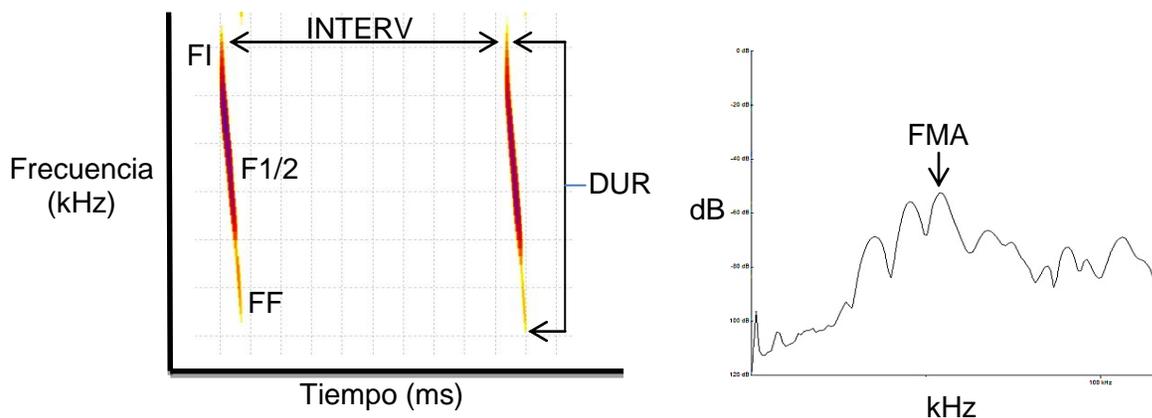


Figura 7. Parámetros de Frecuencia Inicial, Frecuencia Final, Frecuencia a Mitad del Pulso y Frecuencia de Máxima Amplitud y Duración e Intervalo de la especie *Corynorhinus townsendii*.

5.4 Análisis estadísticos

Se realizó un análisis exploratorio en el cual se observaron y calcularon estadísticos descriptivos (media, mediana, máxima y mínima, desviación y error estándar) ya que muestran las características básicas de los valores en términos cuantitativos de los 6 parámetros; también se construyeron gráficas de cajas y bigotes para observar la distribución y variación de los datos, así como identificar datos atípicos. A partir de este análisis descriptivo se decidió eliminar un dato atípico correspondiente a una grabación realizada en el estado de Guanajuato (Figura 8). Posteriormente para probar que los datos tuvieran una distribución normal (para proceder a realizar análisis paramétricos), se utilizó la prueba paramétrica de Kolmogorov-Smirnov ya que compara los valores de

las funciones de distribución de frecuencias de la muestra y si estas poseen diferencias significativas (Alea *et al.* 2000; Levin y Rubin 2004) y para probar la homogeneidad de varianzas se usó la prueba de Bartlett, ya que comprueba si la distribución de una variable tiene la misma varianza en los grupos (Dalgaard 2008).

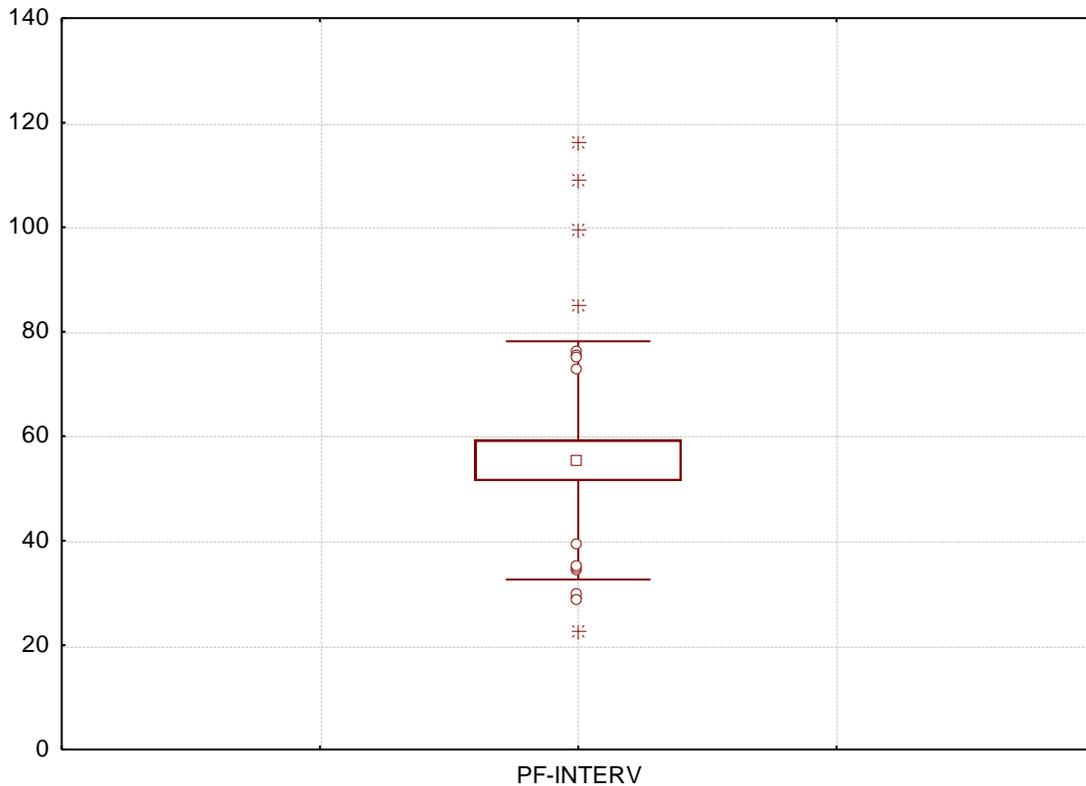


Figura 8. Análisis exploratorios obtenidos a partir de la base de datos.

Para comparar la variación entre sexos (machos y hembras) y comparar los efectos de la configuración del hábitat (espacio abierto vs espacio cerrado) en cada uno de los parámetros de los pulsos, se utilizó una prueba de *t* de Student para muestras independientes con un $\alpha = 0.05$. Para analizar la diferenciación entre machos y hembras, así como entre espacio abierto y espacio cerrado, pero considerando todas las variables descriptoras de los pulsos de ecolocalización, se realizó un Análisis discriminante de variables canónicas.

Para analizar el efecto de la geografía se empleó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un $\alpha = 0.05$. En este análisis, el factor a analizar fue el estado de donde se obtuvieron las grabaciones, con ocho niveles (Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato, Zacatecas, Estado de México, Morelos y Oaxaca). Cuando el análisis de varianza resultó significativo, se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni para conocer cuál o cuáles estados muestran diferencias significativas en los parámetros de los pulsos. Además, se utilizó un Análisis Discriminante de Variables Canónicas para evaluar la diferenciación geográfica de los pulsos de ecolocalización en un espacio multivariado. Este análisis consiste en simplificar las descripciones de las diferencias entre grupos proporcionando información sobre los patrones en los datos, describiendo las posiciones relativas de los grupos en la muestra (Zelditch *et al.* 2004). Para este análisis sólo se incluyeron los estados que tuvieran al menos dos individuos grabados.

Para averiguar el efecto del tamaño corporal sobre los pulsos de ecolocalización, se utilizó la variable de la longitud del antebrazo (medida en milímetros) y se asoció con cada uno de los parámetros empleando un análisis de regresión lineal simple (Varela-Boydo *et al.* 2019). Todos los análisis se realizaron utilizando el programa de STATISTICA 7.

6 RESULTADOS

En los refugios del estado de Morelos, se realizaron 16 capturas con un total de 15 grabaciones viables de analizar, once grabaciones realizadas en configuración de hábitat cerrado y cuatro más en hábitat abierto. Se encontraron armónicos en los pulsos grabados en los hábitats abierto y cerrado en los estados de Coahuila de Zaragoza, Durango, Guanajuato, Zacatecas, Morelos y Oaxaca, mientras que en las de Chihuahua y el Estado de México, no hubo registro de armónicos en los dos tipos de hábitat. Los parámetros descriptores se midieron en el pulso fundamental.

A partir del proyecto Compilación de la fonoteca de referencia de los murciélagos insectívoros de México: Fase I (Sonozots-AMMAC-CONABIO 2018) se analizaron 28 grabaciones procedentes de 8 localidades en igual número de estados de la República Mexicana (Tabla 1), descartando cinco de las 33 grabaciones por falta de pulsos de calidad adecuada para ser procesados y problemas con el análisis de las grabaciones.

6.1 Distribución normal y homogeneidad de varianzas

La prueba Kolmogorov-Smirnov mostró que los parámetros analizados de las muestras en conjunto, poseen una distribución normal: Frecuencia Inicial ($d=.17618$, $p>.20$), Frecuencia a mitad del pulso ($d=.18142$, $p<.20$), Frecuencia Final ($d=.10746$, $p>.20$), Duración ($d=.10595$, $p>.20$), Intervalo ($d=.13317$, $p>.20$) y Frecuencia de Máxima Amplitud ($d=.12310$, $p>.20$). De igual modo, la prueba de Bartlett mostró que los parámetros presentan homogeneidad de varianzas, excepto para la frecuencia de máxima amplitud cuando se usa al sexo como variable de agrupación (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la prueba de Bartlett. Los asteriscos indican una diferencia significativa en las varianzas

Parámetros	Sexo		Tipo de hábitat		Zona geográfica	
	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p
PF-FI	0.49	0.48	0.13	0.72	1.21	0.75
PF-F1/2	0.50	0.48	0.41	0.52	1.95	0.58
PF-FF	0.00	0.99	0.84	0.36	6.25	0.10
PF-DUR	0.94	0.33	0.18	0.67	0.08	0.99
PF-INTERV	0.28	0.59	1.93	0.16	3.59	0.31
PF-FMA	4.78	0.03**	3.15	0.08	5.19	0.16

6.2 Variación sexual

El análisis de la variación entre hembras y machos a partir de una *t*-de Student para muestras independientes (Tabla 3), no mostró diferencias significativas en ninguno de los seis parámetros evaluados: Frecuencia Inicial ($t = -1.55$, $p = 0.13$), Frecuencia a Mitad del Pulso ($t = -0.24$, $p = 0.80$), Frecuencia Final ($t = 0.39$, $p = 0.69$), Duración ($t = -1.33$, $p = 0.19$), Intervalo ($t = 0.41$, $p = 0.68$) y Frecuencia de Máxima Amplitud ($t = -0.10$, $p = 0.91$).

Tabla 3. Promedios de los parámetros de los pulsos de ecolocalización de hembras y machos

Parámetros	Sexo	
	Hembras (n=21)	Machos (n=4)
Frecuencia Inicial	60.80	64.46
Frecuencia a mitad de pulso	47.21	47.66
Frecuencia Final	34.73	33.95
Duración	1.86	2.20
Intervalo	50.86	46.63
Frecuencia de máxima amplitud	49.11	49.34

6.3 Variación en configuración del hábitat

Entre los hábitats abierto y cerrado, no se encontraron diferencias significativas entre los pulsos analizados para ninguno de los seis parámetros analizados (Tabla 4): Frecuencia Inicial ($t = -0.80$, $p = 0.43$), Frecuencia a Mitad del Pulso ($t = -0.69$, $p = 0.49$), Frecuencia Final ($t = 0.58$, $p = 0.56$), Duración ($t = -0.58$, $p = 0.57$), Intervalo ($t = 0.33$, $p = 0.74$) y Frecuencia de Máxima Amplitud ($t = -0.33$, $p = 0.74$).

Tabla 4. Promedios de los parámetros de los pulsos de ecolocalización para la configuración del hábitat

Parámetros	Hábitat	
	Cerrado (n=11)	Abierto (n=4)
Frecuencia Inicial	47.62	49.47
Frecuencia a mitad de pulso	35.55	36.57
Frecuencia Final	25.90	24.85
Duración	2.73	3.01
Intervalo	61.23	56.98
Frecuencia de máxima amplitud	35.99	36.56

6.4 Análisis de variación geográfica

Los análisis de varianza de una vía mostraron diferencias significativas únicamente en la Frecuencia Final ($F=2.90$, $p= 0.03$). La prueba *a posteriori* de Bonferroni arrojó los estados que mostraban diferencias en el parámetro de Frecuencia final, siendo México el que presenta mayor diferencia con Coahuila, Durango y Guanajuato (Figura 9 y Tabla 5). Mientras que en el resto de los parámetros no hubo variación significativa entre los otros estados: Frecuencia Inicial ($F= 1.24$, $p= 0.33$), Frecuencia a Mitad del Pulso ($F= 2.17$, $p= 0.09$), Frecuencia de Máxima Amplitud ($F= 0.60$, $p= 0.74$), Duración ($F= 2.21$, $p= 0.08$) e Intervalo ($F= 1.39$, $p= 0.27$).

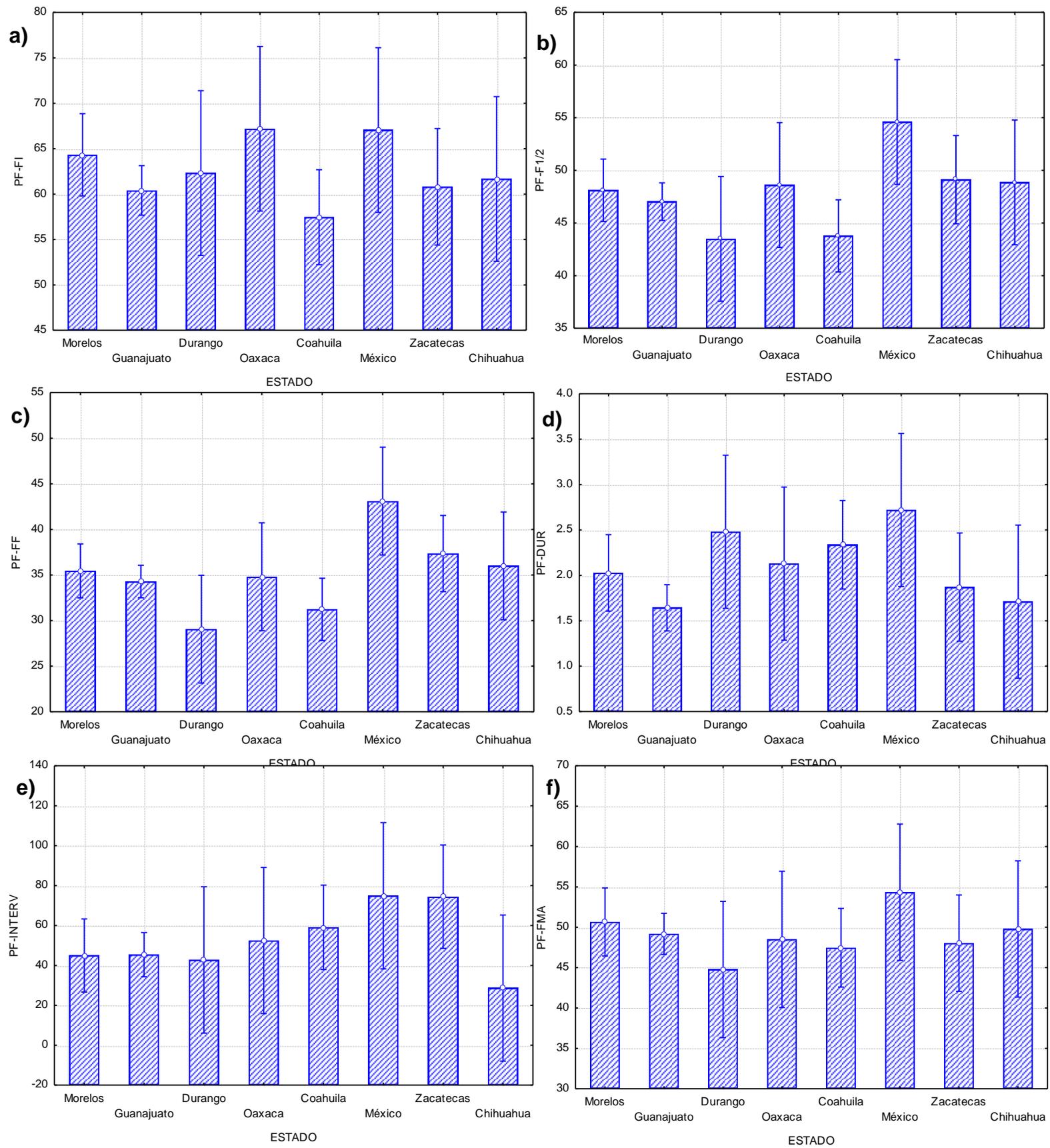


Figura 9. Comparaciones de los parámetros: Frecuencia Inicial (a), Frecuencia a Mitad de Pulso (b), Frecuencia Final (c), Duración (d), Intervalo (e) y Frecuencia de Máxima Amplitud (f).

Tabla 5. Promedios de los parámetros de los pulsos de ecolocalización entre las localidades muestreadas para analizar la variación geográfica.

Parámetros	Morelos	Guanajuato	Chihuahua	Durango	Coahuila	Zacatecas	Oaxaca	México
Frecuencia inicial	61.41	60.40	61.67	62.32	57.45	60.80	67.19	67.05
Frecuencia a mitad del pulso	48.11	47.03	48.86	43.49	43.78	49.12	43.78	54.59
Frecuencia final	35.45	34.29	35.99	29.06	31.22	37.36	34.81	43.10
Duración	2.02	1.64	1.71	2.48	2.34	1.87	2.13	2.72
Intervalo	44.97	45.37	28.65	42.73	59.06	74.42	52.46	74.89
Frecuencia de máxima amplitud	50.66	49.19	49.79	44.77	47.46	48.03	48.50	54.34

6.5 Análisis multivariado

El análisis entre los estados de Morelos, Coahuila, Zacatecas y Guanajuato, en los pulsos analizados, no se encontraron diferencias significativas en el análisis discriminante multivariado para la evaluación de las diferencias entre estos (Tabla 6). Únicamente los individuos del estado de Morelos presentan una ligera diferencia con los de Coahuila y Zacatecas, sin embargo, no se presentaron diferencias significativas. Además, las muestras del estado de Guanajuato mostraron una menor dispersión, es decir, no presenta diferencias con ningún otro estado (Figura 10).

Tabla 6. Análisis discriminativos multivariados, en donde el valor de F se encuentra por encima de la diagonal y el valor de p por debajo de la diagonal.

Estados	Morelos	Guanajuato	Coahuila	Zacatecas
Morelos		1.809509	2.388160	0.751634
Guanajuato	0.186494		2.532459	0.912057
Coahuila	0.100094	0.086356		1.103005
Zacatecas	0.621189	0.520888	0.418959	

El análisis multivariado para determinar la diferenciación de los pulsos en el tipo de hábitat, (abierto vs cerrado), no mostró diferencias significativas ($F= 0.63$, $p= 0.70$). Lo mismo sucedió al comparar los pulsos entre las hembras y machos ($F= 0.91$, $p= 0.51$).

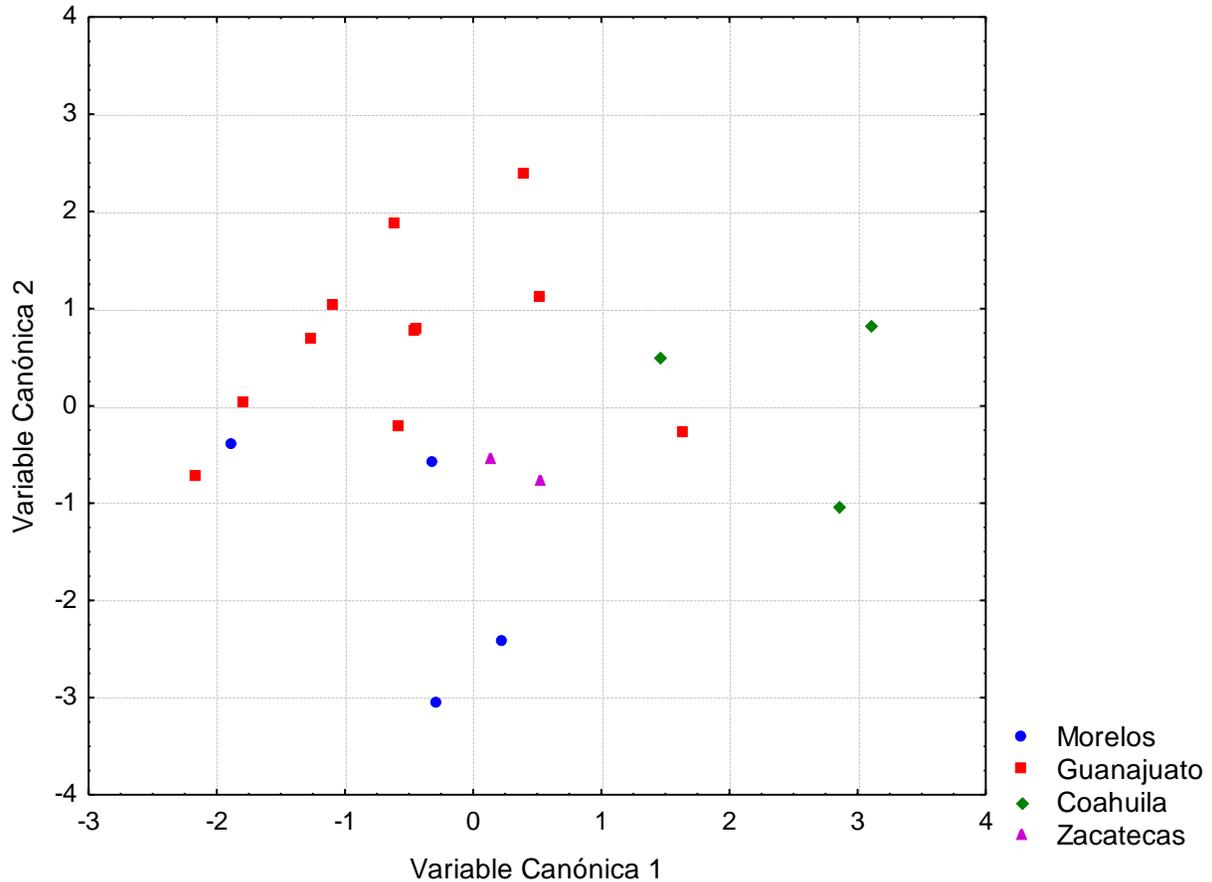


Figura 10. Análisis discriminantes multivariados entre los estados.

Las correlaciones de los parámetros analizados nos muestran la fuerza de relación entre cada variable canónica (Tabla 7). Para la frecuencia inicial se mostró que la variable canónica 2 presenta una relación menos fuerte en comparación con la variable canónica 1. Mientras que, para los demás parámetros, la variable canónica 1 presenta una mayor asociación.

Tabla 7. Parámetros asociados a las variables canónicas

Parámetros	Variable canónica 1	Variable canónica 2
Frecuencia Inicial	-0.31	-0.38
Frecuencia a Mitad de Pulso	-0.39	-0.23
Frecuencia Final	-0.36	-0.27
Duración	0.49	-0.39
Intervalo	0.31	-0.11
Frecuencia de Máxima Amplitud	-0.19	-0.13

6.6 Análisis del tamaño

La prueba de regresión lineal simple indicó que no se encontró una relación significativa entre la variable de la longitud del antebrazo (LAB) con respecto a los parámetros de frecuencias (tabla 8): Frecuencia Inicial (FI), Frecuencia a Mitad del Pulso (F1/2), Frecuencia de Máxima Amplitud (FMA), Duración (DUR) e Intervalo (INTERV).

Tabla 8. Resultados del análisis de regresión lineal entre la longitud del antebrazo con respecto a los parámetros de los pulsos de ecolocalización.

Parámetros	R ²	F	p
Longitud del antebrazo vs Frecuencia inicial	.00020	.00046	.98305
Longitud del antebrazo vs Frecuencia a mitad del pulso	.13022	3.2939	.08319
Longitud del antebrazo vs Frecuencia final	.13382	3.3989	.07874
Longitud del antebrazo vs Duración	.00108	.02394	.87843
Longitud del antebrazo vs Intervalo	.00177	.03916	.84494
Longitud del antebrazo vs Frecuencia de máxima amplitud	.02406	.45945	.50494

7 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio son diferentes a la mayoría de trabajos efectuados con otras especies, en los cuales encuentran diferencias significativas en los pulsos de ecolocalización relacionadas con la variación sexual entre hembras y machos de la especie *Rhinolophus hipposideros* (Schuchmann y Siemers 2010). Igualmente, los estudios previos muestran diferencias significativas en los pulsos de ecolocalización cuando los individuos son liberados en un espacio abierto y en un espacio cerrado como *Lasiurus cinereus* (Barclay *et al.*1999) y *Myotis nigricans* (Kraker-Castañeda *et al.*2018). Así mismo, se ha documentado variación geográfica en estudios realizados con las especies *Hipposideros armiger* (Lin *et al.*2014), *Lasiurus cinereus* (Barclay *et al.*1999) y *Myotis lucifugus* (Vaselka *et al.*2013).

Evidencias científicas respaldan el hecho de que la variación sexual en las vocalizaciones entre hembras y machos está asociada a la comunicación social dentro de los individuos de la misma colonia, así como también por factores de reproducción ya que buscarán a individuos más aptos para su progenie (Grilliot *et. al.* 2009; Jiang *et al.* 2015). Por ejemplo, para la especie *Rhinolophus hipposideros* hubo una diferencia significativa en organismos hembras, siendo de 8 dB de intensidad más alta ($p = 0.048$) y en cuanto a la frecuencia 3 kHz más elevados ($p = 0.035$) que los machos (Schuchmann y Siemers 2010). En el caso de la especie *Eptesicus fuscus* se observó que los individuos machos presentaron variaciones en la emisión de sus pulsos significativamente mayores en cuanto a frecuencia, tiempo (duración) y estructura que las hembras cuando se encontraban en época de reproducción dentro de las colonias, sin embargo, esta variación no ocurría cuando se encontraban buscando alimento (Grilliot *et. al.* 2009). Sugiriendo que estas variaciones en sus llamadas podrían deberse únicamente a la comunicación sexual para la búsqueda de pareja (Grilliot *et. al.* 2009; Jiang *et al.* 2015). Dicho esto, se puede suponer que no se encontró una variación significativa en los sonidos de ecolocalización emitidos por hembras y machos de *C. townsendii* ya que no se realizaron grabaciones de los sonidos producidos por los

individuos dentro de las colonias ni cuando se encontraban en época reproductiva la cual ocurre de noviembre a febrero (Kunz y Martín 1982), lo cual impide que se refleje tal variación.

En cuanto a la comparación de los pulsos debida a la configuración del hábitat, es decir, espacio abierto vs espacio cerrado, los análisis univariados y multivariados no encontraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros medidos. Este resultado también difiere a lo que se ha documentado en otros estudios, con la especie *Myotis nigricans* donde se presentaron diferencias significativas para el ancho de banda con niveles más altos de 10 kHz, la duración fue 0.8 ms más corta, así como también el intervalo fue menor por 14 ms en individuos liberados en sitios cerrados (Kracker-Castañeda *et al.* 2018). Así mismo, en el estudio realizado en Hawái de la especie *Lasiurus cinereus*, todos los componentes de frecuencia resultaron ser significativamente mayores, mientras que la duración fue significativamente menor, en sitios abiertos los pulsos tenían un ancho de banda promedio más estrecho de 14.9 kHz en comparación con los sitios cerrados con 16.46 kHz (Barclay *et al.* 1999). Ambas especies son insectívoras aéreas, contrario a la especie estudiada *C. townsendii* que forrajea con mayor constancia en condiciones de espacio cerradas (Nowak 1994; Burford y Lacki 1995; Fellers y Pierson 2002; Dodd y Lacki 2007), aunque también tiene una orientación hacia hábitats un poco más abiertos (Fellers y Pierson 2002; Gruver y Keinath 2006), sin embargo, será difícil que se encuentren forrajeando de manera natural en áreas que presenten características más abiertas.

Ya que *C. townsendii* es una especie que presenta plasticidad en cuanto a sus hábitos de forrajeo (Burford y Lacki 1995), es posible que su modo de ecolocación para espacios cerrados sea suficiente para navegar y forrajear en espacios abiertos, lo que limitaría el alcance de la detección de su presa, es decir, no sería necesario realizar un cambio en las frecuencias de sus pulsos, ya que su tipo de ecolocalización le bastaría para forrajear en ambos tipos de ambientes debido a que los murciélagos utilizan estos cambios principalmente para localizar de una manera más eficiente su alimento (Wund 2006).

Otra posible explicación al hecho de que no se encontraron diferencias en los pulsos en el ambiente cerrado y el abierto, es el modo de liberación, ya que el murciélago entrará en estrés por la captura y manipulación, infiriendo que al ser liberado en un espacio abierto no se muestren inmediatamente las modificaciones que pudiesen tener en la estructura de sus pulsos debido a que probablemente necesiten realizar una evaluación del entorno en el que fueron liberados lo que les tomará unos segundos de tiempo, contrario a lo que se podría observar cuando el murciélago se encuentra forrajeando en condiciones naturales (Wund 2006).

El que se presenten diferencias en los pulsos de ecolocalización a distintas escalas geográficas puede deberse a la divergencia genética que se encuentra en las poblaciones (Jiang *et al.* 2010; Sun *et al.* 2013). Si bien, para *C. townsendii* existe una notable variación en los parámetros de frecuencia en los que emiten dichos pulsos entre las diferentes poblaciones estudiadas, no se consideran significativas pudiéndose deber a que exista una variación continúa sin saltos o discontinuidad por la falta de estructura genética entre estas poblaciones. Tal ausencia de dichas variaciones se debe a la filogenia, ya que solo presentan un 5% de pares de bases entre el género (Piaggio y Perkins 2005), lo cual demuestra que no existe una dispersión entre especies, sino más bien se encuentran mezcladas, es decir, no hay estructura ni diferenciación geográfica desde el punto de vista genético, ya que este patrón se comportará de acuerdo a la función de la distancia geográfica (Shiang-Fan *et al.* 2009).

Otra de las causas que implica variación en las señales de ecolocalización son las condiciones ambientales como la humedad y temperatura, ya que juegan un papel importante debido a la atenuación atmosférica en cuanto a la transmisión y recepción del sonido (Kazial *et al.* 2001; Jiang *et al.* 2010; Sun *et al.* 2013; Jiang *et al.* 2015; Shiang-Fan *et al.* 2019), sin embargo, no fue posible realizar un análisis que permitiera verificar este factor debido a la falta de los datos mencionados. Por ejemplo, al tratarse de la especie *Hipposideros armiger*, se controlaron los factores de temperatura y humedad en un laboratorio asemejando a los de su hábitat natural en las cuales se

presentó diferencias significativas en la frecuencia de máxima amplitud desde 66.80 hasta 72.51 kHz tomando las frecuencias de los pulsos en estado de reposo en cuatro localidades distintas (este y oeste de China, Hainan y el sur de Yunnan), dichos autores mencionan que las diferencias observadas en sus pulsos de ecolocalización se deben a la deriva cultural por diferentes latitudes (Lin *et al.* 2014), siendo esta otro motivo que implica la presencia de variación en sus pulsos (Jiang *et al.* 2010).

Lo mismo para individuos de la especie *Myotis lucifugus* que presentó diferencias significativas a pequeña escala en tres localidades en Nueva York, (L1; Haida Gwaii, Colombia británica, L2; Chautauqua, Nueva York y L3; el Rio Hudson, Nueva York) en la duración (L1= 0.49, L2= 0.51 y L3= -0.54), frecuencia máxima (L1= -0.48, L2= 0.83 y L3= 0.21) y mínima (L1= -0.49, L2= -0.13 y L3= -0.80), así como también en la frecuencia de máxima amplitud (L1= -0.52, L2= -0.15 y L3= 0.04), sugiriendo que dicha variación pudo deberse a la cantidad de alimento encontrado en la zona de forrajeo (Barclay *et al.* 1999; Vasselka *et al.* 2013), puesto se presentarán mayor cantidad de murciélagos, lo cual provocará que exista una interacción entre individuos de otras colonias generando una mayor variación en las señales acústicas por deriva cultural (Gilliam y McCracken 2007; Bates *et al.* 2008; Jiang *et al.* 2010; Sun *et al.* 2013; Vasselka *et al.* 2013). Dicho esto, se puede inferir que al no ocurrir una interacción entre individuos de otras localidades con *C. townsendii* a nivel geográfico, no habrá intercambio cultural, lo cual limitará el flujo entre poblaciones impidiendo el conocimiento de dicho aprendizaje vocal (Shiang-Fan *et al.* 2009; Jiang *et al.* 2010; Sun *et al.* 2013; Lin *et al.* 2014; Jiang *et al.* 2015; Montoya 2019), aunado a ello, la falta de estructura en su filogenia (Piaggio y Perkins 2005).

Se sabe que el tamaño de los individuos puede ser un factor que ejerza variación en sus pulsos de ecolocalización (Jiang *et al.* 2015; Russo *et al.* 2017; Kraker-Castañeda *et al.* 2018; Varela-Boydo *et al.* 2019), tal es el caso de la especie *L. cinereus* en donde si hubo variación significativa en todas las características de sus pulsos medidos para las distintas localidades ($F=4,495 > 51.0$, $p < 0,0001$) en cuanto a duración y frecuencias en máxima y mínima del pico (valor de frecuencia a 25 dB por debajo de la intensidad

de la frecuencia de máxima amplitud: Rizo-Aguilar 2008), para Canadá la frecuencia pico era de 20.1 kHz mientras que en las diferentes localidades de Hawái fueron de 26.2 a 29.8 kHz, en cuanto al barrido de frecuencia en Canadá también se presentaron diferencias en el ancho de banda de 9.4 en comparación de 13.9 a 19.4 kHz debido a la diferencia del peso y carga alar, ya que los individuos de América del norte tenían casi el doble de peso y una carga alar significativamente mayor en comparación con los de Hawái (Barclay *et al.* 1999). Para el caso de *C. townsendi*, el tamaño del antebrazo de los individuos varió, sin embargo, tras la realización del análisis estadístico se observó una relación significativa entre la longitud del antebrazo y las diferentes características de los pulsos de ecolocalización, lo cual indica que este factor no provoca variación en sus pulsos.

Puesto que no se observaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros con respecto a la configuración del hábitat, entre machos y hembras, así como también en la variación geográfica, se puede suponer que la especie *Corynorhinus townsendii* no presenta plasticidad en sus pulsos debido a lo que se conoce como carrera armamentística que presentan los murciélagos vs lepidópteros, en donde ambas partes (depredador/presa) desarrollan un sistema que evoluciona de manera conjunta (Corcoran y Conner 2017), en este caso la ecolocalización, permitiéndoles obtener adaptaciones para depredar o evitar ser depredado, tal es el caso de las polillas, siendo presa potencial de *C. townsendii* comprendiendo el 80% aproximadamente en volumen de su dieta (Gruver y Kenaith 2006; Lacki y Dodd 2011) con un 58.4% de su consumo de polillas pertenecientes a la familia Noctuidae, seguido de la familia Sphingidae con un 21.9%, notodóntidos 7.4% y geométridos con 5.6% (Dodd y Lacki 2007), ya que estas desarrollaron un sistema de audición especializado para poder detectar los ultrasonidos emitidos por los murciélagos al momento de forrajear, presentando maniobras de evasión ante el peligro de ser depredadas (Corcoran y Conner 2017).

Dicho esto, es probable que la especie *C. townsendii* no presente variaciones en las frecuencias debido a que, al poseer pulsos de baja intensidad, dispone de una ecolocalización sigilosa, lo que le ayuda para que la presa no pueda escuchar sus pulsos, evitando que esta contrarreste con sus defensas (Leslie y Clark 2002;

Schuchmann y Siemers 2010; Corcoran y Conner 2017) y así poder tener éxito en la captura de su alimento.

Como propuesta a este estudio, se recomienda aumentar el esfuerzo de muestreo, realizar grabaciones en espacios abiertos, así como también efectuar grabaciones con el método zip-line para la obtención de múltiples grabaciones con buena calidad, de igual manera grabarlos en un espacio controlado y en donde los individuos se encuentren forrajeando en su hábitat natural para tener la certeza de que dicha ausencia de variación en sus sonidos se deba a todo lo mencionado con anterioridad.

La ausencia de variación en sus sonidos puede implicar que su sistema de ecolocalización es eficaz para su alimentación, por lo tanto, en trabajos de monitoreo se facilitará la identificación de la especie debido a que esta no presenta modificaciones en la estructura de sus pulsos en la fase de búsqueda.

8 LITERATURA CITADA

- Adam, M. D., M. J. Lacki, y T. G. Barnes.** 1994. Foraging Areas and Habitat Use of the Virginia Big-Eared Bat in Kentucky. *The Journal of Wildlife Management*, 3: 462-469 .
- Adams, R. A. y S. C. Pedersen.** 2013. Bat evolution, ecology and conservation. Springer Science+Business Media. New York, London.
- Alea, V., M. Guillén, C. Muñoz, E. Torrelles, y N. Viladomiu.** 2000. Estadística con SPSS v.10.0. España, Barcelona: Edicions de la Universitat de Barcelona.
- Altringham, J. D.** 2011. Bats: From Evolution to Conservation. Oxford University Press. Oxford
- Arroyo-Cabrales, J., y S. T. Álvarez-Castañeda.** 2017. *Corynorhinus townsendii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017. <www.iucnredlist.org>. Consultado el 29 de Agosto del 2018.
- Barclay, R. M. y R. M. Brigham.** 1991. Prey detection, dietary niche breadth and body size in bats: why are aerial insectivorous bats so small? *The American Naturalist*, 137: 693-703.
- Barclay, R. M., H. J. Fullard y D. S. Jacobs.** 1999. Variation in the echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*): influence of body size, habitat structure, and geographic location. *Canadian Journal of Zoology*, 77: 530-534.
- Bates, M. E., S. A. Stamper, y J. Simmons.** 2008. Jamming avoidance response of big brown bats in target detection. *The Journal of Experimental Biology*, 211: 106-113.
- Burford, L. S. y M. J. Lacki.** 1995. Habitat Use by *Corynorhinus townsendii virginianus* in the Daniel Boone National Forest. *The American Midland Naturalist*, 134: 340-345.
- Burgin, C. J., J. P. Colella, P. L. Kahn, y N. S. Upham.** 2018. How many species of mammals are there?. *Journal of Mammalogy*, 99: 1-14.
- Ceballos, G. y G. Oliva.** 2005. Los mamíferos silvestres de México. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México.

- Ceballos, G. y J. Arroyo-Cabrales.** 2012. Lista actualizada de los mamíferos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época* 2: 27-80.
- Conner, W. E.** 2014. La batalla evolutiva acústica. *Investigación y ciencia*, 38-45.
- Corcoran, A. J. y W. E. Conner.** 2017. Predator counteradaptations: stealth echolocation overcomes insect sonar-jamming and evasive-manoeuvring defences. *Animal Behaviour*, 132: 291-301.
- Cortez-Calva, P.** 2013. Echolocation. *Therya*, 4: 09-14.
- Dalgaard, P.** 2008. *Introductory statistics with R*. Springer Science+Business Media. New York, United States.
- Denzinger, A. y H. U. Schnitzler.** 2013. Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Frontiers in physiology*. 4: 1-14.
- Dodd, L. E. y M. J. Lacki.** 2007. Prey consumed by *Corynorhinus townsendii ingens* in the Ozark Mountain región. *Acta Chiropterologica*, 9: 451–461.
- Fellers, G.M. y E.D. Pierson.** 2002. Habitat use and foraging behavior of Townsend's big-eared bat (*Corynorhinus townsendii*) in coastal California. *Journal of Mammalogy* 83:167-177.
- Fenton, M. B., S. Mubareka, S. M. Tsang., N. B. Simmons, y D. J. Becker.** 2020. COVID-19 and threats to bats. *FACETS*. 5: 349-352.
- Gilliam, E. R., y G. F. McCracken.** 2007. Variability in the echolocation of *Tadarida brasiliensis*: effects of geography and local acoustic environment. *Animal Behaviour* 74: 277-286.
- González, B. N.** 2018. Riqueza de especies y uso de hábitat de los murciélagos insectívoros aéreos en el área natural protegida "El Texcal", Morelos. (Tesis de Licenciatura) Universidad Autónoma del estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.
- Griffin, D. R., F. A. Webster, y C. R. Michael.** 1960. The echolocation of flying insects by bats. *Animal Behaviour*, 8: 141-154.
- Grilliot, M. E., S. C. Burnett, y M. T. Mendonça.** 2009. Sexual Dimorphism in Big Brown Bat (*Eptesicus fuscus*) Ultrasonic Vocalizations is Context Dependent. *American Society of Mammalogists*, 90: 203-209.

- Grinnell, A. D.** 1962. The neurophysiology of audition in bats: intensity and frequency parameters. *The Journal of Physiology*, 167: 38-66.
- Gruver, J. C., y D. A. Keinath.** 2006. October 25. Townsend's Big-eared Bat (*Corynorhinus townsendii*): a technical conservation assessment. [Online]. USDA Forest Service, Rocky Mountain Region. Available: <http://www.fs.fed.us/r2/projects/scp/assessments/townsendbig-earedbat.pdf> [7 de septiembre del 2018].
- Jiang, T., H. Wu, y J. Feng.** 2015. Patterns and causes of geographic variation in bat echolocation pulses. *Integrative Zoology*. 10: 241-256.
- Jiang, T., R. Liu., W. Metzner., Y. You., S. Li., S. Liu, y J. Feng.** 2010. Geographical and individual variation in echolocation calls of the intermediate leaf-nosed bat, *Hipposideros larvatus*. *Ethology*. 116: 691-703.
- Jones, G.** 1992. Sex and age differences in the echolocation calls of the lesser horseshoe bat, *Rhinolophus hipposideros*. *Mammalia*, 2: 189-193.
- Jones, G. y E. C. Teeling.** 2006. The evolution of echolocation in bats. *Trends in Ecology and Evolution*. 21: 149-156.
- Kazial, K., S. Burnett, y M. Masters.** 2001. Individual and Group Variation in Echolocation Calls of Big Brown Bats, *Epistecus Fuscus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Journal of Mammalogy*. 82: 339–351.
- Kraker-Castañeda, C., A. Santos-Moreno, C. Lorenzo y G. MacSwiney.** 2018. Effect of intrinsic and extrinsic factors on the variability of echolocation pulses of *Myotis nigracans* (Schinz, 1821) (Chiroptera: Vespertilionidae). *Bioacustics*, 1-15.
- Kunz, T. H. y R. A. Martín.** 1982. *Plecotus townsendii*. *Mammalian Species*, 175: 1-6.
- Lack, J., y B. Van-Den.** 2009. A Relaxed Molecular Clock Places an Evolutionary Timescale on the Origins of North American Big-Eared Bats (Vespertilionidae: *Corynorhinus*). *Acta Chiropterologica*, 11: 15-23.
- Lacki, M. J. y L. E. Dodd.** 2011. Diet and foraging behavior of *Corynorhinus* in eastern north america. *Southern Research Station*, 39-52.
- Lara-Núñez, A. C.** 2018. Efecto del ruido antropogénico en los pulsos de ecolocación y evaluación de concentraciones de cortisol en murciélagos insectívoros. (Tesis de Maestría). Universidad Autonoma del estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.

- Leslie, D. M. y B. S. Clark.** 2002. Feeding habits of the endangered Ozark big-eared bat (*Corynorhinus townsendii ingens*) relative to prey abundance. *Acta Chiropterologica*, 4:173-182
- Levin, I. R., y S. D. Rubin.** 2004. Estadística para administración y economía. México: Pearson Educación.
- Lin, A., T. Jiang, J. S. Kanwal, G. Lu, J. Luo, X. Wei, B. Luo y J. Feng.** 2015. Geographical variation in echolocation vocalizations of the Himalayan leaf-nosed bat: contribution of morphological variation and cultural drift. *Oikos*, 124: 364–371.
- Loeb, S., y E. Britzke.** 2010. Intra- and interspecific responses to Rafinesque's big-eared bat (*Corynorhinus rafinesquii*) social calls. *Acta Chiropterologica*, 12: 329–336.
- Mejenes-López, S., y A. Vallarino-Moncada.** 2016. Diversidad de murciélagos en dos ecosistemas del noroeste de Campeche, México. *Agroproductividad* 9: 22-28.
- Montoya, V. I. J.** 2019. Evaluación de patrones geográficos en vocalizaciones del murciélago *Glossophaga soricina* en la región de tierra caliente, Michoacán. (Tesis de maestría). Universidad michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- Neuweiler, G.** 2000. The biology of bats. Oxford University Press. Oxford & NY
- Nowak, R. M.** 1994. Walker's Bats of the World. EE.UU: Johns Hopkins University Press.
- Pech-Canche, J. M., G. C. MacSwiney, y E. Estrella.** 2010. Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya*, 1: 221-227.
- Piaggio, A. J., y S. L. Perkins.** 2005. Molecular phylogeny of North American long-eared bats (Vespertilionidae: *Corynorhinus*); inter- and intraspecific relationships inferred from mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 37: 762–775.
- Reid, A., T. Hill, R. Clarke, J. Gwilliam, y J. Krebs.** 2010. Roosting ecology of female townsend's big-eared bats (*Corynorhinus townsendii*) in south-eastern British

Columbia: implications for conservation management. *Northwestern Naturalist*, 91: 215-218.

- Rivas-Camo, N. A., P. A. Sabido-Villanueva, C. R. Peralta-Muñoz y R. A. Medellín.** 2020. Cuba in Mexico: first record of *Phyllops falcatus* (Gray, 1839) (Chiroptera, Phyllostomidae) for Mexico and other new records of bats from Cozumel, Quintana Roo. *ZooKeys* 973: 153–162
- Rizo-Aguilar, A.** 2008. Descripción y análisis de los pulsos de ecolocación de 14 especies de murciélagos aéreos del estado de Morelos (Tesis de Maestría). Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz.
- Rizo-Aguilar, A., L. G. Ávila-Torresagatón, V. L. Fuentes, A. C. Lara-Núñez, N. Flores, y M. S. Albino.** 2015. Técnicas para el estudio de los murciélagos. Manual de técnicas del estudio de la fauna. Veracruz, Xalapa: Instituto de Ecología, A.C. 163-188.
- Russo, D. L., Ancillotto, y G. Jones.** 2017. Bats are still not birds in the digital era: echolocation call variation and why it matters for bat species identification. *Canadian Journal of Zoology* 96: 63-78.
- Schnitzler, H. U., y E. K. V. Kalko.** 2001. Echolocation by insect-eating bats. *BioScience*, 51: 557-569.
- Schuchmann, M., y B. M. Siemers.** 2010. Variability in echolocation call intensity in a community of Horseshoe bats: A role for resource partitioning or communication?. *PLoS ONE*, 5: 1-10.
- Sherwin, R. E., D. Stricklan, y D. S. Rogers.** 2000. Roosting affinities of Townsend's Big-eared bat (*Corynorhinus Townsendii*) in Northern Utah, *Journal of Mammalogy*, 81: 939–947.
- Shiang-Fan, C., G. Jones y S. J. Rossiter.** 2009. Determinants of echolocation call frequency variation in the Formosan lesser horseshoe bat (*Rhinolophus monoceros*). *The Royal Society*, 276: 3901-3909.
- Sonozotz-AMMAC-ConABio** (Sonozotz-Asociación Mexicana de Mastozoología-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2018. Informe final del proyecto Compilación de fonoteca de referencia de murciélagos

insectívoros de México: Fase I. Informe no publicado. AMMAC, CONABIO. Ciudad de México, México.

- Sun K, L. Luo, RT. Kimball, X. Wei, L. Jin, T. Jiang, G. Li, y J. Feng.** 2013. Geographic variation in the acoustic traits of greater horseshoe bats: Testing the importance of drift and ecological selection in evolutionary processes. PLoS ONE 8: 1-10.
- Torres, J. W. y L. M. Guevara.** 2010. Perspectivas sobre el origen de la filogenia de los murciélagos. ContactoS 77: 5–9
- Varela-Boydo. F., L. G. Avila-Torresagatón, A. Rizo-Aguilar, J. A. Guerrero** 2019. Variation in echolocation calls produced by *Myotis velifer* (Chiroptera: Vespertilionidae) during postnatal development. *Therya*, 10:55-58.
- Vaselka, N., L. P. MacGuire, L. A. Hotoon, y M. B. Fenton.** 2013. Spatial variation in the echolocation calls of the little brownbat (*Myotis lucifugus*). NCR Research press, 91: 795-801.
- Wund, M. A.** 2006. Variation in thee colocation calls of little brown bats (*Myotis lucifugus*) in response to different habitats. *The American Midland Naturalist*, 156: 99-108.
- Zelditch, M. L., D. L. Swiderski, H. D. Sheets, y W. L. Fink.** 2004. Geometric morphometrics for biologists. Elsevier USA.

Cuernavaca, Morelos a 19 de enero de 2021

DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE
DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E.

Por este conducto, los catedráticos suscritos comunicamos a Usted, que hemos revisado el documento que presenta el Pasante de Biólogo: **Yadira Estañol Castillo**, con el título del trabajo: **VARIACIÓN EN LOS PULSOS DE ECOLOCALIZACIÓN DEL MURCIÉLAGO *Corynorhinus townsendii***

En calidad de miembros de la comisión revisora, consideramos que el trabajo reúne los requisitos para optar por la Modalidad de Titulación por **Tesis**, como lo marca el artículo 4º del Reglamento de Titulación Profesional vigente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

JURADO REVISOR

FIRMA

PRESIDENTE: M. EN C. LUIS GERARDO ÁVILA TORRESAGATÓN

SECRETARIO: M. EN B.I.B.C. MONTSERRAT MONTER ROSALES

VOCAL: DR. JOSÉ ANTONIO GUÉRRERO ENRÍQUEZ

SUPLENTE: M. EN C. ANA CRISTEL LARA NUÑEZ

SUPLENTE: BIÓL. BLANCA NATIVIDAD GONZÁLEZ ZARIÑANA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

JOSE ANTONIO GUERRERO ENRIQUEZ | Fecha:2021-01-20 11:37:14 | Firmante

rXKqzhLiZnwiQkO19smKMI1k6VwZtBG3ly3xwrn6cYmQQFHk4YjhABJP7M0V+xu1DDAQ4pjDFVibjzuGDPCLOUKR4IAMr25GGvLWVMRQSFCSsjQgkV60r2ge9gO7Tv/IBNUSyFFKHBYi+X0858JqHI3Uc2BPPa91cHRmoKEegfuPUsx11kVylVVum2PNcGeGWSrqtmgzqMdGbVUdmsbloHd1zbTsk85vegpPFi4gJHDdINFF9Fwg4qph+n+wWJnqsVe5XL0JRV6niCam1DJe8iZ3/jzgJwf2vSCV5E6L87f0Bu1VwEMKiMwaWL33kk97N8fNC1CJo+0MPX5pCg==

MONTERRAT MONTER ROSALES | Fecha:2021-01-20 15:24:27 | Firmante

dafvgF1ZQBbbEg5HDOijGAzoHOT0R/K65OFmNBImLjGziSDk31RF/7JuhObNHq5wpxEGPIZm1PMipZLLKVC2uKTZuYtTnoKi3AIRc4xR+EC40z9WBX2sc4PLbu9CoyyUkG2YxrXLt+BN65i23mEweZvOYJ+tubEC5gkYk+Ng82myJ0mdXWiuCt+TU6k+zEXwF1yxZLDnH3aWB9F/QYyP8FP5U+1SQ/1q+glowmhogk6Oi0avHsRZla5LcDcTbYiCRjbSxKNjm0e0CEdRPFzNIORCYFVtnKdiU9d3BkJmN7yjl36/ZLTSgkICKMRYumT25tB7G2UTliRuKtJardg==

LUIS GERARDO AVILA TORRESAGATON | Fecha:2021-01-20 23:03:22 | Firmante

cJ7kcDrqZlIdFqm2HRyVw0ZALtF+Fqqs4/v10qLE4rj5jQOqmJsrgtPB3aV8LNGr3xYyW80swqGlr+p85AUI03OkACSkFivBe8rHkrsmhgF70T9wnwCB9IZRDwWO3lqcZZJ/ekJgxZJHw7fgXM45JDV9O4KI+mow09SB0EPFXDM1oKmfXF/KhWupbbmLwQY7vUc8XvThsqPUBrlhZ0vDvQaoDjz8kLISu/xTwhrruHRAehVdgaCer12LddJs/jPWL/VBj+mceiUdhng00k B4JwdUoJnlXN415JaoctQqgHsBALCuRdzLfbvswrE9ImPu+8K0WklhpwOgg+YavMkIA==

BLANCA NATIVIDAD GONZALEZ ZARIÑANA | Fecha:2021-01-25 10:27:20 | Firmante

kc/3hcmWcHHeIdkzQpidP+iJ4y2LI0cRkKtV1s0j3y0isCGEohU8fuCve0+uQLJjS2e73cxR6aR/YUH2f5SLMtpAeo28GaJpIXfxDgAkQ13npc+gsYol9A6R1HdYgOrTe1piAerYY3Udb9jejo3dgx4yki49chMMGFp3pGt5LudnXTSTSpUH8BijeAenqoHHSXMqJ+znGgFozKZxf5lvLssFFvdh6W31Q6JO8nba+ihSVmbfIMbiQJ4hlda+Zr9VVym956Bn73yGoyUavJfZhpYymPjgQ5+dZ/Lva+hMAGm3M4n+/yd/tdyuCXY1h1vOUUpKgVSMOXpHJxeDNFdg==

ANA CRISTEL LARA NUÑEZ | Fecha:2021-02-05 12:53:56 | Firmante

hnFo13Sspj/BnvH+evTmceUzsDM8wk6aRkPHzFiLdfHf9mMt/DjnNvkHYrc73/6bc/XEHO4CAsm4KhGc3vaCc1GLGxjfwne8LZ4drJUmnxXjQYoGH+LVsnkBoK0/4rn/PDKI1oCRz2b6kE7ZcBXlq2kC7+PRgQL7BAFLnoI7HEL79D8L1kqAhH6BWsNLSdaT/ETbalMIku1FC12WkKSEA8R57q8Z/irWMy7o1c+g5lXU3ykgGxVqXTnNmZJrHci6fEOsuXIG+ZyXB8WZLzE93Q5/N/2aDY5X9ySrleVuikkbJuzH9fYKAh0Kxx3kppQ1WslI7q75q62d3r92ZIVA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



mJvUR6

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/BkneYNVhPM99IQBj6VQCrtF75GA9N2g>

