



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

LOIRA CAROLINA GÓNGORA JULIAN

ASESOR INTERNO:

SOL DE MAYO ARAUCANA MEJENES LOPEZ

TÍTULO:

**“VARIACIÓN TEMPORAL EN LA DETECCIÓN BIOACÚSTICA Y CAPTURA POR RED
DE MURCIÉLAGOS EN UN PAISAJE ANTROPIZADO, CHINÁ, CAMPECHE”**

NOVIEMBRE 2025



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

LOIRA CAROLINA GÓNGORA JULIAN

ASESOR INTERNO:

SOL DE MAYO ARAUCANA MEJENES LOPEZ

TÍTULO:

**“VARIACIÓN TEMPORAL EN LA DETECCIÓN BIOACÚSTICA Y CAPTURA POR RED
DE MURCIÉLAGOS EN UN PAISAJE ANTROPIZADO, CHINÁ, CAMPECHE”**

NOVIEMBRE 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Chiná
Dirección

Chiná, Campeche; 21/noviembre/2025

Oficio No. DIR/1143/2025

C. GONGORA JULIAN LOIRA CAROLINA
PRESENTE

El que suscribe, manifiesta que el Dictamen emitido por el Comité de Revisión que integra el sínodo de la Titulación Integral por Tesis denominada **"VARIACIÓN TEMPORAL EN LA DETECCIÓN BIOACÚSTICA Y CAPTURA POR RED DE MURCIÉLAGOS EN UN PAISAJE ANTROPIZADO, CHINÁ, CAMPECHE"**; es **APROBADO** como requisito parcial para obtener el Título de Licenciada en Biología.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Aprender Produciendo

MARCO GABRIEL ROSADO ÁVILA
DIRECTOR

Minutario

MGRA/scbn



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná,
Campeche, C.P. 24520, Tel. 9818272052 y
9818272082, e-mail: dir_china@tecnm.mx
www.itchina.edu.mx



COMITÉ REVISOR

Este trabajo fue revisado y aprobado por este comité y presentado por la C. **GONGORA JULIAN LOIRA CAROLINA** como requisito parcial para obtener el título de: **LICENCIADA EN BIOLOGIA** el día 03 del mes de diciembre del año 2025 en Chiná, Campeche.

SOL DE MAYO ARAUCANA MEJENES LÓPEZ
Presidente



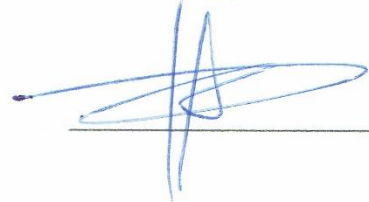
SUSANA GABRIELA RODRÍGUEZ SANTOS
Secretario



JORGE ALBINO VARGAS CONTRERAS
Vocal



BRÍGIDO MANUEL LEE BORGES
Vocal Suplente



DEDICATORIA

Este esfuerzo, trabajo y dedicación es para las personas más importantes en mi vida:

A mi madre Paula del Carmen Julián Escobar.

A mi padre Gilberto Manuel Góngora Casanova.

A mi hermano Manuel Enrique Góngora Julián.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a todas aquellas personas que estuvieron presentes durante el desarrollo de mi proyecto y me apoyaron en el proceso:

A mi familia, por estar siempre para mí, por confiar y alentarme cuando yo misma dudaba de mis capacidades, por acompañarme, preocuparse y amarme siempre. Son mi tesoro máspreciado.

A mi asesora, la M. en C. Sol de Mayo A. Mejenes López, quien me dio la oportunidad de encontrar mi pasión y me acompañó en mi desarrollo profesional, por su atención como docente y su apoyo, empatía y amistad fuera del laboratorio.

A mi asesor externo, el Dr. Jorge A. Vargas Contreras, por dedicar tiempo para las sugerencias y recomendaciones del proyecto, así como por su confianza para permitirme trabajar con la licencia del software de análisis.

A la MIA Susana G. Rodríguez Santos, por la revisión del trabajo y acompañarnos en las salidas a campo y la convivencia.

Al Maestro Javier Peralta Cosgaya por su permiso para acceder al área de estudio.

A mis compañeros, amigos y colegas del Laboratorio de Colecciones Biológicas Juan Carlos Kú-Mijangos, Benjamín Castillo-Morales y Caleb Asai Kantun Pech por haberme acompañado en esta trayectoria de formación como profesional, las buenas experiencias, su apoyo en el trabajo de campo y la gran convivencia dentro de las colecciones, siempre los consideraré mis hermanos.

Al Tecnológico Nacional de México por financiar los proyectos “Fundación de las colecciones científicas de vertebrados terrestres silvestres y herbario forestal del ITChiná como herramienta de conservación de la biodiversidad del estado de Campeche” con código 23166.25-P y “Evaluación ecológica de la diversidad florística en una área de influencia a una estación del Tren Maya en Campeche: Propuesta al pago por aprovechamiento de servicios ambientales en el ámbito recreación y ecoturismo” con clave 23436.25-P, que fueron el principal apoyo para la realización y culminación de este trabajo.

RESUMEN

Las señales ultrasónicas emitidas por los murciélagos no son perceptibles para el oído humano. Para este propósito se utilizan detectores ultrasónicos, dispositivos electrónicos que captan estas señales y las convierten en frecuencias audibles o analizables. Este estudio tuvo como objetivo general evaluar la variación temporal en secas y lluvias de los registros acústicos de especies de murciélagos por medio de detectores ultrasónicos y captura en redes en un paisaje antropizado “Rancho Las Potrankas”, Chiná, Campeche, Campeche con los siguientes objetivos específicos: A) Obtener un listado taxonómico de murciélagos por técnica (captura y bioacústica) por temporadas, B) Registrar llamados con los detectores ultrasónicos Echo Meter Touch 2 Pro y Pettersson M500 u384, C) Determinar la diversidad de las especies y los registros de los llamados de los murciélagos por equipos ultrasónicos, D) Relacionar las variables de las técnicas con la biología de cada especie y E) Construir una curva de acumulación basada en datos de presencia-ausencia con estimadores no paramétricos por técnica. El trabajo de campo se realizó dentro de la ex hacienda “El Casco”, perteneciente al Rancho “Las Potrankas”, ubicado a 3.70 kilómetros al sureste del poblado de Chiná, Campeche, con vegetación secundaria y zonas mecanizadas. Se registraron 16 especies de murciélagos, distribuidas en 12 géneros, agrupadas en cuatro familias dentro de un área fragmentada por actividades pecuarias, ocho de las cuales pertenecen a individuos capturados de la familia Phyllostomidae, mientras que las otras ocho especies se detectaron mediante el registro acústico, de las cuales 300 grabaciones fueron las que contenían pulsos de especies pertenecientes a las familias Molossidae, Vespertilionidae y Mormoopidae con hábitos principalmente insectívoros/artropófagos, donde además se reporta a dos sonotipos con llamado social y uno con tren de alimentación. Los estimadores seleccionados (Chao 2, ICE, Jackknife 1, Jackknife 2 y Bootstrap) se mantuvieron ligeramente por encima de la línea de especies reales para la técnica de captura en redes, mientras que para la técnica de detección acústica las curvas tienden a estabilizarse conforme avanzaron los meses de muestreo. La implementación de la técnica acústica en la captura en redes para este trabajo resultó complementar en un 50% el listado de especies,

considerando la influencia de las temporadas en la captura y detección de acuerdo a los hábitos de los murciélagos. Con este trabajo, se confirma la influencia de las temporadas en la detección y captura de especies de murciélagos dentro de áreas transformadas para actividades pecuarias, su complementariedad para incrementar los registros en trabajos relacionados a riqueza y diversidad y la exploración de ambas técnicas para obtener datos de comportamiento dentro de paisajes antropizados.

Palabras clave

Chiroptera, temporadas, técnicas de muestreo, diversidad, estimadores no paramétricos.

ÍNDICE

DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS.....	7
RESUMEN.....	8
1. Introducción	14
1.1 Qué son los murciélagos.	14
1.2 Taxonomía	14
1.3 Aspectos de importancia	15
1.4 Detectores ultrasónicos para la evaluación de diversidad de murciélagos.....	15
2. Antecedentes.....	17
2.1 Taxonomía de los murciélagos.....	17
2.2 Diversidad taxonómica de los murciélagos del Estado de Campeche	18
2.3 Estudios previos de bioacústica en México	18
2.3.1 Compendio de llamados de murciélagos insectívoros de México: proyecto Sonozotz.....	18
2.3.2 Estudios previos con registros bioacústicos para la península de Yucatán	19
2.4 Descubrimiento de la ecolocalización en murciélagos	22
3. Justificación	24
4. Objetivos.....	25
a. General	25
b. Específicos.....	25
5. Marco teórico	26
5.1 Aspectos básicos de clima, el tiempo meteorológico, la variabilidad intraestacional o temporal: secas y lluvias	26
5.2 Técnicas de captura	28
5.3 Bioacústica.....	28
5.4 Breve introducción a la naturaleza del sonido	29
5.5 Física de la bioacústica	31
5.5.1 Estructuras que les permiten la audición y emisión de sonidos a los murciélagos	31
5.5.2 La física de los sonidos ultrasónicos de los murciélagos.....	34
5.5.3. La relación entre frecuencia y longitud de onda, clave para entender cómo los murciélagos detectan objetos	35
5.5.4 Representación visual de los sonidos de los murciélagos: espectrograma, el espectro de potencia y el oscilograma	36

5.5.5 Las características físicas del sonido: intensidad, tono y timbre.....	38
5.5.6 Velocidad de propagación del sonido en el aire	40
5.5.7 Clasificación del sonido emitido por los murciélagos de acuerdo a su función .	41
5.5.8 Herramientas de bioacústica en la investigación de murciélagos.....	44
5.5.9 Estrategias de muestreo acústico	45
6. Materiales y métodos.....	48
6.1 Área de estudio	48
6.1.1 Ubicación del sitio de muestreo	48
6. 2 Aspectos fisiográficos.....	49
6. 2. 1 Relieve.....	49
6.2.2 Suelo	50
6.2.3 Hídrico	50
6.2.4 Clima	50
6.2.5. Datos climatológicos del 2024.....	51
6.3 Vegetación	51
6.3.1 Selva baja subcaducifolia.....	51
6.3.2 Selva baja inundable: Tintal	52
6.4 Trabajo de campo	53
6.4.1 Periodo de muestreo.....	53
6.4.2 Técnica de redeo, puntos de muestreo, captura, toma de datos, liberación y determinación taxonómica	54
6.4.3 Estrategia de muestreo acústico	54
6.5 Trabajo de gabinete	56
6.5.1 Registro de capturas en red.....	56
6.5.2 Análisis de datos en grabaciones.....	56
6.6 Sistematización de los datos por captura y bioacústicos por temporada de muestreo	62
6.7 Estimadores de riqueza para datos de presencia-ausencia por técnicas.....	62
7. Resultados.....	64
7.1 Listado taxonómico de murciélagos por técnica (captura y bioacústica) por temporadas	64
7.2 Diversidad de especies y abundancia de llamados con el aparato omnidireccional Echo Meter Touch 2 Pro	66
7.3 Diversidad de especies y abundancia de llamados con el aparato omnidireccional y unidireccional Pettersson M500 u384.....	66
7.4 Análisis de las variables de las técnicas con la biología de cada especie.....	68

7.5 Estimadores de riqueza y curva de acumulación de especies por técnica.....	70
8. Discusión	72
9. Conclusiones	78
10. Referencias bibliográficas	79
11. Anexos.....	88
Anexo 1.....	88
Anexo 2.....	89
Anexo 3.....	91
Anexo 4.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de la clasificación anterior y actual por subórdenes y familias de los murciélagos existentes.	17
Tabla 2. Clasificación del sonido de acuerdo al tipo de señal emitida por los murciélagos.	43
Tabla 3. Lista taxonómica de las especies registradas por los dos métodos durante el periodo de muestreo con datos de presencia-ausencia. La clasificación y nombres de autores están de acuerdo a Simmons y Cirranello (2025).	65
Tabla 4. Abundancia de grabaciones analizadas y determinadas por especie con Echo Meter Touch 2 Pro por meses y estaciones de muestreo. En algunos meses no se obtuvo registro por lo que se omitieron por cuestiones de espacio.	67
Tabla 5. Abundancia de grabaciones analizadas y determinadas por especie con Pettersson M500 por meses y estaciones de muestreo. En algunos meses no se obtuvo registro por lo que se omitieron por cuestiones de espacio.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una trampa arpa de cuatro corridas ensamblada (a) y la manga de captura (b), varios hilos verticales se omitieron para brindar claridad a la imagen (Francis, 1989).	29
Figura 2. Esquema de las partes de una red de niebla (c) con sus postes/soportes (Rizo-Aguilar et al., 2015) o su colocación en un sendero en el bosque con cuerdas sostenidas de los árboles (d, Kunz y Kurta, 1988).	29
Figura 3. Propiedades de una onda. Se presentan dos frecuencias de ondas de baja y alta frecuencia, indicando la longitud de onda, frecuencia y velocidad de propagación (ESERO España, 2024).	31
Figura 4. Sistemas de emisión de las frecuencias ultrasónicas (Zamora-Gutiérrez, 2017).	32
Figura 5. Modulación de la frecuencia sonora durante las llamadas de ecolocalización (Elemans et al., 2011).	33
Figura 6. Recepción de ecos en los oídos de los murciélagos. Ilustración: Fridali García-Islas (Hernández-Díaz et al., 2025).	34

Figura 7. Representación de los rangos de frecuencia acústica (en kHz) que pueden emitir o detectar diferentes especies animales (Zamora-Gutiérrez, 2017).	35
Figura 8. Esquema de la forma en que viaja el sonido de acuerdo a la frecuencia (Aytekin et al. 2007).	36
Figura 9. Representación visual del sonido emitido por murciélagos (Zamora-Gutiérrez 2017).	38
Figura 10. Representación de ondas sonoras de: A) 100 Hz, B) 200 Hz, C) 500 Hz y D) 1 kHz, mostrando variaciones en frecuencia (tono) y amplitud (intensidad; Medina, 2013). 39	
Figura 11. Ejemplo de las diferencias de timbre en señales acústicas emitidas por un diapasón, una flauta y un violín (Mosquera-Moreno, 2013).	40
Figura 12. Representación de sonido (onda sonora; Pérez-Vega, 2017).	40
Figura 13. Clasificación del sonido emitido por los murciélagos de acuerdo a su función (Zamora-Gutiérrez, 2017).	41
Figura 14. Espectrograma típico de un murciélago de la familia Molossidae y sus tres fases: a) búsqueda, b) aproximación y c) terminal (Barboza et al., 2006).	42
Figura 15. Representación gráfica de los tres tipos básicos de señales que emiten los murciélagos: frecuencia constante (CF), frecuencia modulada (FM) y frecuencia cuasi-constante (QCF; Estrada-Villegas et al., 2018).	43
Figura 16. Ubicación del punto de referencia y los puntos de muestreo en el Casco, rancho Las Potrankas, Chiná, Campeche.	49
Figura 17. Climograma con las medias mensuales de la temperatura y precipitación desde febrero de 2024 a febrero de 2025. Datos registrados por la estación meteorológica de Campeche y obtenidos de la CONAGUA (2024, 2025).	51
Figura 18. Formato de registro elaborado para el trabajo de campo de captura por red. ..	53
Figura 19. Pantalla principal de Kaleidoscope en la pestaña “Batch”	57
Figura 20. Opciones seleccionadas dentro de la sección INPUTS.	57
Figura 21. Opciones seleccionadas dentro de la sección OUTPUTS.	57
Figura 22. Panel de parámetros de señal con las opciones manejadas para la detección de pulsos.	58
Figura 23. Pestaña Auto ID for Bats, con la selección de las regiones.	58
Figura 24. Pestaña Batch, se muestra el espacio para la selección de archivos de entrada y salida y la opción Process Files para el procesamiento de las sesiones.	59
Figura 25. Ventana de metadatos de la sesión, los datos fueron acomodados por prioridad para facilitar el procesamiento de las grabaciones.	60
Figura 26. Ventana de visualización del oscilograma y espectrograma del archivo.	61
Figura 27. Pulso marcado con análisis de cruce por cero (zero-crossing, ZC) de <i>Pteronotus fulvus</i>	61
Figura 28. Ejemplo de comparación de pulsos con las referencias propuestas por Kaleidoscope para el Neotrópico con <i>P. fulvus</i>	61
Figura 29. Sistematización de los datos obtenidos mediante las dos técnicas de muestreo, con datos de presencia-ausencia por meses y temporadas.	63
Figura 30. Curva de acumulación de la riqueza de especies de murciélagos observada con los estimadores no paramétricos para la técnica de redes.	70
Figura 31. Curva de acumulación de la riqueza observada con los estimadores no paramétricos para la técnica de bioacústica.	71

1. Introducción

1.1 Qué son los murciélagos.

Los murciélagos son animales vertebrados pertenecientes al orden Chiroptera (del griego *cheir*=mano y *pteron*=ala), son los únicos mamíferos capaces de volar por sus adaptaciones morfológicas como es el alargamiento de sus falanges unidas entre sí por una membrana delgada de origen dérmico que comúnmente se le denomina plagiopatagio misma que conforma la presencia de las alas membranosas, así como la modificación de un pulmón fundamentalmente mamífero combinado con varios refinamientos fisiológicos que conlleva a la capacidad de un alto consumo de oxígeno requerido para el vuelo (Maina, 2000; Makanya y Mortola, 2007). Se distribuyen casi en todo el mundo y en diversos tipos de ecosistemas terrestres, exceptuando los círculos polares (Wilson, 2009), lo que los hace un grupo de mamíferos más diverso, después de los roedores (Wilson 2009; Medellín y Viquez, 2014).

1.2 Taxonomía

Hasta el momento se han descrito cerca de 1,474 especies alrededor del mundo (Simmons y Cirranello, 2025, batnames.org), dividiéndose en dos subgrupos principales: Yinpterochiroptera y Yangochiroptera. El primer grupo, Yinpteroquiróptera, se divide en siete familias, 66 géneros y 428 especies, siendo los más grandes de envergadura de hasta 1,80 m, tienen una distribución en regiones tropicales y subtropicales de Eurasia, África y Oceanía; son llamados murciélagos de la fruta porque muchos de ellos se alimentan de frutas y néctar-polen, poseen ojos muy grandes, carecen de ecolocalización (excepto una especie) para encontrar su alimento y son crepusculares, aunque algunas especies son activas durante el día. El otro grupo, los Yangoquirópteros, conformado por 1,046 especies, 170 géneros agrupadas en 14 familias con distribución amplia (Simmons y Cirranello, 2025). Se caracterizan por ser crepusculares y nocturnos que en conjunto utilizan la ecolocalización como mecanismo para orientarse durante su vuelo/desplazamiento, así como para obtener su alimento, los cuales son variados, como es el de hábitos para consumir insectos y otros artrópodos (artropófagos), frutas (frugívoros), polen (polinívoros) y néctar (nectarívoros), pequeños

vertebrados (carnívoros) y solo tres especies que consumen sangre (sanguinívoros o hematófagos) (Scheffer *et al.*, 2015).

1.3 Aspectos de importancia

Debido a su gran radiación adaptativa que hoy en día se les distingue y los ha conllevado a diversificarse taxonómicamente, así como también se les ha conferido una amplia variedad de hábitos ecológicos (Rizo-Aguilar *et al.*, 2015) y de su amplia distribución geográfica, permiten ser considerados fáciles para obtener muestras con una abundancia relativa alta, lo que los hace un grupo clave en el ámbito de bioindicador ambiental (Medellín y Viquez, 2014). Por lo que se han vuelto el objeto ideal para programas de monitoreo que ayudan a entender los efectos del cambio antropogénico global sobre la biodiversidad (Jones *et al.*, 2009; Zamora-Gutiérrez *et al.*, 2020).

Este grupo también ha demostrado presencia en hábitats con alto nivel de perturbación, como son campos de maíz u otros sitios clareados (Medellín y Viquez, 2014), los cuales han recibido el nombre de paisajes antrópicos (Pas; Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2019), que son transformaciones dentro de los ecosistemas naturales, destinados a actividades de producción agrícola, pecuaria o silvícola e incluso áreas urbanizadas (Mejenes-López *et al.*, 2024). Al ser estos paisajes una porción de territorio espacialmente heterogénea (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2017), le proporcionan a los murciélagos la oportunidad de forrajeo por encima del dosel, al interior de la vegetación y en los claros, principalmente en aquellos con hábitos insectívoros (Mejenes-López *et al.*, 2024), lo que posiblemente no asegure su captura con técnicas convencionales de muestreo y al ser un grupo con un sistema de ecolocalización desarrollado, son capaces de evitar o volar por encima de redes de niebla, por lo que para los murciélagos insectívoros voladores se recomienda el uso de detectores ultrasónicos para incrementar el número de especies registradas en un sitio (Pech-Canché *et al.*, 2010; Mejenes-López *et al.*, 2024).

1.4 Detectores ultrasónicos para la evaluación de diversidad de murciélagos

Las señales ultrasónicas emitidas por los murciélagos no son perceptibles para el oído humano. Para este propósito se utilizan detectores ultrasónicos, dispositivos

electrónicos que captan estas señales y las convierten en frecuencias audibles o analizables. Su eficiencia depende de características técnicas como el tipo de micrófono, el rango de detección, la direccionalidad y el ancho de banda, factores que influyen directamente en la calidad de los registros obtenidos (Estrada-Villegas *et al.*, 2018; Martínez-Medina *et al.*, 2021). El uso de estas herramientas para la evaluación de diversidad de murciélagos es conocido desde hace décadas y se ha expandido como técnica alrededor del mundo, poniendo como principal objeto de estudio en bioacústica a los murciélagos neotropicales desde mediados de 1960, y a pesar de ser una técnica con cierto tiempo existiendo, la toma de datos por grabaciones ultrasónicas sigue siendo poco explorada y restringida en pocas regiones de algunos países (Arias-Aguilar *et al.*, 2018).

Para el caso de México, se cuenta con un compendio de los llamados de ecolocalización de murciélagos insectívoros (Zamora-Gutiérrez *et al.*, 2020) donde se muestreó alrededor de un 80% del territorio nacional, abarcando en el estudio por cada región al menos ocho sitios de interés biológico o con prioridad de conservación, incluyendo áreas como reservas de biosferas, parques nacionales, cuencas, valles, paisajes urbanos o entidades geopolíticas como ejidos y municipios.

Son escasos los estudios de esta índole en la zona sureste del país y en específico en el estado de Campeche. Así como los estudios en áreas con actividades agropecuarias, mismas que se extienden cada vez más al territorio de algunas áreas conservadas, lo que resulta en un paisaje con áreas mecanizadas y zonas conservadas o de vegetación secundaria, donde aún se alberga fauna silvestre de la región y por consiguiente, especies de murciélagos de los que hay pocos estudios con registros acústicos para paisajes de esta índole. De esta manera, este trabajo tiene como propósito brindar información con el uso de dos técnicas para el estudio de los murciélagos que son complementarias en un paisaje antropizado durante temporadas de secas y lluvias.

2. Antecedentes

2.1 Taxonomía de los murciélagos

Alrededor del planeta se ha discutido el reconocimiento de dos subórdenes, los Megachiroptera (que sigue específicamente a los Pteropodidae) y Microchiroptera (Koopman 1984,1994), siendo el primer grupo los conocidos como murciélagos frugívoros del viejo mundo, de mayor tamaño y no ecolocalizadores. Mientras el segundo, los murciélagos producen llamadas de ecolocalización mediante sus laringes. Sin embargo, este argumento pronto incluyó que, dentro de los Microchiroptera se agruparan los infraórdenes de acuerdo a la previsión de pre-maxilas móviles, quienes serían denominados Yinpterochiroptera y aquellos con pre-maxilas fijas, nombrándolos Yangochiroptera (Tabla 1; Koopman 1994; Solari y Martínez-Arias, 2014). Así, los Yangochiroptera, cuentan con los Emballonuroidea (Emballonuridae, Nycteridae), Noctilionoidea (Mormoopidae, Noctilionidae, Phyllostomidae) y Vespertilionoidea (Thyropteridae, Furipteridae, Natalidae, Molossidae, Vespertilionidae; Simmons y Cirranello, 2025).

Tabla 1. Comparación de la clasificación anterior y actual por subórdenes y familias de los murciélagos existentes.

Clasificación anterior	Clasificación actual
1998	2006
Simmons y Geisler, 1998	Wetterer <i>et al.</i> , 2006
Suborden Megachiroptera	Suborden Yinpterochiroptera
Familia Pteropodidae	Familia Pteropodidae
Suborden Microchiroptera	Familia Rhinolophidae
Familia Emballonuridae	Familia Hipposideridae
Familia Craseonycteridae	Familia Rhinopomatidae
Familia Rhinopomatidae	Familia Craseonycteridae
Familia Nycteridae	Familia Megadermatidae
Familia Megadermatidae	Suborden Yangochiroptera
Familia Rhinolophidae	Familia Nycteridae
Familia Hipposideridae	Familia Emballonuridae
Familia Mystacinidae	Familia Mystacinidae
Familia Noctilionidae	Familia Noctilionidae
Familia Phyllostomidae	Familia Phyllostomidae
Familia Mormoopidae	Familia Mormoopidae
Familia Molossidae	Familia Natalidae
Familia Miniopteridae	Familia Miniopteridae
Familia Vespertilionidae	Familia Vespertilionidae
Familia Myzopodidae	Familia Molossidae

Familia Natalidae	Familia Thyropteridae
Familia Thyropteridae	Familia Furipteridae
Familia Furipteridae	Familia Myzopodidae

En la actualidad, el apoyar esta clasificación, se tiene previsto que para el suborden Yinpterochiroptera se basa en un origen asiático, teniendo una distribución única del viejo mundo desde su diversificación en el Paleoceno tardío, mientras que para el suborden Yangochiroptera, por su distribución panglobal, tenga una interpretación más compleja en su historia biogeográfica (Teeling *et al.*, 2005).

2.2 Diversidad taxonómica de los murciélagos del Estado de Campeche

De las 146 especies reportadas para México (Marín-Ventura *et al.*, 2025), Campeche representa el 37.6% de diversidad, siendo alrededor de 55 especies (Anexo 1) en el Estado (Vargas-Contreras *et al.*, 2014). Los nombres taxonómicos del listado se basan en Simmons y Cirranello (2025), para el caso de los cambios taxonómicos de murciélagos en México se considera a Marín-Ventura *et al.* (2025).

2.3 Estudios previos de bioacústica en México

2.3.1 Compendio de llamados de murciélagos insectívoros de México: proyecto Sonozotz

Uno de los trabajos más completos para México, fue registrado con la biblioteca de Zamora-Gutiérrez *et al.* (2016), combinando el análisis de los llamados a base de trabajo de campo y material donado, los cuales eran principalmente grabaciones de fase de búsqueda de las especies. Posteriormente se publicó el primer compendio nacional de llamados de ecolocalización de murciélagos insectívoros por Ortega *et al.* (2022), el cual incluye 69 especies de murciélagos ecolocalizadores, una riqueza alta que representa el 50% de las especies en el país en 27 estados (Zamora-Gutiérrez *et al.*, 2020). Los sonogramas en dicho compendio incluyen murciélagos insectívoros, así como algunas especies de las subfamilias Lonchorhininae, Macrotinae, Micronycterinae y Phyllostominae, pues se ha confirmado que emiten llamados característico que los hace identificables e incluyen dentro de su dieta la

insectivoría/artropófaga. Estos llamados fueron recopilados en el trabajo de campo del proyecto así como grabaciones donadas por distintos países.

El método de captura incluyó uso de redes de niebla de monofilamento, trampas arpa y observación en el refugio. Para las grabaciones se liberaron a los individuos con distintos métodos: liberación de mano, grabación en tirolesa, en cuarto de vuelo, al despegar de una superficie, liberación con marcas luminosas y al vuelo libre; y en ambientes como áreas abiertas, cerca de o sobre cuerpos de agua, áreas semiabiertas, en vegetación, áreas urbanas y cuartos de vuelo. Los sonogramas seleccionados fueron aquellos que incluían una fase de búsqueda con suficiente intensidad y poco ruido de fondo, analizados con el programa BatSound Pro 3.10 (Pettersson Elektronik AB, Uppsala, Suecia).

Es importante mencionar otros trabajos realizados en México que tomaron lugar en Oaxaca, donde los sitios de muestreo variaban en áreas comunales protegidas (e.g. Briones-Salas *et al.*, 2013), parques eólicos y potreros (Fuentes-Moreno, 2010; García-Luis y Briones Salas, 2017) y hábitats ribereños con vegetación contrastante (Kraker-Castañeda *et al.*, 2013). Así como la descripción de ultrasonidos de ecolocalización de murciélagos insectívoros en la selva baja caducifolia en Morelos (Orozco-Lugo *et al.*, 2013).

2.3.2 Estudios previos con registros bioacústicos para la península de Yucatán

2.3.2.1 Yucatán

Rydell *et al.* (2002) realizaron uno de los primeros estudios bioacústicos sistemáticos sobre murciélagos insectívoros de la península de Yucatán. Los muestreos se llevaron a cabo en diferentes localidades del norte de Yucatán utilizando grabadoras de expansión de tiempo (time-expansion) y micrófonos ultrasónicos D960 y D980 (Pettersson Electronics, Uppsala, Suecia) para obtener registros de ecolocalización en condiciones naturales de vuelo. Las grabaciones se analizaron mediante espectrogramas para describir parámetros acústicos característicos de frecuencia máxima, mínima y de energía pico con el software Bat Sound (Pettersson Electronics, Uppsala, Suecia), siendo el propósito identificar especies a partir de sus pulsos de ecolocalización. Como resultado, los autores

establecieron un catálogo de llamadas diagnósticas que permitió distinguir a las especies *Pteropteryx macrotis*, *Mormoops megalophylla*, *Pteronotus davyi*, *P. parnellii*, *Natalus stramineus*, *Eptesicus furinalis*, *Lasiurus intermedius*, *L. ega*, *Myotis keaysi* y *Rhogeessa aeneus*, aportando las primeras referencias acústicas regionales para su identificación en campo.

MacSwiney *et al.* (2009) desarrollaron un estudio enfocado en la actividad de murciélagos insectívoros en cenotes de la península de Yucatán, empleando detectores de expansión de tiempo y grabadoras digitales para registrar los pulsos ultrasónicos durante periodos de actividad nocturna. Los sitios de muestreo incluyeron cenotes cercanos a zonas de selva, agrícolas y urbanas, con sesiones de grabación de 30 minutos por punto. Los análisis acústicos se realizaron con el software BatSound (Pettersson Elektronik AB) para comparar los patrones de actividad y frecuencia de especies entre hábitats. Los resultados reportaron el análisis de 14 especies por ecolocalización: *Pteropteryx macrotis*, *Saccopteryx bilineata*, *Mormoops megalophylla*, *Pteronotus parnellii*, *P. personatus*, *P. davyi*, *Molossus rufus*, *M. sinaloae*, *Nyctinomops laticaudatus*, *Eptesicus furinalis*, *Lasiurus ega*, *L. intermedius*, *Rhogeessa aeneus* y *Myotis keaysi*, dichos registros mostraron una mayor actividad acústica en cenotes rodeados de vegetación natural, con predominancia de especies del género *Pteronotus* y *Molossus*, mientras que los cenotes cercanos a zonas agrícolas presentaron menor diversidad acústica y menor intensidad de llamadas registradas.

2.3.2.2 Quintana Roo

En lo que para el estado de Quintana Roo respecta, se tiene información pública de que, en la isla de Cozumel se han desarrollado esfuerzos recientes de monitoreo acústico orientados a documentar la actividad nocturna de murciélagos, particularmente por parte de la Fundación de Parques y Museos de Cozumel (FPMC), la cual ha implementado actividades de registro de ultrasonidos en áreas naturales y urbanas, anunciando la conformación de una fonoteca local de murciélagos a partir de grabaciones obtenidas en campo, lo que representa un avance en la documentación bioacústica de la fauna insular. Sin embargo, aún no

se encuentra información publicada de las especies detectadas mediante este método.

Para la caracterización de la quiropteroфаuna presente en la isla, Rivas-Camo *et al.* (2020), realizaron los muestreos mediante captura en redes, en tres paisajes distintos a lo largo de la isla: vegetación de duna costera la cual incluye selva baja subcaducifolia y manglares con una laguna salobre; una pequeña comunidad humana donde se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas, y un sitio arqueológico cubierto por selva media subcaducifolia. Documentaron 19 especies de murciélagos a partir de registros confirmados mediante captura y revisión de literatura: *Artibeus jamaicensis*, *A. lituratus*, *A. phaeotis*, *Centurio senex*, *Glossophaga soricina*, *Micronycteris microtis*, *Mimon cozumelae*, *Phyllops falcatus*, *P. mesoamericanus*, *Natalus mexicanus*, *Eumops bonariensis*, *Molossus alvarezii*, *Molossus rufus*, *Nyctinomops laticaudatus*, *Eptesicus furinalis*, *Lasiurus frantzii*, *L. ega*, *Myotis pilosatibialis* y *Rhogessa aeneus*.

2.3.2.3 Campeche

Para el estado de Campeche, se destacan dos trabajos que implementan la técnica de detección acústica: el primero, de Cú-Vizcarra (2013), quien seleccionó tres regiones dentro del estado, los cuales variaban tanto en vegetación como tipo de ambiente, entre reservas ubicadas al sur (Biosfera de Calakmul y la ANP de Balam Kú), una Unidad de Manejo Ambiental (UMA) la región central donde predomina el cultivo de soya, maíz y sorgo (Carlos Cano Cruz) y la región norte, la cual se caracterizó por distintas actividades agrícolas, como la producción de ganado, minería y plantaciones de árboles frutales, a unos kilómetros cerca de la ciudad de San Francisco de Campeche; se empleó el dispositivo ANABAT II (Titley Electronics, Ballina, NSW, Australia) y las grabaciones fueron analizadas con AnalookW v. 3.8 (Titley Electronics, Ballina, Australia). Se grabaron 23 fonotipos acústicos de murciélagos pertenecientes a cuatro familias y una sin determinar, de las cuales la familia Molossidae fue la más frecuente con ocho especies (*Cynomops mexinaus*, *Eumops auripendulus*, *E. glaucinus*, *E. underwoodi*, *Molossus molossus*, *M. rufus*, *M. sinaloae*, *Nyctinomops laticaudatus*), seguido de la familia Vespertilionidae con seis (*Bauerus dubiaquercus*, *Eptesicus furinalis*, *Lasiurus*

blossevillii, *L. ega*, *L. intermedius*, *Myotis keaysi*, *Rhogessa tumida*) y Emballonuridae (*Balantiopteryx io*, *Diclidurus albus*, *Peropteryx kappleri*, *Saccopteryx bilineata*) y Mormoopidae (*Mormoops megalophylla*, *Pteronotus davyi*, *P. parnellii*, *P. personatus*) con cuatro cada una.

El segundo estudio (Guzmán-Soriano *et al.*, 2013) realizó muestreos en múltiples localidades del centro y sur de Campeche (muestreos 2006–2010), en la ciudad, incluyendo puntos urbanos y zonas de selva mediana subperennifolia, selva baja subcaducifolia, bordes de ríos/lagunas y áreas riparias. La elección de sitios se orientó a cubrir hábitats con cuerpos de agua permanentes, cuevas y parches de selva que favorecen diferentes gremios de quirópteros. Para este trabajo se incluyen las tres técnicas de captura: redes de nylon principalmente para la captura de individuos de la familia Phyllostomidae, trampas arpa útiles para especies de vuelo rápido y de alta maniobrabilidad (como *Pteronotus*) y detección acústica con un detector de expansión de tiempo marca Tranquility Transect (Courtplan Design Ltd; time-expansion unit), las grabaciones digitales se analizaron con BatSound v. 3.31 (Pettersson Elektronik AB). Los resultados de los registros en general incluyen los registros notables de murciélagos insectívoros: *Rhynchonycteris naso*, *Pteronotus gymnonotus*, *Pteronotus helleri*, *Molossus sinaloae*, *Eptesicus glaucinus* y *Cynomops mexicanus*, de las cuales presenta el espectrograma de *E. glaucinus*, *M. sinaloae* y *C. mexicanus* (incluyen una frecuencia corta y otra larga).

2.4 Descubrimiento de la ecolocalización en murciélagos

El uso de sonidos para ubicar objetos fue inicialmente sugerido por Lazzaro Spallanzani en 1793. Al replicar los experimentos de Luis Jurine, Spallanzani utilizó tapones para los oídos y descubrió que los murciélagos colisionaban con obstáculos, lo que indicaba que dependían de algún tipo de señal sonora para navegar (Griffin, 2001). Ciento cuarenta y cinco años después, George Washington Pierce desarrolló un sensor capaz de detectar sonidos ultrasónicos, lo que permitió a los investigadores Donald Griffin y Robert Galambos, junto con Sven Dijkgraaf, concluir que los murciélagos utilizaban estos sonidos para detectar objetos y evitar colisiones (Griffin, 2001; Estrada-Villegas *et al.*, 2018).

Con estos y posteriores ensayos, Donald Griffin acuñó el término ecolocación (o ecolocalización) y confirmó que, gracias a la emisión de sonidos ultrasónicos y a la recepción de ecos, los murciélagos pueden capturar insectos al vuelo en condiciones naturales (Griffin *et al.*, 1960). Este descubrimiento no solo revolucionó el entendimiento del comportamiento de los murciélagos, sino que también consolidó la bioacústica como una herramienta esencial en el estudio de la comunicación y la percepción auditiva en animales (Estrada-Villegas *et al.*, 2018).

3. Justificación

Este trabajo está orientado en obtener información que permita comparar y complementar la técnica tradicional de redeo para captura de murciélagos con una que, si bien no es reciente, en el estado de Campeche ha sido poco tratada, la Bioacústica.

4. Objetivos

a. General

Evaluar la variación temporal en secas y lluvias de los registros acústicos de especies de murciélagos por medio de detectores ultrasónicos y captura por red en un paisaje antropizado Rancho “Las Potrankas”, Chiná, Campeche, Campeche.

b. Específicos

- Obtener un listado taxonómico de murciélagos por técnica (captura y bioacústica) por temporadas.
- Registrar llamados con los detectores ultrasónicos Echo Meter Touch 2 Pro y Pettersson M500 u384.
- Determinar la diversidad de las especies y los registros de los llamados de los murciélagos por equipos ultrasónicos.
- Relacionar las variables de las técnicas con la biología de cada especie.
- Construir una curva de acumulación basada en datos de presencia-ausencia con estimadores no paramétricos por técnica.

5. Marco teórico

5.1 Aspectos básicos de clima, el tiempo meteorológico, la variabilidad intraestacional o temporal: secas y lluvias

Es importante definir lo que se refiere el clima, el tiempo meteorológico y la variabilidad estacional. Al hablar de clima, se hace referencia a estados del sistema terrestres promediados durante 30 años o más, estas escalas respecto al tiempo corresponden a un cambio o variación a largo plazo del sistema atmósfera-hidrosfera-tierra (Torres-Puente, 2019).

De acuerdo con la AMS (sociedad meteorológica de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés), se define al tiempo meteorológico como el estado atmosférico actual que se relaciona principalmente con los efectos en la vida y las actividades humanas, refiriéndose a la temperatura, humedad, lluvia, nubosidad, visibilidad y viento (AMS, 2018), y es al cual se consulta cuando se necesita conocer el estado del día y los pronósticos temporales. No sólo se limita a analizar y describir dichos fenómenos, pues también existen otros cambios atmosféricos que pueden durar un mes y poco menos que una estación del año. A este se le conoce como variabilidad intraestacional y, corresponde a monzones o la Oscilación Madden-Julian (MJO en inglés) los cuales duran de tres a cinco meses (Torres-Puente, 2019) y son los que marcan la temporada de lluvias dentro de las zonas tropicales (Krishnamurti *et al.*, 2013), por lo que se la considera como una fluctuación a corto plazo dentro de un cambio climático de mayor duración (Houghton, 2002; Ferrelli, 2017).

En cuanto a variabilidad temporal conocidas se cuenta con, la sequía meteorológica que, de acuerdo con el Vocabulario Meteorológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), es “la ausencia prolongada o déficit notable de precipitación”. Con base en esta definición, la sequía meteorológica es entendida como un fenómeno meteorológico que se presenta cuando la lluvia o el escurrimiento natural en un periodo dado es menor al valor normal (Russell *et al.*, 1970; Hernández *et al.*, 2000); para el caso de Campeche, el valor menor al promedio (inicio de condición seca) sería menor a 945 mm anuales, una sequía moderada o severa se consideraría si la precipitación anual cae por

debajo de 788 mm o incluso 630 mm, respectivamente. También es importante mencionar que en la mayor parte de la península, incluida nuestra zona en estudio, se presentan dos periodos de sequía: la pre-estival o de primavera, que abarca un periodo de dos a cuatro meses (entre enero y abril), y la intra-estival o canícula que se presenta durante julio y agosto (Orellana *et al.*, 2009). Esta última se debe a perturbaciones en los vientos alisios. En verano se presenta un sobrecalentamiento del mar en la porción tropical del Pacífico oriental, por debajo de la zona intertropical de convergencia, lo cual debilita el gradiente barométrico y, por ende, disminuye la intensidad de los alisios. Lo anterior trae como consecuencia una disminución en la frecuencia y cantidad de lluvia, así como un patrón bimodal del régimen pluvial en los territorios que afecta (Magaña *et al.*, 1999).

En la temporada de lluvias, también conocida como estación húmeda, es el periodo del año durante el cual se concentra la mayor parte de la precipitación anual, asociado al desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), la llegada de ondas tropicales y al aporte de humedad desde el Golfo de México y el Caribe (Sánchez-Rivera *et al.*, 2021). En la Península de Yucatán, esta estación inicia generalmente a principios de junio y se extiende hasta finales de octubre o principios de noviembre, aunque la duración e intensidad presentan variaciones locales (Márdero *et al.*, 2012). Durante este tiempo, las lluvias son más frecuentes y persistentes, aumentando la humedad ambiental y el riesgo de eventos hidrometeorológicos como inundaciones o escurrimientos intensos. De manera similar a las sequías estacionales, la temporada de lluvias puede presentar fenómenos particulares como la canícula, un periodo de reducción temporal de las precipitaciones que ocurre generalmente entre julio y agosto en la región (Sánchez-Rivera *et al.*, 2021). La comprensión de la temporada de lluvias es fundamental para planificar actividades agrícolas, monitoreo ambiental y estudios ecológicos en ecosistemas tropicales.

En la península de Yucatán se distinguen tres temporadas climáticas, la temporada seca que va de marzo a mayo, la temporada de frentes fríos (nortes) que

va de noviembre a febrero y la temporada de lluvias que va de junio a octubre (Schmitter-Soto *et al.*, 2002).

5.2 Técnicas de captura

Existen dos métodos más comunes para la captura directa de murciélagos, las cuales son las trampas arpa, usadas específicamente para murciélagos (MacSwiney *et al.*, 2008) y las redes de niebla, utilizados tanto para murciélagos como para aves (Tuttle, 1974; Kunz y Kurta, 1988). Las trampas arpa consisten en un marco rígido con 2-4 corridas de hilos de pescar de 0,2 mm de grosor dispuestas verticalmente (Figura 1); aquellos individuos que llegan a chocar en estos hilos en el vuelo caen en una bolsa ubicada justo debajo del marco y permanecen dentro de esta (Abarca-Díaz, 2016). Las redes de niebla consisten en un tejido de hilos, ya sean de nylon y terileno (monofilamento) o de hilo trenzado, los cuales tienen por lo general una apertura de malla de 36 mm de forma romboidal y cuentan con cuatro a cinco tensores que sostienen una bolsa donde caerán y se enredarán los murciélagos que hayan impactado en ella (Wilson *et al.*, 1996); estas pueden tener una longitud de tres a 30 m y una altitud de 2.5 m. La colocación de estas puede ser con ayuda de postes de aluminio que se puedan fijar al suelo o con sogas atadas a ramas de árboles (Figura 2).

5.3 Bioacústica

La acústica se ocupa del diseño y uso de dispositivos que convierten energía sonora en señales eléctricas (como micrófonos) y viceversa (como altavoces). Dentro de esta disciplina, la ultrasonía estudia ondas acústicas con frecuencias mayores a 20 kHz, generadas y medidas principalmente con transductores piezoeléctricos. Estas ondas se utilizan en aplicaciones como sonares para navegación y exploración submarina, así como en estudios físicos e industriales para medir propiedades de los materiales (Pérez-Vega, 2017).

La bioacústica, por su parte, estudia cómo los animales se comunican mediante sonidos. Con avances tecnológicos desde mediados del siglo XX, se han desarrollado herramientas que permiten almacenar y analizar sonidos, facilitando

estudios como la ecolocalización en murciélagos. Estos animales emiten ultrasonidos que son inaudibles para los humanos superior a 20 kHz, que les permite orientarse y cazar, logrando una detección precisa de su entorno y presas. Este proceso que les permite ubicarse en el espacio, detectar, clasificar y localizar a sus presas con gran precisión (Schnitzler y Kalko, 2001). La combinación de acústica y bioacústica ha revolucionado disciplinas científicas y tecnológicas, como ofreciendo soluciones prácticas y conocimientos sobre el comportamiento animal (Tubaro, 1999).

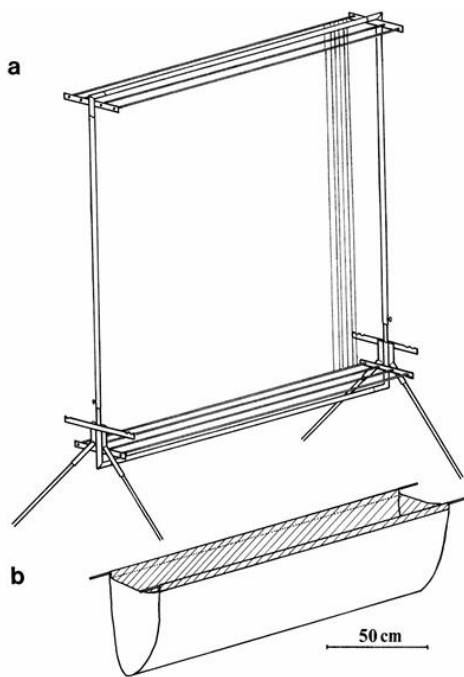


Figura 1. Esquema de una trampa arpa de cuatro corridas ensamblada (a) y la manga de captura (b), varios hilos verticales se omitieron para brindar claridad a la imagen. El área rayada de la manga indica solapas de plástico para prevenir que los murciélagos escapen (Francis, 1989).

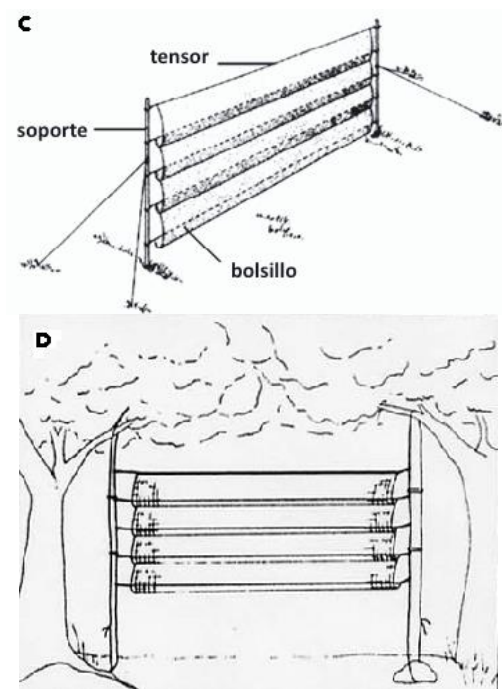


Figura 2. Esquema de las partes de una red de niebla (c) con sus postes/soportes (Rizo-Aguilar et al., 2015) o su colocación en un sendero en el bosque con cuerdas sostenidas de los árboles (d, Kunz y Kurta, 1988).

5.4 Breve introducción a la naturaleza del sonido

El sonido es un disturbio que se propaga en un medio, ya sea sólido, líquido o gaseoso, en forma de ondas mecánicas de presión. Dichas ondas, en física, son la transmisión de energía sin desplazamiento de materia, que genera una perturbación o agitación desplazándose en un ambiente determinado y que después de pasar, lo

deja en su estado inicial. Dentro de los tipos de onda, clasificadas en relación a la dirección de vibración de las partículas y de propagación de la onda, se encuentran las transversales (aquellas en que las partículas vibran perpendicularmente a la dirección en la que se propaga la onda, como la luz) y las longitudinales (donde las partículas vibran en la misma dirección en la que se propaga la onda). A este segundo tipo es al que se le atribuye el sonido, sus ondas por lo tanto son denominadas sonoras, las cuales necesitan un medio material y pueden considerarse como causadas por la compresión y rarefacción de las moléculas del medio (Tippens, 1996; Pérez-Vega, 2017).

Una onda (Figura 3) se compone del periodo (T), que es el tiempo que tarda la onda en realizar una oscilación completa medida en metros (m). La frecuencia (f), como el número de veces que vibra la onda en una unidad de tiempo, medida en Hercios (Hz). La longitud de onda (λ), entendida como la distancia entre dos crestas consecutivas medida en metros (m). Por último, la velocidad de propagación (v), que es la distancia que avanza una onda por unidad de tiempo en el espacio, también se le conoce como rapidez de propagación y se calcula dividiendo la longitud de onda (λ) sobre el periodo (T), por lo tanto, su unidad de medida es de metros sobre segundo (m/s) (Pérez-Vega, 2017).

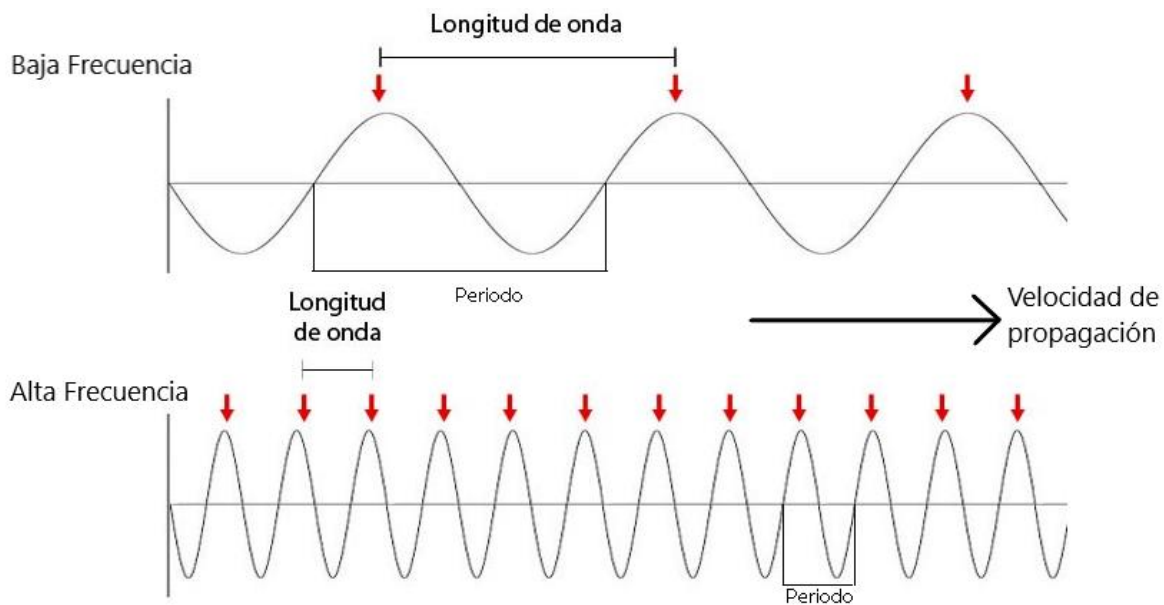


Figura 3. Propiedades de una onda. Se presentan dos frecuencias de ondas de baja y alta frecuencia, indicando la longitud de onda, frecuencia y velocidad de propagación. Superior: se ilustra una onda de baja frecuencia con mayor longitud de onda. Inferior: se muestra una onda de alta frecuencia con menor longitud de onda (ESERO España, 2024).

5.5 Física de la bioacústica

5.5.1 Estructuras que les permiten la audición y emisión de sonidos a los murciélagos

Los sonidos que emiten los murciélagos se han distinguido en:

- a) Chasquidos de la lengua, una forma primitiva (Brualla *et al.*, 2024) específicamente en el género *Rousettus*, que con este sistema emite señales de ecolocación vocal (Arévalo-Cortés y Tulcan-Flores, 2018).
- b) Emisión de vocalizaciones por la laringe (Figura 4a) y una oscilación inducida por flujo de cuerdas vocales (Figura 4b), un sistema especializado del suborden Yangochiroptera principalmente en especies con hábitos de alimentación insectívora del neotrópico (Arévalo-Cortés y Tulcan-Flores, 2018).
- c) Emisión de sonidos por los nostrilios, como la familia Phyllostomidae del neotrópico, y los ecolocalizadores del Viejo Mundo Hipposideridae y Rhinolophidae (Figura 4c; Zamora-Gutiérrez, 2017; Fenton *et al.*, 2012).
- d) No todos emiten ultrasonidos, como por ejemplo los murciélagos de la familia Pteropodidae (a excepción del género *Rousettus*), quienes se apoyan en señales visuales y olfativas para su orientación y forrajeo (Möhres y Kulzer, 1956; Armitage, 2010).

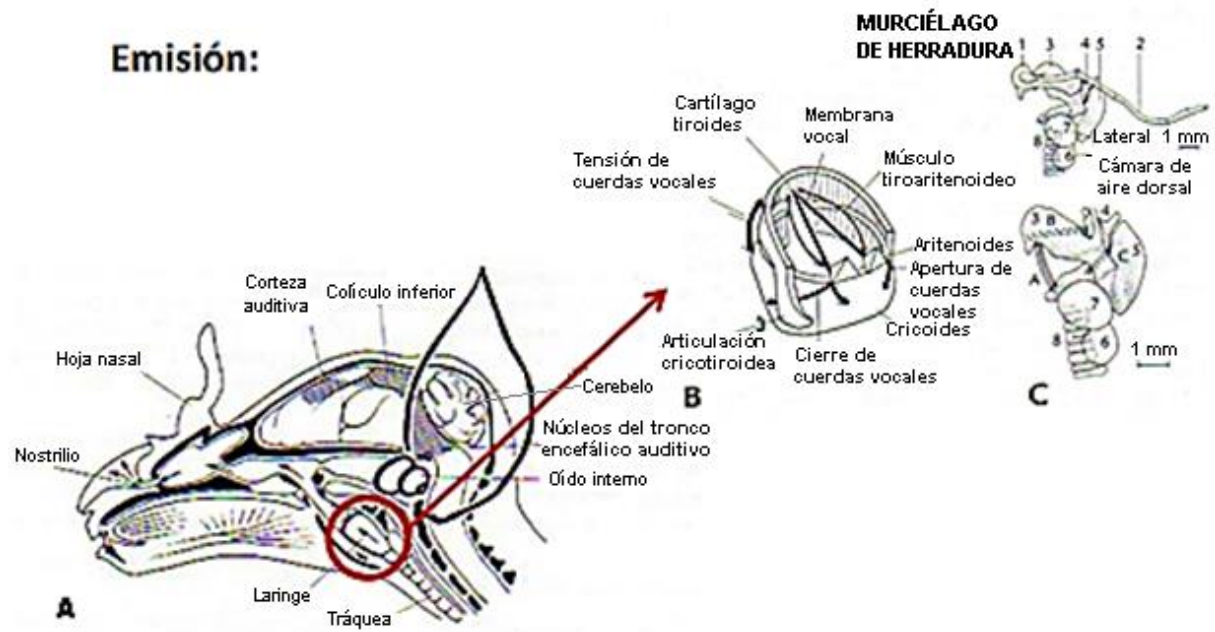


Figura 4. Sistemas de emisión de las frecuencias ultrasónicas: A) Esquema general de anatomía básica del murciélago, el círculo rojo señala cómo el sonido se genera en la laringe y se proyecta a través de la nariz o boca dependiendo del grupo. B) Estructuras laríngeas implicadas en la fonación: la membrana vocal, pliegues vocales y cartílagos. C) Cámaras de resonancia nasales del murciélago de herradura (Zamora-Gutiérrez, 2017).

Es en los murciélagos insectívoros con emisión de vocalizaciones por la laringe, que al emitir pulsos de sonido pueden obtener información sobre sus alrededores, resaltando una tensión en los pliegues y membranas muy finas (Figura 5a) la cual determina su frecuencia y oscilación, incrementando frecuencia de sonidos producidos gracias a la rotación del cartílago tiroideo que rodea la articulación cricotiroides (Figura 5b), controlada por el músculo cricotiroides (Elemans *et al.*, 2011).

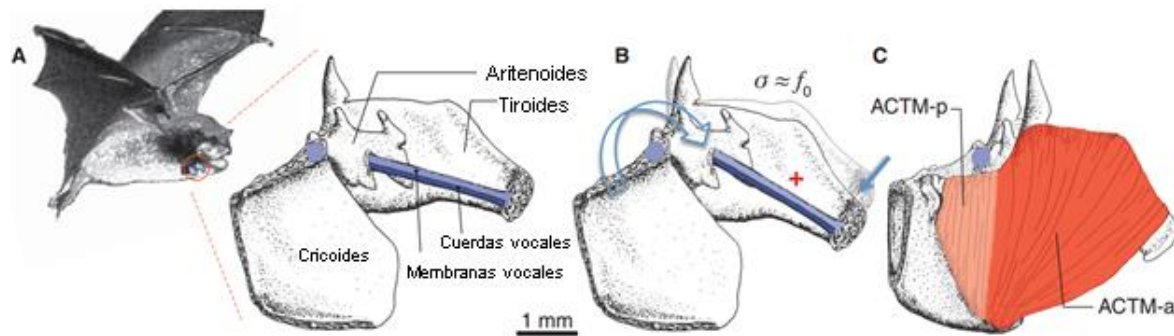


Figura 5. Modulación de la frecuencia sonora durante las llamadas de ecolocalización. (A) Mecanismo de control de frecuencia propuesto para las llamadas de ecolocalización, ilustrado en una representación esquemática de la laringe de un murciélago vespertilionido. Las oscilaciones autosostenidas inducidas por el flujo de las cuerdas vocales (azul oscuro) y las membranas vocales (azul claro) generan fluctuaciones de presión ultrasónica. Su tensión (σ) determina la frecuencia fundamental (f_0) de las oscilaciones autosostenidas. (B) La rotación (flechas azules) del cartílago tiroides alrededor de la articulación cricotiroides (círculo azul) provoca el estiramiento y la aducción de las cuerdas vocales y las membranas, mientras que el cartílago aritenoides permanece estacionario. Esta rotación aumenta la longitud y la tensión de las cuerdas vocales y las membranas (signo más rojo) y, por lo tanto, aumenta la frecuencia fundamental del sonido producido. (C) El músculo cricotiroides anterior (ACTM) controla la rotación cricotiroides y consta de una parte anterior (ACTM-a) y una posterior (ACTM-p). La relajación del ACTM-a provoca una disminución de f_0 durante la fonación (Elemans *et al.*, 2011).

El sistema de ecolocalización, así como cuenta con un sistema emisor de sonidos de alta frecuencia, para soportar dichas frecuencias, también cuenta con un receptor, el oído, el cual capta los ecos y son procesados por el cerebro, que analiza las diferencias espectrales para construir una imagen tridimensional del entorno (Stoffberg, 2007). Los murciélagos presentan un músculo especializado en el oído medio que se contrae durante la emisión de pulsos ultrasónicos, evitando daños en los huesecillos auditivos. Durante este proceso, el músculo del oído medio se relaja entre 2 y 8 milisegundos después de la emisión del pulso, lo que permite la percepción del eco reflejado. En el oído interno, la cóclea alberga las células ciliadas, encargadas de transformar las vibraciones sonoras en señales eléctricas que el cerebro interpreta para construir la imagen acústica del entorno (Figura 6). La morfología y el grado de enrollamiento de la cóclea determinan la sensibilidad de cada especie a diferentes rangos de frecuencia, constituyendo un componente clave en la precisión de la ecolocalización (Hernández-Díaz *et al.*, 2025).

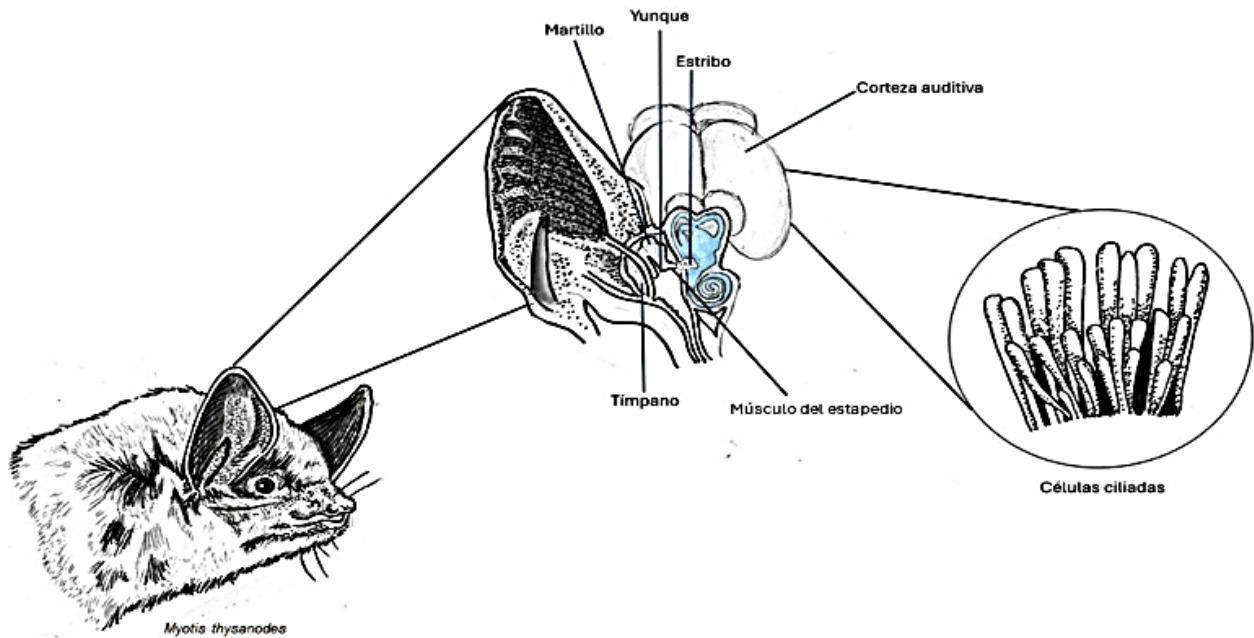


Figura 6. Recepción de ecos en los oídos de los murciélagos. Ilustración: Fridali García-Islas (Hernández-Díaz *et al.*, 2025).

5.5.2 La física de los sonidos ultrasónicos de los murciélagos

Los sonidos ultrasónicos que emiten los murciélagos tienen ciertas propiedades que los hacen propicios para ubicar objetos con detalle, pero al mismo tiempo están sujetos a ciertas complicaciones dependiendo de las condiciones ambientales y del tipo de sonido emitido (Schnitzler *et al.*, 2003).

El ultrasonido se destaca por tener una frecuencia alta (ciclos por segundo o Hertzios, Hz), usualmente superior a los 20 kilohertzios (kHz). Por lo general, las frecuencias ultrasónicas usadas por los murciélagos tienen una intensidad que oscila entre 25 kHz y 150 kHz. Esta se mide respecto a la amplitud de la onda emitida (decibelios o dB) y es una medida relativa que se compara usualmente con el umbral auditivo de los humanos (Figura 7). Sus pulsos ultrasónicos pueden llegar a medir más de 100 dB, en comparación con un trueno que perfectamente alcanza los 110 dB (Kunz y Parson, 2009).

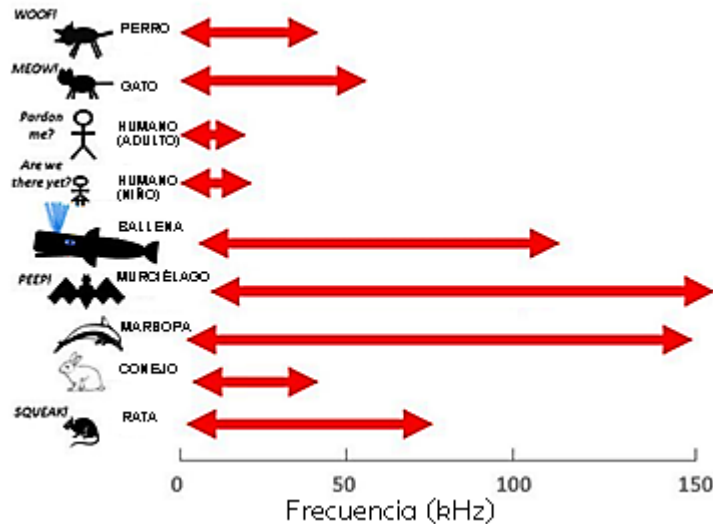


Figura 7. Representación de los rangos de frecuencia acústica (en kHz) que pueden emitir o detectar diferentes especies animales. Los rangos varían según la especie y reflejan su capacidad auditiva y de vocalización adaptada a sus necesidades biológicas (Zamora-Gutiérrez, 2017).

5.5.3. La relación entre frecuencia y longitud de onda, clave para entender cómo los murciélagos detectan objetos

Una mayor frecuencia produce una menor longitud de onda, lo que permite a los murciélagos localizar objetos más pequeños mediante el eco que generan al reflejar las ondas sonoras emitidas (Figura 8). Por ejemplo, un murciélago que emite sonidos a 30 kHz, con una longitud de onda de 0.01 m, puede identificar objetos con diámetros mayores a 0.003 m, lo que les facilita capturar presas diminutas, como insectos (Estrada-Villegas, 2018).

Sin embargo, el uso de sonidos de alta frecuencia tiene una limitación significativa: la atenuación. Los sonidos de mayor frecuencia pierden intensidad con mayor rapidez al propagarse por el espacio. Este fenómeno se agrava en ambientes húmedos, ya que las partículas de agua suspendidas en el aire incrementan aún más la absorción y dispersión de las ondas sonoras. Por lo tanto, aunque los sonidos ultrasónicos son ideales para detectar objetos pequeños, presentan restricciones en términos de alcance efectivo en determinadas condiciones ambientales (Neuweiler, 1984).

El murciélago puede calcular la velocidad de la presa por los cambios de frecuencia del eco recibido respecto a la frecuencia del sonido emitido. El eco también contiene información sobre tamaño, textura y ubicación de la presa; el murciélago puede distinguir que los ecos más intensos provienen de insectos de mayor tamaño con mayor área alar y determinar su ubicación respecto a la diferencia en la potencia del eco al entrar por los dos oídos (Schnitzler y Kalko, 2001). Además, los murciélagos insectívoros pueden comunicarse entre ellos, distinguir las llamadas de otros individuos de su misma especie de las de otras especies que comparten el mismo espacio y “espiar” las llamadas de ecolocación de otros para robar alimento (Fenton, 2003a; Dorado-Correa *et al.*, 2013).

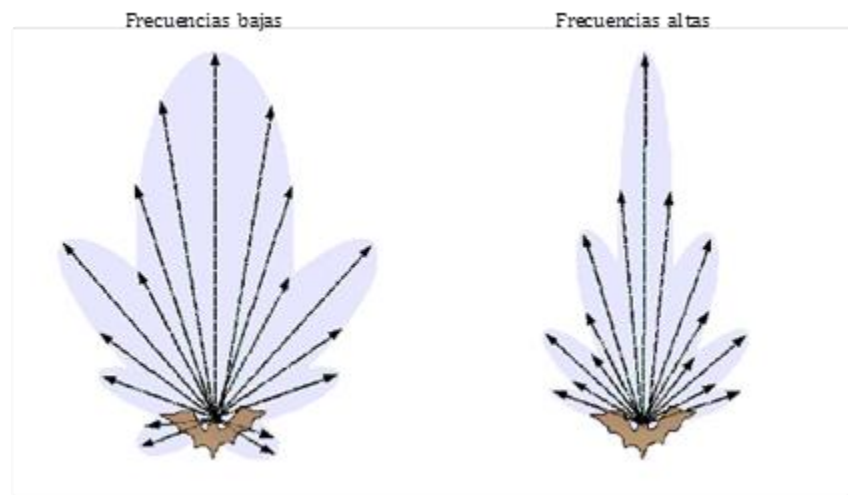


Figura 8. Esquema de la forma en que viaja el sonido de acuerdo a la frecuencia. En frecuencias bajas el sonido es más difuso, no refleja en objetos pequeños y viaja más lejos, mientras que en frecuencias altas el sonido es más centrado, se refleja en objetos pequeños y no viaja muy lejos (Aytekin *et al.* 2007).

5.5.4 Representación visual de los sonidos de los murciélagos: espectrograma, el espectro de potencia y el oscilograma

El sonido emitido por los murciélagos puede analizarse y representarse visualmente mediante herramientas como el espectrograma, que es el espectro de potencia y el oscilograma. Estas herramientas permiten detallar al menos ocho características del sonido útiles para diferenciar especies.

5.5.4.1 El espectrograma

Es una representación gráfica que muestra el tiempo en el eje horizontal (x) y la frecuencia en el eje vertical (y), generalmente en milisegundos y kilohertz, respectivamente (Fenton, 2004). Este recurso visual facilita el análisis de cómo varía la frecuencia del sonido en el tiempo y permite identificar diferentes tipos de llamadas de murciélagos (Figura 9), como las de frecuencia constante (CF), frecuencia cuasi-constante (QCF) y frecuencia modulada (FM). Además, permite calcular parámetros como el ancho de banda (diferencia entre la frecuencia inicial y final), la frecuencia de inicio y la frecuencia final de la llamada, así como otros atributos relacionados a las frecuencias representadas, tales como el ancho de banda, espectro de poder, forma del pulso y pico de la frecuencia; y otras características visuales dentro del espectrograma como los armónicos, dirección de modulación, pulsos (duración, estructura, intervalos) y número de frecuencias (Martínez-Medina *et al.*, 2021). Sin embargo, la cantidad de información extraída depende del método de análisis utilizado, como la transformada rápida de Fourier o análisis de cruces cero, y de la técnica auditiva aplicada, como heterodino, división de frecuencia o expansión de tiempo (Estrada-Villegas *et al.*, 2018).

5.5.4.2 El espectro de potencia

Representa gráficamente la frecuencia en unidades kilohertz (kHz) y la intensidad en decibelios (dB). Este método ayuda a identificar la frecuencia con mayor intensidad, conocida como frecuencia pico (Fenton, 2004).

5.5.4.3 El oscilograma

En la representación gráfica muestra la amplitud de las ondas sonoras (en el eje vertical) en función del tiempo (en el eje horizontal). En este tipo de gráfica se permite calcular la duración de las llamadas o pulsos y los intervalos entre ellas.

Con estas herramientas, se pueden describir de manera precisa los sonidos emitidos por distintas especies de murciélagos. Estas descripciones han sido clave

para construir bibliotecas acústicas que documentan las llamadas de ecolocación de numerosas especies, especialmente de aquellas que cazan insectos en vuelo (Jung *et al.*, 2007).

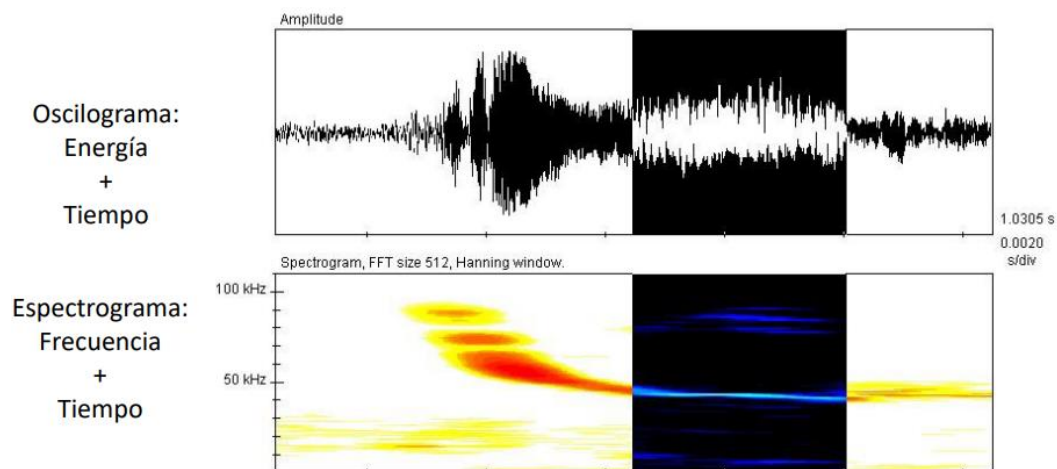


Figura 9. Representación visual del sonido emitido por murciélagos. En la parte superior, el oscilograma muestra la variación de energía en el tiempo, útil para medir la amplitud y la duración de las señales. En la parte inferior, el espectrograma presenta la distribución de frecuencias en función del tiempo, permitiendo identificar patrones acústicos y clasificar las llamadas según su tipo (Zamora-Gutiérrez 2017).

5.5.5 Las características físicas del sonido: intensidad, tono y timbre

Cualquier *sonido* puede describirse mediante tres características perceptuales: *intensidad*, *tono* (Figura 10) y *timbre* (Figura 11). Estas características corresponden a las tres magnitudes físicas: amplitud, frecuencia y contenido armónico o forma de onda.

El *ruido*, puede definirse como un sonido indeseable o ajeno a los sonidos de interés, es un sonido complejo en que se mezclan diferentes frecuencias o notas sin ninguna relación armónica, mientras que los sonidos de una sola frecuencia se designan como *tonos puros* (Pérez-Vega, 2017).

La *intensidad del sonido* está asociada con el nivel de presión en el medio acústico y suele expresarse en decibeles (dB). Sin embargo, el oído humano no percibe por igual las variaciones de presión a diferentes frecuencias. Las ondas de

mayor amplitud indican sonidos más fuertes, mientras que las ondas de menor amplitud representan sonidos más suaves. En esas condiciones se habla de *volumen* o *sonoridad*. El nivel de volumen, expresado en *fonos*, es numéricamente igual al nivel de presión sonora en dB, de un tono de referencia de 1000 Hz, que a juicio de un oyente promedio parece de la misma intensidad que el sonido que se evalúa (Hunt, 1954).

El *tono*, por lo general corresponde a una señal senoidal pura, es decir, de frecuencia única y se utiliza, tanto referido a señales sonoras, como a señales de cualquier otra frecuencia, bien sean éstas de naturaleza acústica o eléctrica. Diferentes frecuencias son mostradas, desde tonos graves (ondas largas y espaciadas) hasta tonos agudos (ondas cortas y juntas; Pérez-Vega, 2017).

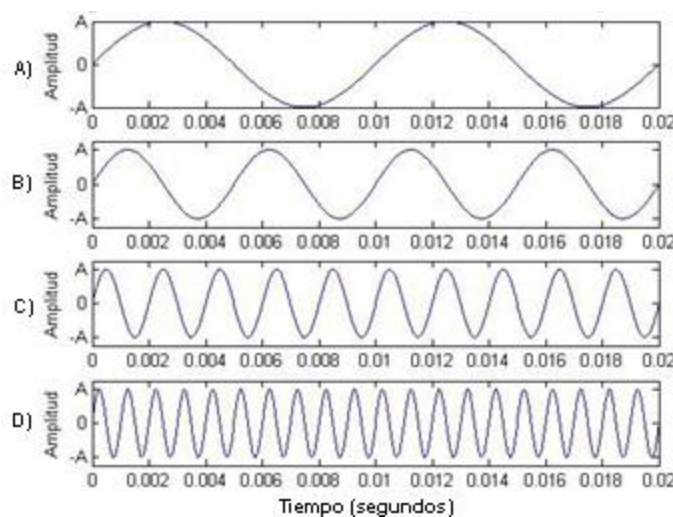


Figura 10. Representación de ondas sonoras de: A) 100 Hz, B) 200 Hz, C) 500 Hz y D) 1 kHz, mostrando variaciones en frecuencia (tono) y amplitud (intensidad; Medina, 2013).

Finalmente, el *timbre* (Figura 11) es la característica del sonido que permite al oyente identificar las características de la fuente, por ejemplo la voz de una cierta persona o de un determinado instrumento musical. Tiene que ver con la frecuencia fundamental de la fuente, pero también con los armónicos de ésta (Pérez-Vega, 2017), los cuales son un tipo de pulso que es múltiplo de la señal principal (Lisón, 2011).

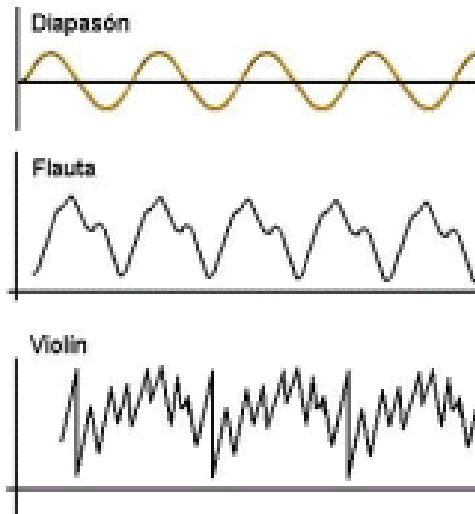


Figura 11. Ejemplo de las diferencias de timbre en señales acústicas emitidas por un diapasón, una flauta y un violín (Mosquera-Moreno, 2013).

5.5.6 Velocidad de propagación del sonido en el aire

Las ondas sonoras, pueden propagarse en el gas atmosférico (aire), donde las moléculas oscilan, moviéndose hacia adelante y hacia atrás en la dirección del movimiento ondulatorio. En promedio, no hay movimiento neto de las partículas del aire, de modo que no debe pensarse que el sonido produce viento, ya que el aire se comprime y rarefica alternativamente. Así, lo que se propaga es el ciclo de compresión-rarefacción (Figura 12).

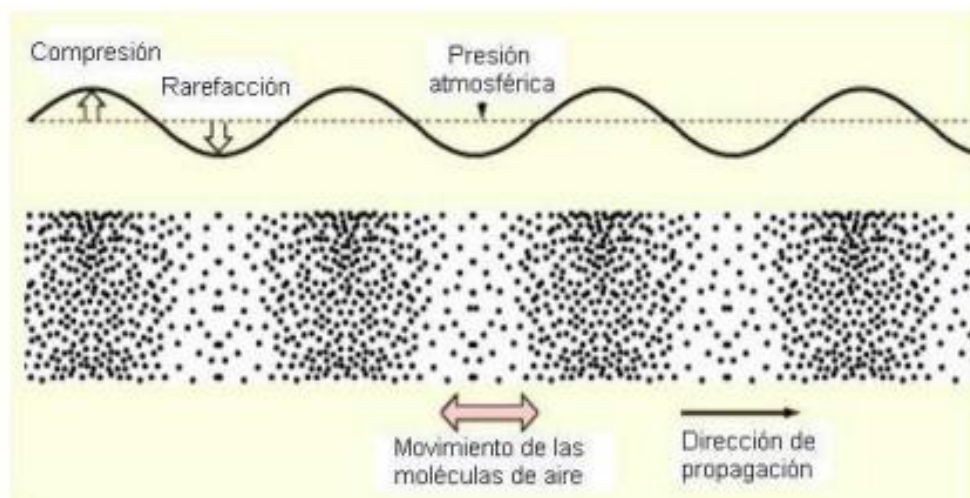


Figura 12. Representación de sonido (onda sonora; Pérez-Vega, 2017).

La velocidad del sonido en un medio material depende principalmente de la densidad y la temperatura del medio, mientras que en el aire no se ve afectada significativamente por la presión atmosférica. Sin embargo, la humedad relativa tiene un efecto menor, generalmente inferior al 5%, sobre la velocidad del sonido al modificar la densidad del aire. En aire seco, la velocidad del sonido puede ser ligeramente mayor debido a la menor presencia de moléculas más ligeras. En general, el sonido viaja más rápido en líquidos y sólidos que en gases. En todos estos estados, la velocidad es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad y proporcional a la raíz cuadrada de la elasticidad. En el vacío, el sonido no puede propagarse, ya que, al ser una onda mecánica, necesita partículas materiales para viajar (Tippens, 1996; Pérez-Vega 2017).

5.5.7 Clasificación del sonido emitido por los murciélagos de acuerdo a su función

El sonido emitido por los murciélagos se clasifica según el tipo de señal y su función, como ubicación de presas o alimento, orientación espacial y comunicación (Figura 13). Los murciélagos utilizan diferentes señales acústicas para obtener información sobre el entorno y detectar características de presas potenciales, como su posición, velocidad o identidad. Estas señales varían principalmente en amplitud, duración, frecuencia y ancho de banda, adaptándose a la tarea que deben realizar (Estrada-Villegas *et al.*, 2018).



Figura 13. Clasificación del sonido emitido por los murciélagos de acuerdo a su función (Zamora-Gutiérrez, 2017).

Dicha clasificación es más perceptible a la hora de grabar murciélagos insectívoros, los cuales hasta el momento tienen tres tipos de fases distinguibles al momento de visualizar por espectrogramas (Figura 14): la primera es la fase de búsqueda, aquellos sonidos con un patrón regular emitidos durante la búsqueda de alimento o por desplazamiento de un sitio a otro; la segunda es la de aproximación, cuando el eco emitido informa sobre una posible presa y el tiempo entre una llamada a la siguiente, se acorta; por último, la tercera, la fase terminal o trenes de alimentación, que es el momento en el que el murciélago está próximo a capturar su presa, por lo tanto, la frecuencia y el intervalo de pulso de las llamadas disminuyen (Kalko 1995; Kalko y Schnitzler 1998; Estrada-Villegas *et al.*, 2018)

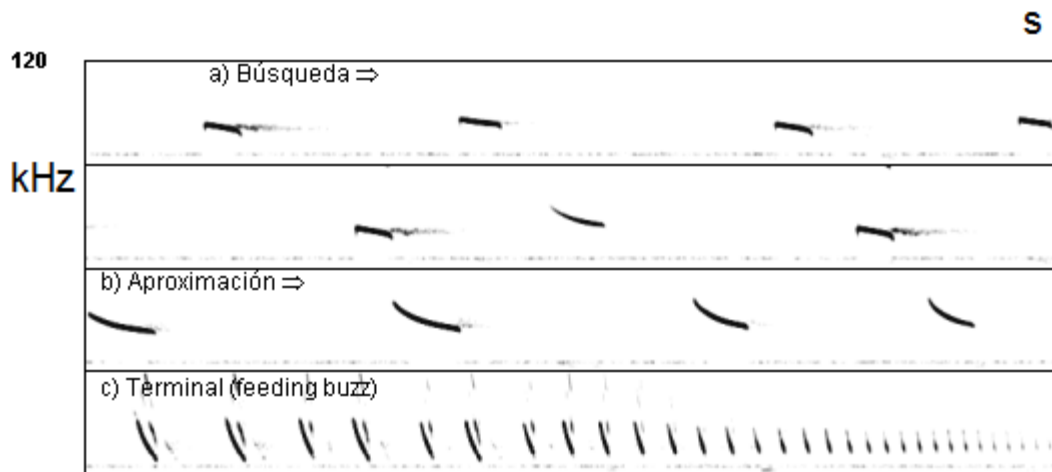


Figura 14. Espectrograma típico de un murciélago de la familia Molossidae y sus tres fases: a) búsqueda, b) aproximación y c) terminal (Barboza *et al.*, 2006).

Según su estructura, las señales pueden clasificarse en tres tipos básicos (Tabla 2, Figura 15; Brigham *et al.*, 2004): frecuencia constante (CF), frecuencia cuasi-constante (QCF) y frecuencia modulada (FM). Cada una posee propiedades funcionales distintas y puede combinarse para cumplir con diferentes objetivos ecológicos.

Tabla 2. Clasificación del sonido de acuerdo al tipo de señal emitida por los murciélagos.

Frecuencia constante (CF)	Frecuencia modulada (FM)	Frecuencia cuasi-constante (QCF)
Son llamadas largas de 50 ms o más, sobre una frecuencia constante; la mayor energía se concentra en una pequeña porción de la frecuencia de banda estrecha. Estas llamadas son útiles para la detección de presas y a clasificar aquellas que aletean en un ambiente de vegetación densa. Aunque no da mucha información sobre localización de las presas.	Son llamadas de banda ancha que empiezan con frecuencia alta (ej., 70 kHz), con descenso rápido en poco tiempo (1-5 ms), alcanzando una frecuencia menor (25 kHz). Codifican información acerca de la localización (detección) y detalles superficiales de la presa (clasificación) así como de diferentes tipos de vegetación, permitiendo el uso de las plantas como marcas en la orientación espacial; no son adecuadas para detectar blancos de tamaño reducido.	Es el punto intermedio entre los dos tipos anteriores; son llamadas de frecuencia modulada de banda estrecha, funcionalmente diferentes de los pulsos de CF, con tasa de cambios menores a 1 kHz/ms. Son adecuadas para la detección de ecos débiles de pequeños insectos; cuanto más largas en tiempo estas señales de ecolocalización, mejor codifican blancos en movimiento, llevando características modulaciones en la amplitud del eco y la frecuencia (clasificación).

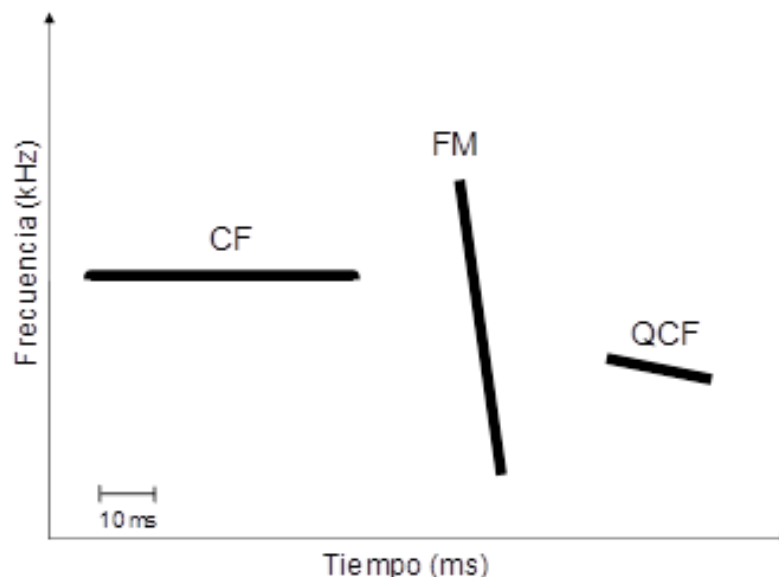


Figura 15. Representación gráfica de los tres tipos básicos de señales que emiten los murciélagos: frecuencia constante (CF), frecuencia modulada (FM) y frecuencia cuasi-constante (QCF; Estrada-Villegas *et al.*, 2018).

5.5.8 Herramientas de bioacústica en la investigación de murciélagos

Los detectores ultrasónicos son dispositivos electrónicos diseñados para captar y convertir las señales ultrasónicas emitidas por los murciélagos, facilitando su detección con un alto grado de precisión. Existen diversos tipos de detectores, cada uno con características específicas que determinan su desempeño, como el tipo de micrófono, rango de detección, direccionalidad y ancho de banda (Estrada-Villegas *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2021).

El micrófono es un componente clave en el detector, encargado de convertir sonidos por encima de los 15 kHz en señales audibles. Para aplicaciones bioacústicas, los micrófonos más comunes son los piezoeléctricos, de capacitancia, Electret y los que incluyen MEMS (Kunz y Parsons, 2009). Los micrófonos piezoeléctricos están fabricados con materiales como cuarzo, generan señales eléctricas al experimentar estrés mecánico, son económicos, duraderos y eficientes, pero responden solo al ancho de banda estrecho.

Los micrófonos de capacitancia consisten en una placa metálica y una membrana de plástico metalizado que forman un condensador. Son unidireccionales, sensibles y robustos, aunque su funcionamiento puede verse afectado por la humedad y generar ruido debido al voltaje necesario para polarizar la membrana (Kunz y Parsons, 2009).

Los micrófonos Electret son similares a los de capacitancia, pero no requieren voltaje para polarización, lo que reduce el ruido. Son resistentes a cambios de humedad, temperatura y viento, y son omnidireccionales, es decir, sensibles al sonido desde cualquier dirección (Kunz y Parsons, 2009).

Los detectores que traen MEMS (Micro-Electro-Mechanical System), son micrófonos miniatura similares a los chip de computadora e incluyen un pequeño diafragma y una placa fija que forma el capacitor que al golpear las ondas el diafragma, cambian la capacitancia y generan una señal eléctrica proporcional al sonido. Son pequeños, ligeros y resistentes a la humedad, temperatura y vibraciones, con respuestas de frecuencia más consistentes entre los 40 y 60 kHz, pero con sensibilidad más baja a frecuencias extremadamente altas (Russ, 2012).

El rango de detección se refiere al área cubierta por el detector. Mientras mayor sea el rango, aumentará la cantidad de señales registradas, pero este depende de varios factores, como el tipo y orientación de las llamadas de los murciélagos, el hábitat, las condiciones atmosféricas y la sensibilidad del micrófono. Las llamadas de alta intensidad pueden detectarse a distancias superiores a 10 m, mientras que las de baja intensidad son captadas a menos de 1 m. En ambientes densos en vegetación, los murciélagos suelen usar llamadas moduladas en frecuencia, las cuales tienen un rango de detección más corto (Brigham *et al.*, 2004).

5.5.9 Estrategias de muestreo acústico

5.5.9.1 Caja de vuelo (*flight cage*)

Los murciélagos capturados con redes de niebla pueden ser liberados dentro de una caja de vuelo diseñada para registrar sus emisiones en condiciones controladas. Este método es útil para obtener grabaciones de referencia que apoyen la construcción de catálogos acústicos y el entrenamiento de software de identificación (Obrist, 1995; Jung *et al.*, 2007). La caja suele elaborarse con malla y tubos de PVC, colocándose en un entorno que simule el hábitat natural de forrajeo. Las grabaciones se realizan al liberar al murciélago frente al detector. Entre sus ventajas destacan la posibilidad de asociar con certeza las grabaciones a individuos que pueden destinarse a colecciones científicas, así como obtener varias emisiones del mismo ejemplar. Sin embargo, como los parámetros de las llamadas varían con el espacio de vuelo, las señales registradas en este tipo de recintos suelen asemejarse a las de ambientes cerrados, lo que limita su aplicación en especies que vuelan principalmente en áreas abiertas (Rivera-Parra y Burneo, 2013; Martínez-Medina *et al.*, 2021).

5.5.9.2 A la salida de refugios

Esta estrategia consiste en colocar detectores en las entradas de cuevas, cavernas, casas, árboles o puentes para registrar las llamadas durante las salidas masivas. Este enfoque permite obtener en poco tiempo un gran volumen de datos, por lo que resulta apropiado para inventarios rápidos y para registrar comportamientos particulares (Britzke *et al.*, 2013). Para optimizarlo, es recomendable conocer

previamente las especies presentes, así como los horarios y puntos de salida, con el fin de ubicar el equipo en el momento adecuado. Su principal limitante es que, cuando emergen varias especies al mismo tiempo, puede complicarse la identificación de los registros (Estrada-Villegas *et al.*, 2018).

5.5.9.3 Transectos móviles (detección activa)

En este método, el observador recorre un área a pie, en bicicleta o en vehículo con un detector portátil, lo que permite abarcar extensiones amplias y registrar variación espacial de la actividad de los murciélagos. No obstante, puede introducir sesgos debido al ruido ambiental o a la velocidad de desplazamiento (Larson y Hayes, 2000).

5.5.9.4 Puntos fijos de grabación (detección pasiva)

Consiste en instalar grabadoras autónomas en sitios estratégicos, como bordes de cuerpos de agua, senderos, claros o zonas agrícolas. Estos equipos pueden permanecer activos durante varias noches, lo que los convierte en una herramienta idónea para monitoreos de largo plazo sin necesidad de presencia constante en el campo (Hayes, 1997).

5.5.9.5 Sobre cuerpos de agua

Los estanques, ríos y lagunas son sitios de alta actividad, ya que los murciélagos acuden a beber y cazar insectos. Colocar detectores cerca de estos ambientes o incluso sobre plataformas flotantes aumenta considerablemente la probabilidad de registrar diferentes especies (Parsons y Szewczak, 2009).

5.5.9.6 Línea de vuelo (Zipline flight)

Esta técnica busca obtener grabaciones en condiciones abiertas y con mínima interferencia de otros individuos. Se utiliza un sistema de hilos y anillos que permite liberar al murciélago y guiarlo a lo largo de una trayectoria controlada, con el detector ubicado al final del recorrido (Rivera-Parra y Burneo, 2013). Entre sus ventajas se incluyen la posibilidad de registrar vuelos estables, recapturar al mismo individuo y destinarlo a una colección científica. Sin embargo, algunas especies, en particular de las familias Molossidae y Vespertilionidae, modifican sus emisiones

bajo estas condiciones, lo que puede limitar la calidad de los datos (Martínez-Medina *et al.*, 2021).

5.5.9.7 Grabación de murciélagos en vuelo libre

Es posible registrar a los murciélagos directamente en el ambiente, activando los detectores por lapsos prolongados en sitios clave como bordes de vegetación, cuerpos de agua o espacios abiertos. Esta estrategia ofrece un panorama real de la actividad acústica de las especies presentes (Rivera-Parra y Burneo, 2013).

5.5.9.8 Liberación en mano (*Hand-release*)

Es una de las técnicas más prácticas, flexibles y adaptables según las condiciones del sitio de muestreo, para obtener registros acústicos de referencia. Para ello se recomienda liberar al murciélago desde un punto elevado, con un espacio abierto al frente y una zona boscosa detrás, por ejemplo: mientras una persona se encarga de la liberación desde un punto alto, otra se encargará de sostener el detector acústico, situándose en la parte baja. También puede realizarse en claros de bosque, ubicando al liberador en el centro y a los detectores frente a él. Se recomienda que al momento de liberar al individuo sea en el hábitat que utiliza la especie para obtener un registro cercano a donde por naturaleza el espécimen se desenvuelve, o bien, si se busca documentar variaciones según el entorno, el procedimiento puede repetirse en diferentes hábitats. También es posible grabar en solitario, eligiendo un árbol alto en un borde o claro, dejando que el murciélago trepe y preparándose para registrar las emisiones al iniciar el vuelo. Entre sus limitaciones se encuentran la posible interferencia de otros individuos volando en direcciones opuestas y la dificultad de obtener grabaciones claras en momentos de alta actividad (Estada-Villegas *et al.*, 2018).

6. Materiales y métodos

6.1 Área de estudio

6.1.1 Ubicación del sitio de muestreo

El trabajo de campo se realizó dentro de la ex hacienda “El Casco”, perteneciente al Rancho “Las Potrankas” ubicado a 3.70 km al sureste del poblado de Chiná, Campeche, con coordenadas de referencia de 19°43'37.05" Latitud Norte (LN), - 90°29'24.87" de Longitud Oeste (LO, Figura 16). Este sitio cuenta con áreas de vegetación secundaria y zonas mecanizadas especialmente dedicada a la crianza de ganado ovino, bovino y equino, así como una construcción antigua a la que se le debe el nombre “El Casco”. El área de estudio se encuentra en el estado de Campeche, mismo que cuenta con una superficie de 57,507 km² y colinda al norte con el Golfo de México y el estado de Yucatán, al este con el estado de Quintana Roo y Belice, al sur con el estado de Tabasco y Guatemala y al oeste con el estado de Tabasco y el Golfo de México (INEGI, 2012).

El espacio considerado fue de 17.8 hectáreas de acuerdo las estaciones de muestreo con las coordenadas de referencia: 19°43'34.33"N-90°29'19.80"O, 19°43'39.39"N-90°29'49.00"O, 19°43'37.68"N-90°29'29.97"O (Figura 16).

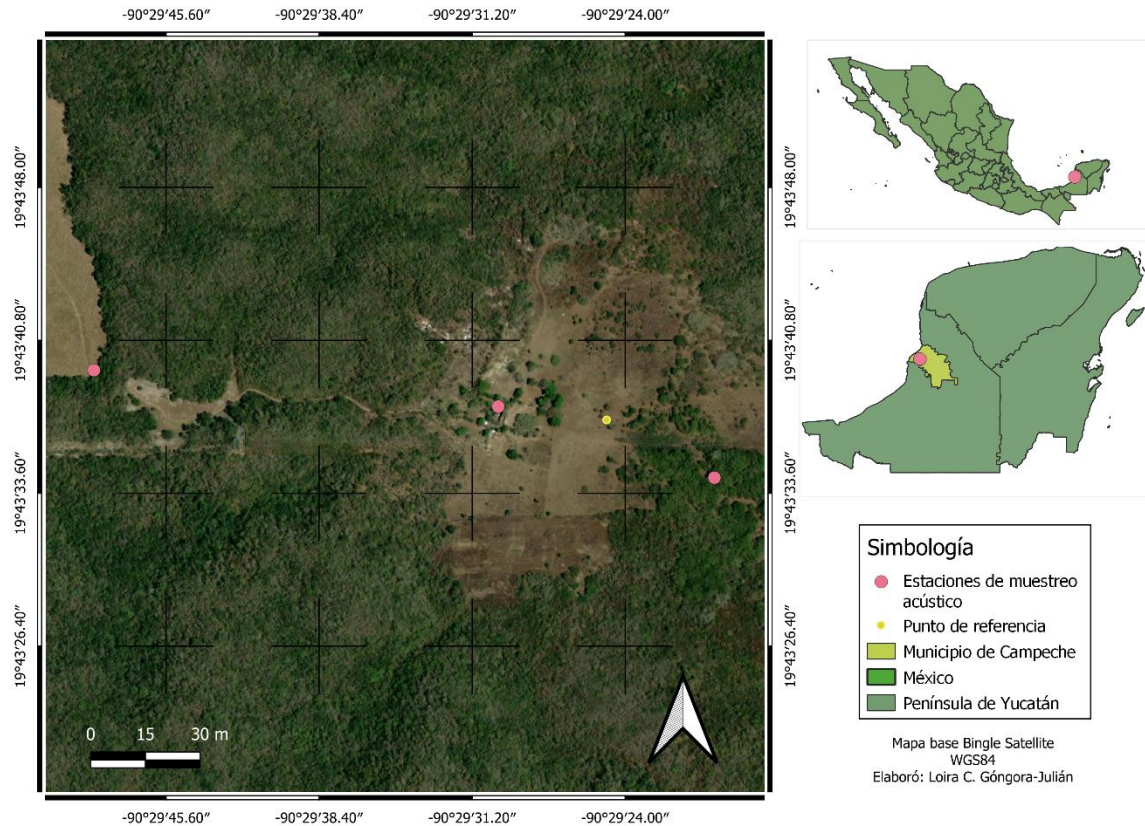


Figura 16. Ubicación del punto de referencia y las estaciones de muestreo en el Casco, rancho Las Potrankas, Chiná, Campeche.

6. 2 Aspectos fisiográficos

6. 2. 1 Relieve

El paisaje geomorfológico del suroeste de la ciudad de San Francisco de Campeche, donde se localiza el área de estudio, es un sistema de topoformas de montaña, la cual es un pliegue bloque con cimas en cúpulas, con un escarpe tectónico-denudativo identificable, diferenciando su altura entre el nivel de base general y una altura máxima de 100 m, ocupa 4% de la superficie (Palacio-Aponte *et al.*, 2010). Dentro del área también se encuentran los bajos inundables, que son los valles cerrados de terreno plano con deficiente drenaje, refiriéndose a depresiones del terreno inundadas temporal o permanentemente, más o menos amplias y arboladas (Barrera *et al.*, 1976; Duch, 1989). Su formación geomorfológica, conocida como polje, se relaciona con el paisaje kárstico (White, 1988).

6.2.2 Suelo

Dos son los tipos de suelo que se presentan en el Rancho Las Potrankas; los leptosoles se caracterizan por ser suelos que están limitados en la profundidad por una roca dura y continua, o por material muy calcáreo. Estos suelos tienen menos de 25 cm de profundidad efectiva o bien presentan alta pedregosidad en el perfil que puede llegar hasta 75 cm de profundidad (Palma-López et al., 2017). Los gleysoles son suelos con gran cantidad de moteados grises y azules por efecto de las aguas intensas a la que se encuentran sometidos (Negrín *et al.*, 2010).

6.2.3 Hídrico

El sitio está ubicado en las cercanías de la cuenca hidrológica de Chiná, se encuentra al sur de la capital San Francisco de Campeche, a un costado de la carretera federal Campeche-Mérida (19°47'11.72" N y 90°30'22.38" O) posee un total de 404 ha (INEGI, 2013).

6.2.4 Clima

El poblado de Chiná se encuentra en la subregión Poniente de Campeche, en el que se tiene una precipitación pluvial de 110-1200 mm. Posee corrientes que son temporales, pues sólo llevan agua en tiempo de lluvias (Rebolledo, 2010). Se presenta el clima Aw1 (i') gw (clima tropical con lluvias en verano, invierno seco, cálido subhúmedo), el cual es uno de los más secos de los cálidos subhúmedos con un régimen de lluvias en verano (INEGI, 2012).

La región de la península se caracteriza por la presencia de nortes (Orellana-Lanza *et al.*, 2010), lo que le hace tener tres distintas variabilidades estacionales: el tiempo de secas de marzo a mayo se caracteriza por las temperaturas elevadas y precipitación escasa; las lluvias en verano presentes de junio a octubre con altos valores de precipitación y una ligera disminución de temperatura; y los nortes, que ocurren de noviembre a febrero con una disminución de temperatura considerable y valores promedio de precipitación (Herrera-Silveira, 1994).

6.2.5. Datos climatológicos del 2024

La región corresponde a climas semisecos o subsecos y cálidos, con temperatura media anual superior a 20° C, precipitación anual media entre (500) 700 y 1,200 mm y temperatura seca larga y marcada (Miranda y Hernández-X, 1963).

En 2024 la temperatura media anual fue de 28.3°C y la precipitación media anual de 1 348.8 mm alcanzó un mínimo en abril de 4.6 mm y un máximo en junio con 440.4 mm (Figura 17; CONAGUA, 2024).

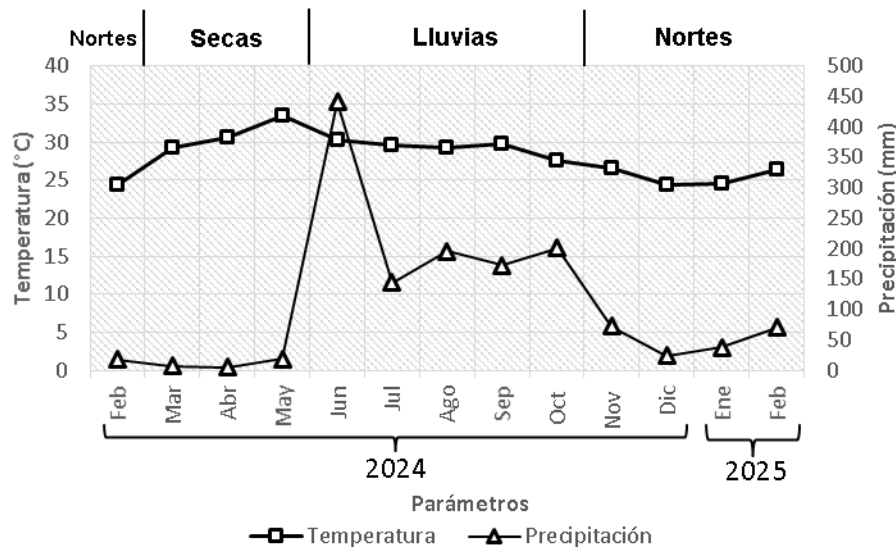


Figura 17. Climograma con las medias mensuales de la temperatura y precipitación desde febrero de 2024 a febrero de 2025. Datos registrados por la estación meteorológica de Campeche y obtenidos de la CONAGUA (2024, 2025).

6.3 Vegetación

La vegetación está compuesta por distintos tipos de comunidades vegetales que se clasifican en tipos de vegetación, de las cuales están presentes la selva baja subcaducifolia y la selva baja inundable; siendo esta última un tinal, comunidad vegetal en la cual la especie dominante es el palo tinto (*Haematoxylum campechianum* L.), con agrupaciones casi puras (Flores y Espejel, 1994).

6.3.1 Selva baja subcaducifolia

Es una selva de menos de 15 m de altura media de los árboles altos, lo cuales pierden casi completamente las hojas en la época seca y no son espinosos, por lo común; posee ordinariamente abundantes bejucos (Miranda y Hernández-X, 1963).

Las principales especies son: *Jatropha gaumeri*, *Metopium brownei*, *Alvaradoa amorphoides*, *Bursera simaruba*, *Maclura tinctoria*, *Sideroxylon americanum*, *Mimosa bahamensis*, *Bauhinia divaricata*, *B. unguolata*, *Cenostigma gaumeri*, *Coulteria platyloba*, *Erythrostemon yucatanensis*, *Senna alata*, *S. candolleana*, *Gymnopodium floribundum*, *Neomillspaughia emarginata*, *Guazuma ulmifolia*, *Pseudobombax ellipticum*, *Ceiba aesculifolia*, *Pluchea speciosa*, *Diospyros tetrasperma*, *Hampea trilobata*, *Plumeria rubra*, *P. obtusa*, *Gyrocarpus americanus*, *Cochlospermum vitifolium* y *Randia longiloba* (Flores y Espejel, 1994).

6.3.2 Selva baja inundable: Tintal

Esta vegetación se encuentra poco representada en la península de Yucatán, restringiéndose a pequeños manchones al norte de Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Según la secretaria de Recursos Hidráulicos este tipo de vegetación cubre una extensión de 806 km en la península, siendo más vasta en Quintana Roo (Flores y Espejel, 1994). El estrato arbóreo de esta selva está constituido por individuos con una altura promedio de 7 m, de los que un 50% dejan caer sus hojas durante la época de secas (Flores y Espejel, 1994).

Miranda (1978) la denomina tintal por la dominancia del árbol llamado palo tinto (*Haematoxylum campechianum*) árbol espinoso cuya madera tuvo gran empleo y relevancia en épocas pasadas debido al tinte. El tintal se desarrolla sobre suelos profundos con drenaje deficiente, de tal manera que se inunda de agua en la época de lluvias y se secan completamente en la época de secas. En la península de Yucatán suelen hallarse en relación con hondonadas de suelos profundos, margosos, llamados "bajos", que se inundan periódicamente. Este árbol forma agrupaciones casi puras, así como el pucté (*Bucida buceras*), el chechem (*Metopium brownei*), etcétera (Miranda y Hernández-X, 1963).

6.4 Trabajo de campo

6.4.1 Periodo de muestreo

El trabajo se realizó a partir del 24 de febrero de 2024 al 12 de febrero de 2025, con muestreos mensuales con duración de dos noches en un horario de 18:00 a 21:00 horas.

Previamente se elaboró un formato de registro con el cual se anotaron las coordenadas de la estación de muestreo, ID (número único con el que se identificó el ejemplar capturado en red), nombre científico, hora de captura, sexo, datos morfométricos, peso, estadio y otras observaciones (Figura 18).

Localidad:					Fecha:									
Rancho o parcela:					Tipo de vegetación circundante									
Área productiva:					Selva conservada de: Acahual /vegetación secundaria									
# Red					Sí No									
Coordenadas:					Hora apertura de red: Hora de cierre:									
msnm														
ID	Especie	Hora	Sexo (símbolo)	Estadio CR, JU, AD	Datos morfométricos (mm)			Peso (gr)	Estado de salud	Extracción de ectoparásitos	Con o sin cría	Pezones grandes	Testículos <u>escrotado</u>	
					AB	Trago ancho x alto	Hoja nasal ancho x alto							

Figura 18. Formato de registro elaborado para el trabajo de campo de captura por red.

Se establecieron estaciones de muestreo en tres tipos de ambientes distintos:

- 1) Tintal (TN). El primer ambiente, caracterizado por la vegetación denominada selva baja inundable o Tintal, ubicado cerca del claro, donde también se encontraba la especie *Randia longiloba* que presentaba fruto casi todo el año. Coordenadas: 19°43'34.33"N - 90°29'19.80"O.
- 2) Rancho Casco (RC), el segundo ambiente que se ubicaba a unos metros del campamento, donde se extendía un espacio semi-abierto con construcciones abandonadas y árboles como *Ceiba pentandra*, *Cedrela odorata*, *Pouteria campechiana*, algunos individuos de *H. campechianum*, *Manilkara zapota*, *Lysiloma latisiliquum*, *Picidia Piscipula*, *Senna atomaria*, *Brosimum alicastrum*, *Guazuma ulmifolia*, *Anona* sp. Coordenadas: 19°43'37.68"N- 90°29'29.97"O.

3) Cueva Tec Jaguey (CTJ) como tercer sitio de muestreo, se seleccionó la cueva ubicado entre el camino que conecta a otras parcelas, cubierto con vegetación secundaria y cercano a un claro donde pasta ganado bovino. Coordenadas: 19°43'39.39"N- 90°29'49.00"O.

6.4.2 Técnica de redeo, puntos de muestreo, captura, toma de datos, liberación y determinación taxonómica

Se usaron dos redes de 6 m de largo por 2.5 m de alto, dispuestas en posición de "L" colocadas en postes y revisión de redes cada 30 a 40 min en cada punto de muestreo. Cada noche se establecieron dos puntos de muestreo, siendo A y B, B y C, C y A, así sucesivamente. Los sitios seleccionados fueron rotándose de acuerdo a la disponibilidad de acceso. El sitio A o primera estación se ubicaba en el lugar denominado tintal dentro del rancho, el cual resaltaba por estar contiguo a un terreno clareado donde suele pastar el ganado ovino y equino. La segunda estación de muestreo (B) se ubicó fuera de la cerca que delimitaba el rancho y era el camino que conectaba con los demás ranchos de los ejidatarios de la zona. La tercera (C) corresponde a un punto cercano a una cueva cubierta por vegetación secundaria, precedida de un claro. La colocación de redes se rotaron a lo largo de los muestreos y ajustadas según la temporada.

Cada murciélago capturado en red se retiró con guantes de carnaza (Anexo 4) y microganchos, se introdujeron en costales de manta para transportar e identificar en el campamento. Para la determinación de cada individuo se utilizaron la guía de campo de Reid (2009), la clave de campo de Medellín *et al.* (2008) y la guía ilustrada de Arroyo-Cabrales *et al.* (2011) y se clasificaron de acuerdo a la nomenclatura propuesta por Simmons y Cirrannello (2025). Una vez finalizada la determinación y toma de datos, se liberaron a los individuos.

6.4.3 Estrategia de muestreo acústico

En los tres puntos, se emplearon dos equipos de grabación (detectores ultrasónicos, Anexo 4) y el programa y dispositivo de almacenamiento de los llamados:

a) El equipo grabador EchoMeter Touch 2 Pro (Wildlife Acoustics Inc., United States), y el programa del mismo nombre instalado en un dispositivo Android para

realizar las grabaciones y almacenamiento (Tableta Samsung Galaxy Tab) de forma individual.

b) El dispositivo Pettersson M500-384 (Pettersson Elektronik AB, Uppsala, Suecia) con el programa Grabador de murciélago versión 2.0B13 para Pettersson (Digital Biology, 2024) instalado en un equipo Android (Teléfono celular marca Xiaomi REDMI).

Se establecieron las estrategias de muestreo de acuerdo a las condiciones de las estaciones de muestreo: Para los puntos TN y RC, se realizaron grabaciones de llamadas de ecolocalización en vuelo libre por tratarse de áreas abiertas con vegetación pristina y secundaria. Para el caso del punto CTJ, por tratarse de una cueva, se concentró en grabar a la emergencia o salida de los murciélagos en el refugio.

Las grabaciones fueron simultáneas y en distintas horas durante el muestreo o al momento en que se detectaban murciélagos en vuelo, la duración al momento de las grabaciones variaban entre 15 a 60 min.

Ambos aparatos cuentan con principios de grabación activa, es decir, que los llamados son reproducidos y escuchados en tiempo real con la posibilidad de elegir qué pistas guardar. El tiempo de almacenamiento es de 3.4 s, con disparador automático (detección del sonido-grabación-reproducción en tiempo real-almacenamiento de archivo) y guardadas en formato digital de audio waveform (*.wav). Al mismo tiempo, cuenta con un registro automático de la ubicación de cada grabación junto con el transecto realizado, las cuales se guardan en carpetas denominadas "Sessions" seguido de la fecha y hora de realizado el muestreo. Así mismo, se escriben automáticamente los metadatos de las grabaciones en esa sesión, añadiendo nombre del archivo, fecha, hora, ubicación del archivo en el ordenador o dispositivo, ID automático, nombres alternativos (sugerencias de especies las cuales pueden ser una o dos distintas), pulsaciones, frecuencias máximas y mínimas y coordenadas de la grabación en grados decimales. Por último, dentro de la misma carpeta se pueden encontrar cada una de las grabaciones con

el ID sugerido, estas últimas son las que aparecerán en el programa de análisis Kaleidoscope Pro (Wildlife Acoustics Inc., United States).

6.5 Trabajo de gabinete

6.5.1 Registro de capturas en red

Se concentraron los datos anotados en campo dentro de un libro de Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2013), donde se capturaron y organizaron con los siguientes campos: coordenadas del sitio de estudio, fecha, hora de apertura de red, hora de cierre, coordenadas de la estación de muestreo, ID, especie, familia, gremio, hora de captura por individuo, peso, datos morfométricos, sexo y estadio.

6.5.2 Análisis de datos en grabaciones

El procesamiento de las grabaciones se realizó con el programa Kaleidoscope Pro versión 5.7.0 (Wildlife Acoustics, 2025) mismo que se instaló en una computadora Laptop marca DELL, siguiendo el manual (Wildlife Acoustics, 2023) para Windows. Este programa brinda la facilidad del manejo para procesar los archivos guardados con la extensión wav (.wav) provenientes tanto de EchoMeter como de Pettersson.

Debido a que los llamados de ecolocalización no necesariamente representan individuos distintos, para el análisis de la riqueza de especies solamente se utilizaron datos de presencia/ausencia (Williams-Guillén y Perfecto, 2011; Kraker-Castañeda *et al.*, 2013).

6.5.2.1 Instalación del programa

Para poder acceder al programa se creó una cuenta en Wildlifeacoustics.com para descargar e instalar el software directamente, así como para obtener la licencia Pro de un año (con ello se tuvo acceso al análisis del nivel de sonido, Auto-ID de especies del Neotrópico), respaldo en la nube, computarización desde la nube, análisis clúster, búsqueda inteligente (selección grabaciones bajo un criterio específico) y creación de clasificaciones (búsqueda para especies concretas).

6.5.2.2 Configuración del software

Al instalar el programa con la licencia, automáticamente propone dos opciones para el análisis de las grabaciones: Bat Analysis Mode y Non-bat Analysis Mode. Al

seleccionar la primera opción, enseguida aparecerá la pantalla principal del programa y sus pestañas anexas (Figura 19). La configuración para procesar los archivos fueron los siguientes:

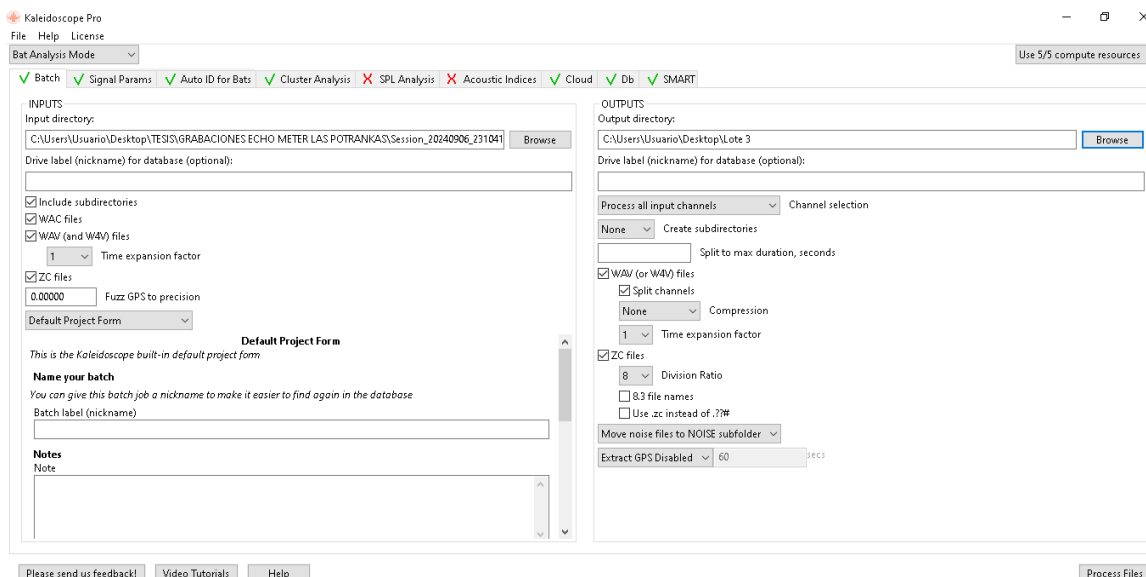


Figura 19. Pantalla principal de Kaleidoscope en la pestaña “Batch”.

En la pestaña Batch, sección INPUTS, se mantienen marcadas las opciones Include subdirectories, WAC files, WAV (and W4V) files, ZC files y la pestaña debajo se queda como Default Project Form (Figura 20). En la sección de OUTPUTS se mantuvieron las opciones propuestas del programa (figura 21): Channel selection>Process all input channels, Create subdirectories>None, Time expansión factor>1, activar ZC files, Division Ratio>8, sin seleccionar las dos opciones seguidas, Move noise files to Noise subfolder, Extract GPS Disabled (opcional).

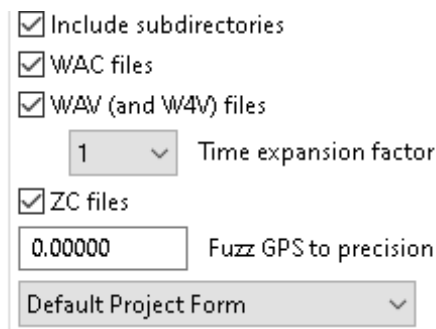


Figura 20. Opciones seleccionadas dentro de la sección INPUTS.

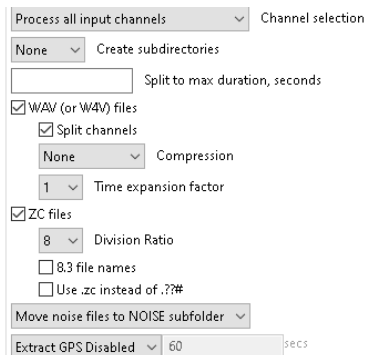


Figura 21. Opciones seleccionadas dentro de la sección OUTPUTS.

Posteriormente, en la pestaña Signal Paragrams, se seleccionaron los rangos de frecuencia (kHz) a proyectar en el visualizador del programa, así como la duración mínima y máxima de los pulsos en milisegundos (ms), la brecha máxima entre sílabas, el número mínimo de pulsos y zero crossing (Figura 22).

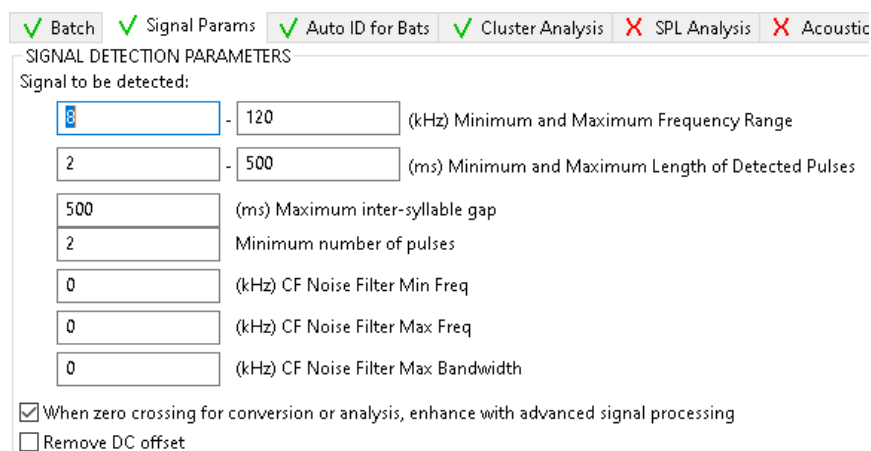


Figura 22. Panel de parámetros de señal con las opciones manejadas para la detección de pulsos.

En la pestaña Auto ID for Bats, se seleccionó la región para la sugerencia de especies de acuerdo a los pulsos, la más reciente hasta el momento es Bats of the Neotropics 5.7.0 (Figura 23), en automático se seleccionan las especies para la región (Anexo 2) y se conservó la opción 0 Balanced (Neutral).

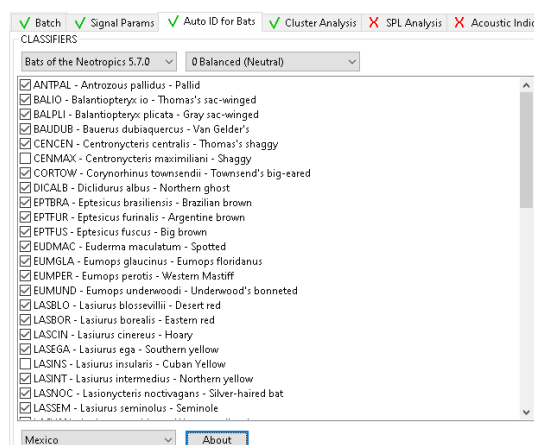


Figura 23. Pestaña Auto ID for Bats, con la selección de las regiones.

Por último, para las pestañas Cluster analysis, Cloud, Db y SMART, las opciones se mantuvieron deshabilitadas.

6.5.2.3 Procesamiento de archivos y análisis de grabaciones

Primero se ubicaron las carpetas de sesiones donde se encuentran las grabaciones y metadatos de los dispositivos estos son los archivos de entrada que se analizarán en el apartado Inputs y se recomienda hacer carpetas vacías separadas por sesiones, pues serán las que recibirán la información procesada del software en Outputs y las que serán visualizadas en el espectrograma. Cada carpeta se cargó en el cuadro de directorio con la opción Browse. Una vez se introdujeron las carpetas de entrada y las de salida, se procesaron con la opción Process files, ubicado en el extremo inferior derecho de la pestaña Batch (Figura 24).

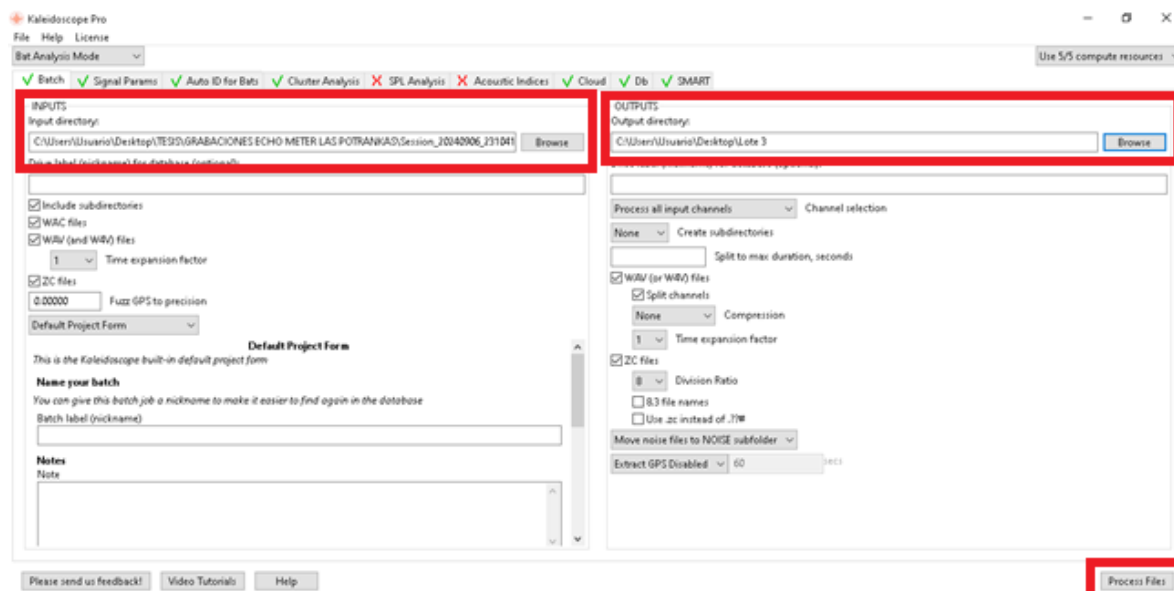


Figura 24. Pestaña Batch, se muestra el espacio para la selección de archivos de entrada y salida y la opción Process Files para el procesamiento de las sesiones.

Cuando son archivos con más de dos pistas de audio se abren automáticamente dos ventanas: una con los metadatos de la sesión y otra con el espectrograma donde se visualizarán, analizarán y determinarán las grabaciones. El programa dentro de la carpeta de salida guarda cuatro libros Excel, de los cuales el denominado “id” será el que se modificará de acuerdo a los cambios de identificación.

En los metadatos de la sesión (Figura 25), se encuentra toda la información por audio, desde la identificación automática (AUTO ID), propuestas alternativas de especie (Alternate 1, 2), fecha y hora, dispositivo de grabación utilizado,

coordenadas (longitud y latitud), frecuencia máxima (Fmax), frecuencia mínima (Fmin), pulsos, relación de coincidencia, duración, ubicación de la carpeta de archivos e identificación manual (Manual ID).

En el visualizador (Figura 26), se encuentran todos los controles para ajustar brillo equivalente a la ganancia en decibeles (dB), contraste, seguidos se encuentran una serie de opciones para invertir tonos del video, registro de forma de onda o vista lineal, activación de zero-crossing (zc, cuando la onda cruza el valor cero y señala sólo la frecuencia dominante de la llamada, Figura 27), comprimir o ampliar tiempo y frecuencia de video, activar recomendación por Auto ID, analizar vista o selección, mostrar u ocultar panel de metadatos, reproducir sonido, velocidad de reproducción (divide un segundo en $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{20}$ o aumentar la velocidad) y factor de tiempo de expansión (el cual se mantuvo en TE 1 para visualizar los llamados). Por último, las flechas para avanzar de un audio a otro (<) o, de una carpeta a otra (<< >>).

C:\Users\Usuario\Desktop\Lote 39\vid revisadoo.csv

File Help

	MANUAL ID	AUTO ID	ALTERNATE 1	PULSES	ALTERNATE 2	MATCHING	MATCH RATIO	Fmax	Fmin	FOLDER
1	EPITFUR	BAUDUB	RHOAEN	28	LASBLO	17	0.607000	73.580000	44.967000	
2	Molossidae	DICALB	EUMUND	26		26	1.000000	22.508000	21.690000	
3	Noise	EUMGLA	DICALB	3		2	0.667000	18.360000	17.662000	
4	EPITFUR?	LASBLO	RHOAEN	20	BAUDUB	10	0.500000	65.130000	42.992000	
5	Vespertilionido 42kHz	NoID		2		0	0.000000	57.257000	44.927000	
6	Noise	NoID		5		0	0.000000	18.086000	17.990000	
7	Noise	NoID		2		0	0.000000	18.526000	17.759000	
8	PTEDAV	NoID		4		0	0.000000	18.261000	17.479000	
9	Noise	NoID		3		0	0.000000	19.142000	18.213000	
10	Noise	NoID		3		0	0.000000	19.128000	18.624000	
11	Molossidae	NoID		15		0	0.000000	20.574000	19.660000	
12	Noise	NoID		2		0	0.000000	18.315000	17.137000	
13	Noise	NoID		2		0	0.000000	18.131000	17.327000	
14	PTEDAV	NoID		3		0	0.000000	18.139000	17.304000	
15	Noise	NoID		2		0	0.000000	18.589000	17.727000	
16	Noise	NoID		2		0	0.000000	17.782000	17.214000	
17	PTEPAR	NoID		43		0	0.000000	65.858000	61.670000	
18	EPITFUR	NoID		23		0	0.000000	64.983000	48.277000	
19	Noise	Noise								

Figura 25. Ventana de metadatos de la sesión, los datos fueron acomodados por prioridad para facilitar el procesamiento de las grabaciones.

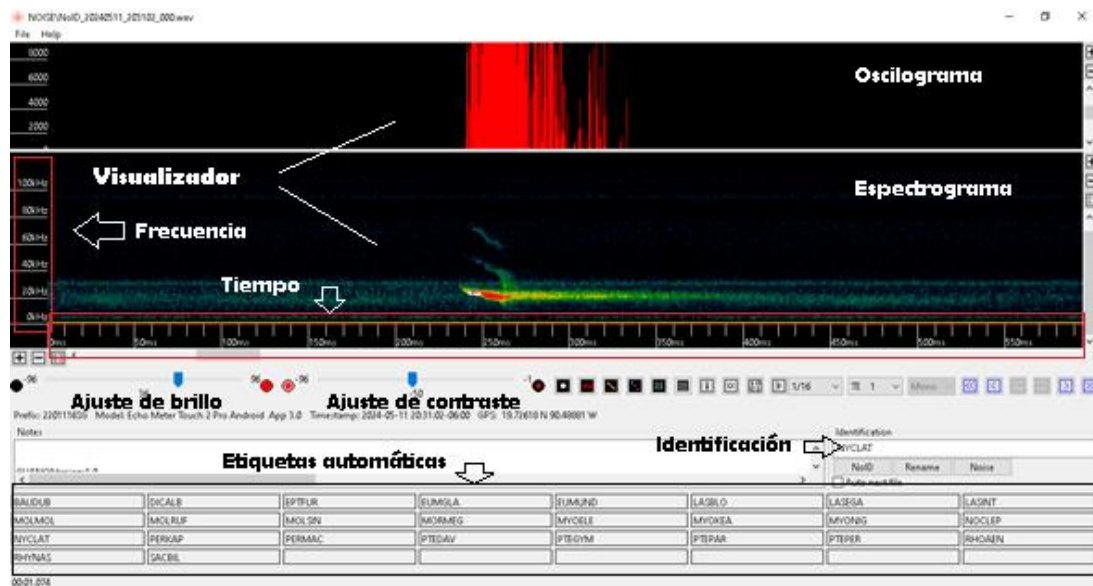


Figura 26. Ventana de visualización del oscilograma y espectrograma del archivo.

Es posible utilizar las recomendaciones de pulsos para comparación e identificación de especies con las referencias propuestas por Kaleidoscope Pro, las cuales se dependerán de la región seleccionada en Auto ID for Bats al configurar el programa, estos aparecen para superponer con el llamado original (Figura 28). Sin embargo, depender únicamente de esta opción para identificación dependerá de quien analiza y de la región, pues pueden haber variaciones o similitudes entre especies de algunos géneros o familias (Orozco-Lugo *et al.*, 2013).

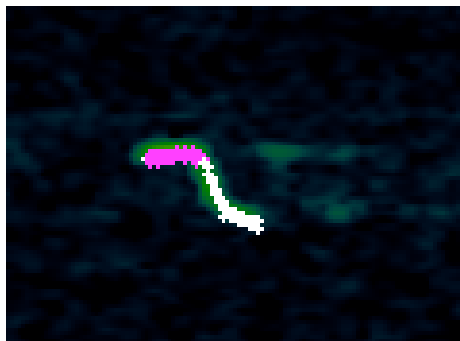


Figura 27. Pulso marcado con análisis de cruce por cero (zero-crossing, ZC) de *Pteronotus fulvus*.

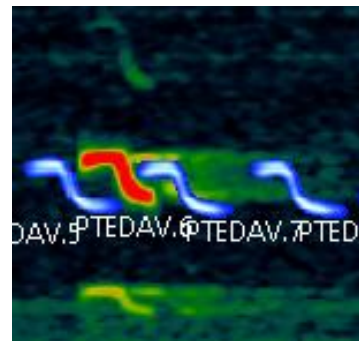


Figura 28. Ejemplo de comparación de pulsos con las referencias propuestas por Kaleidoscope para el Neotrópico con *P. fulvus*.

6.5.2.4 Validación e identificación de grabaciones

De acuerdo a Martínez-Medina *et al.* (2021), se validaron aquellos archivos de audio de señales de ecolocalización con una relación señal-ruido lo suficientemente buena que permita visualizar y medir los parámetros acústicos relevantes.

Recomiendan una diferencia de al menos 25 dB entre el espectro de poder máximo del ruido de fondo y el espectro de poder mínimo de las señales, de lo contrario, no se considera viable el uso de ese archivo pues la visualización de la intensidad, frecuencias pico y valores medidos podrían no ser confiables.

Para el caso de la identificación de las especies en los archivos de audio, se tomaron como referencia y apoyo el compendio de Ortega *et al.* (2022) y se comparó la estructura de las vocalizaciones con los trabajos de O'Farrell (1997), Rydell *et al.* (2002), MacSwiney *et al.* (2008), Fuentes-Moreno (2010), Briones-Salas *et al.* (2013), Kraker-Castañeda *et al.* (2013), García-Luis y Briones-Salas (2017).

6.6 Sistematización de los datos por captura y bioacústicos por temporada de muestreo

Se hizo una base de datos en donde se organizaron las especies por tipo de registros de acuerdo a técnica de captura y bioacústica. Se elaboraron tablas de presencia y ausencia durante los meses de muestreo y se establecieron las temporalidades, atendiendo así el análisis por objetivos (Figura 29).

6.7 Estimadores de riqueza para datos de presencia-ausencia por técnicas

Se consideraron cinco estimadores no paramétricos que se basan en datos de presencia-ausencia por técnicas, así como sugieren Mejenes-López *et al.* (2024), los cuales son Chao 2 que considera las especies observadas en una y dos unidades de muestreo, ICE considerando las especies raras presentes en 10 o menos unidades de muestreo, Jackknife 1 que toma el número de especies presentes, Jackknife 2 que considera las especies presentes en dos unidades de muestreo y Booststrap en la proporción de unidades de muestreo que contienen a cada especie. Para calcularlos, se tomaron los datos de la matriz construida a base de la presencia de especies capturadas por ambas técnicas y se procesaron en el programa EstimateS v. 9.1.0 (Colwell, 2013).

Q6 De estos 10 no identificados

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						
18																						
19																						
20																						
21																						
22																						
23																						

Figura 29. Sistematización de los datos obtenidos mediante las dos técnicas de muestreo, con datos de presencia-ausencia por meses y temporadas.

7. Resultados

7.1 Listado taxonómico de murciélagos por técnica (captura y bioacústica) por temporadas

Se registraron 16 especies de murciélagos, distribuidas en 12 géneros, agrupadas en cuatro familias (Tabla 3). Durante la temporada de secas, se capturaron cinco especies mediante redes de niebla y se detectaron seis por medios bioacústicos. En época de lluvias, las redes registraron cuatro especies, mientras que las grabadoras detectaron seis. En la transición de lluvias a nortes, la técnica de redes superó a la bioacústica, con siete y seis especies respectivamente.

La presencia de ocho especies corresponde a un total de 42 individuos capturados de la familia Phyllostomidae, seis con hábitos principalmente frugívoros y dos de dieta hematófaga capturadas con la técnica de redes de niebla. Mientras que las otras ocho especies se detectaron mediante el registro acústico, de un total de 885 archivos de sonido entre ambos dispositivos de las cuales 300 fueron las que contenían pulsos de especies pertenecientes a las familias Molossidae, Vespertilionidae y Mormoopidae con hábitos principalmente insectívoros/artropófagos; dos de estas identificadas a nivel familia por el sonotipo.

Tabla 3. Lista taxonómica de las especies registradas por los dos métodos durante el periodo de muestreo con datos de presencia-ausencia. La clasificación y nombres de autores están de acuerdo a Simmons y Cirranello (2025).

	2024										2025			
	Nor		Sec		Llu					Nor				
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	
CLASE MAMMALIA Linnaeus, 1758														
ORDEN CHIROPTERA Blumenbach, 1779														
SUBORDEN YANGOCHIROPTERA Koopman, 1985														
SUPERFAMILIA VESPERTILIONOIDEA Gray, 1821														
Bioacústica														
FAMILIA MOLOSSIDAE Gervais, 1856														
SUBFAMILIA MOLOSSINAE Gervais, 1856														
Molossus nigricans (Miller, 1902)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	
Molossidae sp.	--	--	--	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	
Nyctinomops laticaudatus (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1805)	--	--	--	1	--	--	--	1	--	--	--	--	1	
FAMILIA VESPERTILIONIDAE Gray, 1821														
SUBFAMILIA VESPERTILIONINAE Gray, 1821														
Neoptesicus furinalis (d'Orbigny & Gervais, 1847)	--	--	--	1	--	--	--	--	--	1	--	--	--	
Vespertilionidae sp.	--	--	--	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	
SUPERFAMILIA NOCTILIONOIDEA Gray, 1821														
FAMILIA MORMOOPIDAE Saussure, 1860														
Mormoops megalophylla (Peters, 1864)	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	1	
Pteronotus mesoamericanus (Smith, 1972)	--	--	--	1	--	--	--	1	1	1	--	--	--	
Pteronotus fulvus (Thomas, 1892)	--	--	--	1	1	--	--	1	--	1	--	--	1	
Red														
FAMILIA PHYLLOSTOMIDAE Gray, 1825														
SUBFAMILIA DESMODONTINAE J.A Wagner, 1840														
Desmodus rotundus (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1810)	--	1	--	1	--	--	--	--	--	1	--	--	--	
Diphylla ecaudata (Spix, 1823)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	
SUBFAMILIA GLOSSOPHAGINAE Bonaparte, 1845														
Glossophaga mutica (Merriam, 1898)	1	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	1	
SUBFAMILIA CAROLLIINAE Miller, 1924														
Carollia sowelli (Baker, Salari & Hoffmann, 2002)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	
SUBFAMILIA STENODERMATINAE Gervais, 1856														
Sturnira parvidens (Goldman, 1917)	1	--	1	1	--	--	--	--	1	--	--	--	1	
Artibeus jamaicensis (Leach, 1821)	1	1	1	--	--	--	--	1	1	1	--	--	--	
Artibeus lituratus (Olfers, 1818)	1	1	1	1	--	--	--	1	--	1	--	--	--	
Dermanura phaeotis (Miller, 1902)	--	1	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	

7.2 Diversidad de especies y abundancia de llamados con el aparato omnidireccional Echo Meter Touch 2 Pro

Se obtuvieron un total de 176 grabaciones que contenían pulsos o llamados de cinco especies de murciélagos insectívoros/artropófagos, pertenecientes a las familias Molossidae, Vespertilionidae y Mormoopidae (Tabla 4). Algunas grabaciones contenían más de una especie, por lo que el total de especies registradas como individuo por archivo de audio excede el número real de archivos de audio.

Los llamados identificados fueron aquellos que podía compararse con las referencias utilizadas para la corroboración de especies por sonograma, las cuales en su mayoría se encontraban en fase de búsqueda. Para el caso del sonotipo de Vespertilionidae sp., se detectó un llamado inusual (Anexo 3) así como para *P. mesoamericanus* (Anexo 3), mientras que para el caso *P. fulvus* se obtuvieron muestras de la fase de tren de alimentación (Anexo 3).

7.3 Diversidad de especies y abundancia de llamados con el aparato omnidireccional y unidireccional Pettersson M500 u384

Para el caso de las especies detectadas con Pettersson, se obtuvieron un total de 124 archivos de audio que contenían llamados y fueron considerados de acuerdo a los criterios establecidos para su validación (Tabla 5), dichos archivos igualmente contaban con más de un llamado perteneciente a más de una especie, resultando en el registro de seis especies, pertenecientes a las familias Molossidae, Vespertilionidae y Mormoopidae. De estas grabaciones, se detectó a *P. fulvus* con tren de alimentación.

Tabla 4. Abundancia de grabaciones analizadas y determinadas por especie con Echo Meter Touch 2 Pro por meses y estaciones de muestreo. En algunos meses no se obtuvo registro por lo que se omitieron por cuestiones de espacio.

Familia	Especie	May			Sept			Oct			Nov			Feb			Subtotales
		TN	RC	CTJ	TN	RC	CTJ	TN	RC	CTJ	TN	RC	CTJ	TN	RC	CTJ	
Molossidae	<i>M. nigricans</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
	<i>Molósido</i> sp.	--	1	--	--	1	6	--	--	--	--	--	1	--	--	--	9
	<i>N. laticaudatus</i>	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--	22	1	--	24
Vespertilionidae	<i>N. furinalis</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12	--	--	--	--	--	12
	<i>Vespertilionido</i> sp.	--	--	--	--	4**	15	--	--	--	--	--	--	1	--	--	20
	<i>M. megalophylla</i>	--	--	--	--	3	--	--	--	--	--	--	--	6	1	--	10
Mormoopidae	<i>P. mesoamericanus</i>	--	--	--	--	--	12	--	--	4	--	--	19**	--	--	--	35
	<i>P. fulvus</i>	--	1	--	--	38	45	--	--	1	28*	--	4	--	1	--	118
Subtotales		0	2	0	0	46	79	0	0	5	40	0	24	29	3	0	228

TN: Tintal, RC: Rancho Casco, CTJ: Cueva Tec Jaguey. *: Se detectó un tren de alimentación. **: Se detectó un llamado social.

Tabla 5. Abundancia de grabaciones analizadas y determinadas por especie con Pettersson M500 por meses y estaciones de muestreo. En algunos meses no se obtuvo registro por lo que se omitieron por cuestiones de espacio.

Familia	Especie	May			Jun			Sept			Oct			Nov			Subtotales
		TN	RC	CTJ	TN	RC	CTJ	TN	RC	CTJ	TN	RC	CTJ	TN	RC	CTJ	
Molossidae	<i>M. nigricans</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	1
	<i>Molósido</i> sp.	2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	--	--	--	4
	<i>N. laticaudatus</i>	4	--	--	--	--	--	--	--	5	--	--	--	--	--	--	9
Vespertilionidae	<i>N. furinalis</i>	3	--	--	--	--	--	--	--	11	--	--	--	--	--	--	14
	<i>Vespertilionido</i> sp.	5	--	--	--	--	--	--	--	19	--	--	--	--	--	--	24
	<i>M. megalophylla</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	1	--	--	--	2
Mormoopidae	<i>P. mesoamericanus</i>	4	--	--	--	--	--	--	--	21	--	--	24	--	--	2	51
	<i>P. fulvus</i>	13*	--	--	1	--	--	--	--	20	--	--	1	--	--	4	39
Subtotales		31	0	0	1	0	0	0	0	77	0	0	28	0	0	7	140

TN: Tintal, RC: Rancho Casco, CTJ: Cueva Tec Jaguey. *: Se detectó un tren de alimentación.

7.4 Análisis de las variables de las técnicas con la biología de cada especie

Para el caso de las especies de la familia Phyllostomidae, todas fueron capturadas con redes de niebla. *Desmodus rotundus* y *Diphylla ecaudata*, se conocen por ser especies sanguinívoras o hematófagas. *Desmodus rotundus* puede tener una variedad de refugios entre las cuales se encuentran huecos de árboles, túneles, minas abandonadas, grietas de rocas y cuevas (Sampedro-Marín *et al.*, 2008) y se le conoce por consumir la sangre del ganado bovino y ovino (Flores-Crespo *et al.*, 1971; Flores-Crespo *et al.*, 1974). Mientras que *D. ecaudata* tiene hábitos especializados, prefiriendo sangre fresca de aves domésticas y silvestres, explorando como principal refugio las cavernas y raramente siendo vista en huecos de árboles, hornos de carbón, minas y casas abandonadas (Scheffer *et al.*, 2015).

La especie *Glossophaga mutica* es la única con hábitos nectarívoros dentro del estado, mientras que las especies *Carollia sowelli*, *Sturnira parvidens* *Artibeus jamaicensis* *A. lituratus* y *Dermanura phaeotis* son de hábitos principalmente frugívoros. De ellas *A. jamaicensis*, *A. lituratus* y *D. phaeotis* son identificadas por Vargas-Contreras *et al.* (2008) como las especies más comunes e indicadoras, *C. sowelli* es una de las especies más abundantes en sitios con niveles de perturbación intermedios y en presencia de claros (Medellín y Viquez, 2014; Mejenes-López *et al.*, 2024), así como *S. parvidens* y *G. mutica* son consideradas dentro de las mejores especies indicadoras de la perturbación del hábitat por Schulze *et al.* (2000).

Molossus nigricans: De acuerdo a los datos obtenidos para las especies grabadas con los dispositivos, la especie presentó una frecuencia máxima (Fmax) de 39 kHz y una mínima (Fmin) de 35 kHz y un tipo de frecuencia cuasi-modulada (FQC), la cual se tiene reportada que individuos de la familia Molossidae, incluida *M. nigricans* pueden presentar una frecuencia en fase de búsqueda en un rango general de 20 a 35 kHz (Jung *et al.*, 2014). Aunque también llegan a emitir pulsos altos alrededor de 39,6 kHz y bajos alrededor de 34,5 kHz (Mora *et al.*, 2004).

Nyctinomops laticaudatus: Presentó un rango en los 35 y 20 kHz. Se data de esta especie que tiene una frecuencia pico de 22 a 23 kHz de un llamado de frecuencia

cuasi-constante (FQC) principalmente con un pequeño componente de frecuencia modulada (FM) inicial con una duración de 9 ms en promedio. Puede llegar a solaparse con *Tadarida brasiliensis* cuando usa FM-FQC de banda más ancha (Ugarte-Núñez, 2020).

Neoptesicus furinalis: Se registraron frecuencias de Fmax de 82 a Fmin de 62 kHz. Sus llamados en fase de búsqueda consisten en un pulso de frecuencia modulada (FM) la cual es un barrido descendente inicial que termina en una "cola" de banda estrecha, su frecuencia característica es de 36 ± 41 kHz y una duración de 6.9 ms, aunque algunas veces estos intervalos se acortan en caso de encontrarse un obstáculo o presa, además de que algunos de sus armónicos aparecen atenuados durante su vuelo en áreas abiertas (Rydell *et al.*, 2002).

Mormoops megalophylla: Se detectó con una Fmin de 45 y una Fmax de 55 kHz. Cuenta con un llamado muy característico compuesto de tres armónicos de los cuales el segundo y el tercero son de mayor intensidad que el primero o fundamental, el cual es más débil. Sus pulsos además son curvas descendentes, poco profundas al principio y más pronunciadas hacia el final, dichas frecuencias se reportan de un máximo de 55.7 y un mínimo de 42.1 kHz con una duración de 3 ± 4 ms o 4.8 ± 0.6 ms (Rydell *et al.*, 2002; Ortega *et al.*, 2022)

Pteronotus mesoamericanus: Las frecuencias predominaban con una Fmax de 62 y Fmin de 59 kHz. Esta especie se encuentra usualmente alimentándose junto con *P. fulvus* y otras pequeñas especies forrajeras, pero suele volar cercano al sustrato. Sus pulsos son largos entre 18.1 y 25 ms, consisten en una frecuencia constante (FC) que comienza y termina con barridos cortos. Suele emitir tres armónicos de los cuales el más intenso es el segundo con 65 ± 66 kHz. Esta especie es una de las más fáciles de reconocer mediante detectores acústicos (Rydell *et al.*, 2002).

Pteronotus fulvus fue detectada con una Fmax de 62 kHz y una Fmin de 54 kHz. Esta especie utiliza pulsos cortos (6 ± 8 ms) e intensos, emitiendo tres armónicos de los cuales el segundo es el más notorio y el tercero también es evidente. Consiste en dos componentes FC de 59 ± 60 y 70 ± 71 kHz los cuales son

de una intensidad similar y están unidos por un barrido descendente con algo menos de energía. Al igual que ocurre con muchos otros mormoópidos, esto podría resultar confuso si se utilizan detectores de murciélagos con división de frecuencia (Rydell *et al.*, 2002).

7.5 Estimadores de riqueza y curva de acumulación de especies por técnica

La primera curva de la figura 30 representa la relación de especies observadas, mientras que las restantes la riqueza estimada a lo largo de los meses con la técnica de redes. Los estimadores se mantienen ligeramente por encima de la línea de especies reales, indica que existen especies no detectadas por las redes, probablemente aquellas de hábitos más arborícolas, con patrones de vuelo elevados o baja abundancia relativa.

Asimismo, el comportamiento oscilante del estimador ICE al inicio podría deberse a especies raras (registradas en una o pocas muestras), lo cual afecta su estabilidad hasta que aumenta el número de muestreos.

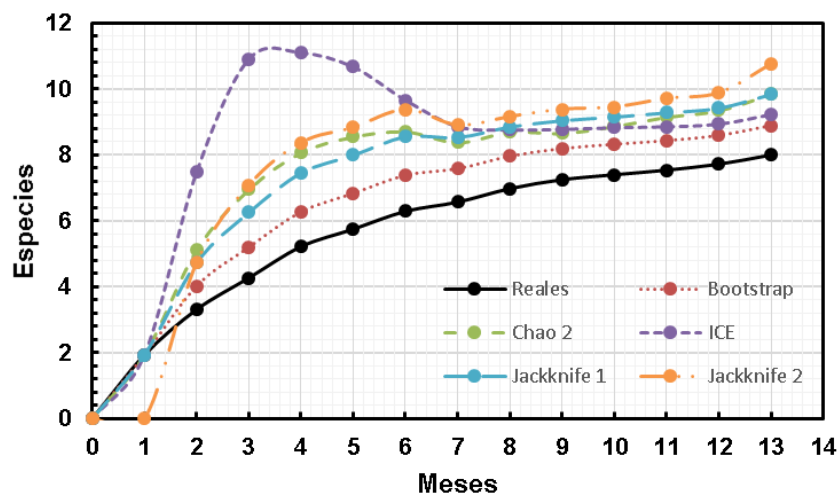


Figura 30. Curva de acumulación de la riqueza de especies de murciélagos observada con los estimadores no paramétricos para la técnica de redes.

Respecto a la técnica de bioacústica, la curva de la figura 31 se muestra la riqueza acumulada de especies y la estimación a lo largo de los meses de muestreo en el que se observa un rápido incremento inicial, lo que indica que los primeros registros permitieron identificar un número considerable de especies mediante sus emisiones ultrasónicas. Conforme avanzan los meses, las curvas tienden a

estabilizarse, sugiriendo que el esfuerzo de grabación fue suficiente para caracterizar gran parte de la comunidad acústicamente detectable.

Los estimadores Chao 2, ICE y Jackknife 2 presentan valores ligeramente superiores a los observados, lo que sugiere la posible existencia de especies raras o de baja detectabilidad acústica que podrían no haberse registrado durante el periodo de estudio.

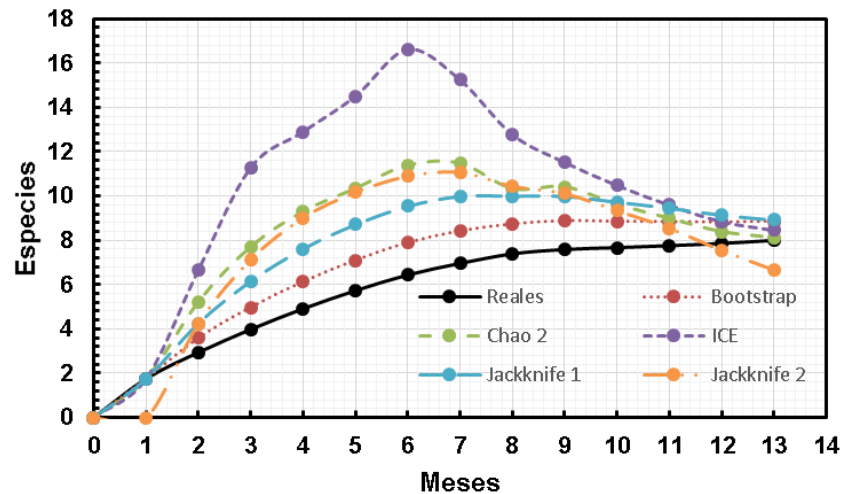


Figura 31. Curva de acumulación de la riqueza observada con los estimadores no paramétricos para la técnica de bioacústica.

8. Discusión

Este trabajo registra un 29% de las especies para el estado de Campeche de acuerdo a las reportadas por Vargas-Contreras *et al.* (2012).

La implementación para este trabajo del método acústico confirma ser una buena herramienta para incrementar un 40% el listado de especies en regiones del Neotrópico como lo señala Pech-Canche *et al.* (2010), quienes establecen este valor para con el uso de las dos técnicas convencionales (trampa arpa y red) y detección acústica. Sin embargo, en este trabajo el porcentaje fue de 50% por cada técnica (sólo redes de niebla acompañado de bioacústica). Esto se puede asumir que debido a la diferencia de patrones de forrajeo de los murciélagos dado por sus distintos hábitos alimenticios pueden no ser capturados con las técnicas tradicionales (Meyer *et al.*, 2011), y observando que ninguna de las especies registradas se comparten entre técnicas, es preferible considerarlas complementarias para facilitar otros temas de interés como patrones de actividad, identidad taxonómica, uso de hábitat y otros aspectos ecológicos de este grupo como sugiere Martínez-Medina *et al.* (2021).

De acuerdo a los registros obtenidos por técnicas y temporadas, se pudo notar que las redes de niebla fueron más efectivas en la detección de especies frugívoras, nectarívoras y sanguinívoras, que suelen desplazarse a baja altura dentro de los corredores vegetales donde las redes se colocaron estratégicamente. En contraste, la detección acústica registró un mayor número de especies insectívoras/artropófagas, incluyendo aquellas de vuelo rápido y alto, difíciles de capturar físicamente pero fácilmente reconocibles por sus emisiones ultrasónicas características. Al observar las curvas de acumulación de especies de acuerdo a las temporadas, se refleja que las redes presentan incrementos graduales en la riqueza observada y los estimadores sugieren que pueden existir especies no detectadas con esta técnica, mientras que las curvas de acumulación por bioacústica alcanza pronto la asíntota, proponiendo que las grabaciones fueron suficiente para caracterizar gran parte de la comunidad detectable con esta técnica.

Esto no significa que las técnicas por sí solas sean suficientes para describir la diversidad de especies en un sitio.

La detección y registro de especies mediante una grabadora y un micrófono ambos acústica, dependerán de las características técnicas de cada aparato utilizado así como el software para el análisis, los cuales percibirán o recomendarán especies de acuerdo a la frecuencia e intensidad reflejadas. En este sentido, los micrófonos MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) como Echo Meter Touch 2 Pro, presentan una respuesta estable entre los 40 y 60 kHz, siendo más eficaces para especies de rango medio. Sin embargo, pueden subestimar la actividad de murciélagos que emiten frecuencias más altas o bajas (Russ, 2012; Parsons y Szewczak, 2009). Lo cual pudo observarse mediante el análisis de sus grabaciones, pues si bien detecta trenes de alimentación y llamados sociales, se generó un mayor volumen de archivos de audio almacenados con identificaciones automáticas que en muchos casos fueron etiquetadas y corroboradas manualmente como ruido ambiental, lo que podría “confundir” cómo el software detecta y recomienda especies en rangos donde había obstrucción por ruido.

Por otro lado, los micrófonos de capacitancia, como es el caso de Pettersson M500-384, ofrecen una respuesta más amplia y uniforme, lo que permite registrar con mayor fidelidad la estructura completa de las llamadas, incluyendo armónicos y variaciones de intensidad, logrando detectar con este dispositivo un llamado de la especie *Molossus nigricans* el cual emite un rango más bajo. Estas diferencias en sensibilidad, direccionalidad y fidelidad acústica pueden influir tanto en la probabilidad de detección como en la precisión de la identificación de las especies (Russ, 2012; Parsons y Szewczak, 2009) además de que el volumen de archivos generados y almacenados fue significativamente menor.

El software utilizado, Kaleidoscope Pro, tampoco demuestra una exactitud al 100%, pues genera sus recomendaciones de acuerdo a los metadatos predeterminados en su sistema, por lo que es importante que el investigador tenga conocimiento de las especies que tienen distribución potencial en el área de estudio o región, así como las frecuencias que emiten para realizar comparaciones con las

muestras obtenidas y, de esta manera, contar con registros locales debido a las variaciones geográficas de la ecolocalización entre poblaciones de una misma especie (Barclay y Brigham, 2002; Kraker-Castañeda *et al.*, 2013).

En cuanto a la identificación de las especies por bioacústica, cada familia cuenta con ciertas características que hicieron posible su determinación, ya sea a nivel específico o a nivel familia tal como se describe en cada caso:

El sistema de ecolocalización de los murciélagos de la familia Phyllostomidae representa una mezcla de pulsos de baja intensidad y alta frecuencia, banda ancha y varios armónicos, por lo que capturar una señal de estos individuos durante el vuelo puede complicarse en campo a menos de que emitan sonidos a una corta distancia del detector (Fenton *et al.*, 2001; Pinilla-Cortés y Rodríguez-Bolaños, 2017). Por estas características se les suelen denominar murciélagos “susurradores”, lo cual refleja su capacidad de adaptación al uso de espacios estructuralmente complejos como bosques, donde las actividades de búsqueda de alimento se han reducido al nivel del dosel y los individuos pueden encontrar muchos obstáculos (Thies *et al.* 1998), por lo que además emplean el olfato y la visión (Arias-Aguilar *et al.*, 2018). Así pues, los casos de especialización en el diseño de sus señales acústicas son escasos (Martínez-Medina *et al.*, 2021), el cual propondría otra línea de investigación para detectar comportamiento y llamados para esta familia, mientras que en estudios de riqueza es más favorable emplear la técnica de redes.

Tanto las familias Molossidae como Vespertilionidae presentan una mayor complejidad para su determinación, por lo que al analizar sus frecuencias es preferible enfocarse en un análisis más detallado por las siguientes consideraciones: la familia Molossidae presenta pulsos género-específicos y especie-específicos (Jung *et al.*, 2014), sus llamados tienen una alternancia de hasta tres pulsos (bajo, medio y alto) por lo que es necesario medir las variables temporales y espectrales. Mientras que para la mayoría de las especies de la familia Vespertilionidae emiten varias señales de ecolocalización según la complejidad estructural por donde vuelan, haciendo que sus pulsos en ambientes cerrados y

abiertos se modifiquen respecto a su modulación, estructura y frecuencia (Martínez-Medina *et al.*, 2021). Esto permitió a que si bien algunas especies de estas familias no se lograron determinar, los llamados cumplieron con las características definidas en la literatura de apoyo para su comparación.

La familia Mormoopidae fue una de las más fáciles de distinguir, debido a sus patrones en la estructura de los pulsos, y por usualmente componerse de multiarmónicos, de los cuales el que contiene la mayor cantidad de energía de la señal por lo general es el segundo (Arias-Aguilar *et al.*, 2018). Las tres especies determinadas (*M. megalophylla*, *P. mesoamericanus* y *P. fulvus*) coinciden tanto en el compendio (Ortega *et al.*, 2022) como en la literatura de referencia, acerca de sus patrones característicos incluyendo su frecuencia y ancho de banda, así como el notable ciclo de trabajo alto en *P. mesoamericanus* (Fenton *et al.*, 2012; Martínez-Medina *et al.*, 2021).

La técnica de bioacústica permite aportar información de la manera en que los murciélagos disponen del alimento, tal como se observó en los cuatro trenes de alimentación de *P. fulvus*, que indica su forrajeo de forma activa dentro del área de estudio como lo señala Schnitzler y Kalko (2001). Este tipo de emisión, caracterizada por una rápida sucesión de pulsos con intervalos decrecientes, es un indicador confiable de actividad de captura de insectos y permite inferir el uso del hábitat para alimentación. El sistema de ecolocalización en los murciélagos les permite mejorar la capacidad de orientación, favoreciendo la supervivencia de las especies con un aumento en la frecuencia de los pulsos emitidos que se complementa con otras estrategias como la intensidad de forrajeo (Acosta-Luzuriaga y Ayala-Berdon, 2025).

Asimismo, se obtuvo una muestra de un aparente llamado social de dos especies, que podría reflejar interacciones comunicativas entre individuos como lo sugieren Schöner *et al.* (2010), las cuales se caracterizan por ser vocalizaciones con frecuencias más bajas y una mayor variabilidad estructural. Dichos llamados son importantes ya que sugieren interacciones intra o interespecíficas tales como atraer o repeler a otros individuos de los sitios de alimentación,

descanso/apareamiento según Barlow y Jones (1997) y como reconocimiento, coordinación de movimientos o alertas de acuerdo a Fenton (2003b). Aún se conoce poco acerca de los llamados sociales de los murciélagos con sus congéneres o con otras especies como es señalado por Schöner *et al.* (2010) y Barros *et al.*, (2014) cerca de 10 años atrás. También es importante señalar que la aportación de este trabajo hace referencia a estos sonidos y que podría brindar información sobre la dinámica de grupo y sus interacciones en el área de estudio.

Ambos dispositivos empleados en este estudio fueron utilizados de la misma forma, y aún así se encontraron diferencias en la calidad, detección e identificación de las especies. Por otro lado, el programa de procesamiento de los llamados recomienda etiquetas de determinación de acuerdo a los datos predeterminados por los desarrolladores, lo cual no asegura que las especies grabadas en el sitio de estudio sean las mismas propuestas por el software. Por lo tanto, es importante enriquecer tanto el conocimiento de los llamados de la quiropteroфаuna de la región, para poder contar con una biblioteca local que no sólo incluya los llamados conocidos (principalmente en fase de búsqueda) de las especies, sino contar con un acervo digital de los distintos llamados (como los sociales, fase de aproximación, trenes de alimentación y fase terminal) o variaciones en sus pulsos para conocer la dinámica de las especies y cómo se desenvuelven en su entorno.

Al analizar los espectrogramas obtenidos de las grabaciones, además de los trabajos de referencia utilizados para la determinación de especies, los llamados emitidos por *N. furinalis* coinciden con las frecuencias reportadas por Cú-Vizcarra (2013) para esta especie, mientras que los reportados para *M. megalophylla*, *P. mesoamericanus* y *P. fulvus* por Rydell *et al.* (2002), MacSwiney *et al.* (2009) y Cú-Vizcarra (2013) comprueban ser similares con los registros de este trabajo, independientemente de los dispositivos de detección acústica y software de análisis empleados para cada estudio.

Si bien los resultados de las ocho especies detectadas por el método acústico, no supera las ya registradas en el Estado de Campeche por Cú-Vizcarra (2013) o las adiciones por Guzmán-Soriano *et al.* (2013) con las ocho especies capturadas

mediante redes en este estudio, es importante tener en cuenta que la acumulación de especies de los trabajos descritos basados en bioacústica se realizaron en distintas localidades separadas considerablemente y con distintos usos de suelo y paisajes; mientras que la acumulación de las 16 especies registradas en este trabajo fueron de un sitio con un paisaje heterogéneo pero con menor separación entre estaciones de muestreo. Asimismo, contrario a lo que reportan MacSwiney *et al.* (2009) acerca de la menor diversidad acústica e intensidad de llamadas en sitios cercanos a zonas agrícolas, la cantidad de registros acústicos para este trabajo es considerable, teniendo en cuenta que el solo sitio de desarrollo, fue un paisaje antropizado cuya principal actividad es pecuaria.

9. Conclusiones

Los registros no sólo demuestran la practicidad del uso de al menos dos técnicas para el muestreo de murciélagos, también representan la influencia de los factores de variación temporal en la captura y detección de este grupo. Con este trabajo se demuestra que las técnicas compensaban la falta de captura de especies entre sí a lo largo de las temporadas.

Las herramientas de detección acústica se han perfeccionado para ser fáciles de utilizar, de transportar y de adquirir, por lo que para estudios en los que se priorice ampliar la riqueza de especies, se recomienda aplicar esta técnica junto con el uso de redes de niebla. Sin embargo, es importante tomar en cuenta, que cada modelo, tipo de micrófono y software de análisis de audios tendrán limitaciones de acuerdo a su programación, por lo que el investigador debe tomar en cuenta esas consideraciones, además de conocer los hábitos de las especies que tengan distribución potencial en la región de interés.

Con este trabajo no sólo se confirma la influencia de las temporadas en la detección y captura de especies de murciélagos dentro de áreas transformadas para actividades pecuarias, y su complementariedad para incrementar los registros en trabajos relacionados a riqueza y diversidad, también se presta a la exploración de ambas técnicas para obtener datos de comportamiento dentro de este tipo de ecosistemas. Pues al contar con una amplia variedad de hábitos alimenticios, información relacionada a su forrajeo e interacciones entre individuos y especies podrán indicar el uso de estas zonas por este grupo de mamíferos.

10. Referencias bibliográficas

- Abarca-Díaz, J. A. (2016). *Comparación de tres métodos de muestreo de murciélagos (Orden: Chiroptera) en la zona mediterránea de Chile central*. (Memoria de Título, Universidad de Chile Facultad de Ciencias Agronómicas).
- Acosta-Luzuriaga, E. D., y Ayala-Berdon, J. (2025). Ecolocación en murciélagos: sobreviviendo a la estacionalidad. *Therya ixmana*, 4(3), 191-192.
- Arévalo Cortés, J. A., y Tulcan Flores, J. E. (2018). *Análisis de los pulsos de ecolocalización de algunas especies de murciélagos presentes en la región andina y pacífica del departamento de Nariño—Colombia*. UNIVERSIDAD DE NARIÑO. FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.
- Arias-Aguilar, A., Hintze, F., Aguiar, L. M., Rufray, V., Bernard, E., y Ramos-Pereira, M. J. (2018). Who's calling? Acoustic identification of Brazilian bats. *Mammal Research*, 63(3), 231-253.
- Armitage, D. W.-F. (2010). Neural processing of target distance by echolocating bats: Functional roles of the auditory midbrain. *Bioacoustics*, 178(1), 339–344.
- Arroyo-Rodríguez V., Moreno C.E. y Galán-Acedo C. (2017). La ecología del paisaje en México: logros, desafíos y oportunidades en las ciencias biológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88:42-51.
- Aytekin, M., C. F. Moss, y J. Z. Simon. (2007). Sound localization by echolocating bats: Are auditory signals enough? *The Journal of the Acoustical Society of America* 122:2980-2980.
- Barboza, K., Aguirre, L. F., y Kalko, E. K. V. (2006). Protocolo estandarizado para obtener el registro y el análisis de llamadas emitidas por murciélagos. *Revista de Ciencia y Tecnología, Centro de Biodiversidad y Genética*:9-13.
- Barclay R y Brigham R. (2002). *Geographic variation in the echolocation of bats: a complication for identifying species by their calls*. Pp. 144-149, en: *Bat echolocation research, tools, techniques and analysis* (Brigham R, Kalko EK, Jones G, Parsons S y Limpens H, eds.). Bat Conservation International, Austin, EE.UU.
- Barlow K. E. y Jones G. (1997). Function of *Pipistrellus pipistrellus* (Chiroptera: Vespertilionidae) socialcalls: field data and a playback experiment. *Animal Behavior*, 53: 991–999.
- Barrera, M.A., Barrera, A. y López, R.M. (1976). *Nomenclatura Etnobotánica Maya*. Colección Científica, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, D.F. 536 pp.
- Barros, P., Braz, L., Vale-Gonçalves, H. M., y Cabral, J. A. (2014). First records of *Nyctalus noctula* social calls in Portugal. *Vespertilio*, 17, 37-44.
- Brigham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. Limpens. (2004). *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis*. Bat Conservation International. National Fish and Wildlife Foundation.
- Briones-Salas M, Peralta-Pérez M, García-Luis M. (2013). Acoustic characterization of new species of bats for the state of Oaxaca, Mexico. *Therya* 4:15–32.
- Britzke, E. R., Gillam, E. H., y Murray, K. L. (2013). Current state of understanding of ultrasonic detectors for the study of bat ecology. *Acta Theriologica*, 58(2), 109–117. <https://doi.org/10.1007/s13364-013-0131-3>

- Brualla, N. L., Wilson, L. A., Tu, V. T., Nojiri, T., Carter, R. T., Ngamprasertwong, T., ... y Koyabu, D. (2024). Comparative anatomy of the vocal apparatus in bats and implications for the diversity of laryngeal echolocation. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 202(3), zlad180.
- Burgos, C. M., Estrada, A., y León, P. (2016). Acoustic monitoring of insectivorous bats in the Calakmul Biosphere Reserve, Campeche, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1030–1042. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.010>
- Castiblanco-Becerra, N.C. (2021). *La bioacústica como herramienta para el estudio de los murciélagos en el neotrópico: estado de conocimiento y desafíos de investigación* (Proyecto curricular de Licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas).
- Colwell, R. K. (2013). *EstimateS*. Statistical stimation of species richness and shares species from samples. Version 9. Persistent URL <purl.ocic.org/estimates>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico Nacional. (2024). *Reporte del clima en México 2024*. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatología/Diagnóstico%20Atmosférico/Reporte%20del%20Clima%20en%20México/Anual2024.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico Nacional. (2025). *Pronóstico climático de precipitación para 2025* [Archivo PDF]. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/PREC/2025.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico Nacional. (2025). *Pronóstico climático de temperatura media para 2025* [Archivo PDF]. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/TMED/2025.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2025). *Temporada de lluvias y ciclones tropicales 2025*. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/temporada-de-lluvias-y-ciclones-tropicales-2025>
- Cú-Vizcarra, J.D. (2013). *Uso de hábitat de los murciélagos insectívoros en Campeche, México*. (Tesis de Maestría, El Colegio de la Frontera Sur).
- Dorado-Correa, A. M., Goerlitz, H. R., y Siemers, B. M. (2013). Interspecific acoustic recognition in two European bat communities. *Frontiers in physiology*, 4, 192.
- Duch, G. (1989). *"Los Bajos Inundables (ak'alche') de la Península de Yucatán"*. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Elemans, C. P., Mead, A. F., Jakobsen, L., y Ratcliffe, J. M. (2011). Superfast muscles set maximum call rate in echolocating bats. *Science*, 333 (6051), 1885–1888. <http://doi.org/10.1126/science.1207309>
- ESERO España. (2024). *Longitud de onda y frecuencia*. Recuperado de https://esero.es/practicas-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/longitud_de_onda_y_frecuencia.html
- Estrada-Villegas, S., Rodríguez, R. y Barboza, K. (2018). *Ecolocación: fundamentos, usos y equipos* (Disponible en: <<http://www.relcomlatinoamerica.net/investigación/bioacústica.html>>; último ingreso 03 de diciembre, 2024).
- Fenton M.B, Faure P.A y Ratcliffe J.M. (2012). Evolution of high duty cycle echolocation in bats. *The Journal of Experimental Biology*. 215:2935–44. <https://doi.org/10.1242/jeb.073171>

- Fenton, M. B. (2003a). Eavesdropping on the echolocation and social calls of bats. *Mammal Review*, 33(3-4), 193-204.
- Fenton, M. B. (2003b). *Echolocation and communication in bats*. In T. H. Kunz y M. B. Fenton (Eds.), *Bat ecology* (pp. 1–36). University of Chicago Press.
- Fenton, M. B. (2004). *Aerial-feeding bats: getting the most out of echolocation*. *Echolocation in bats and dolphins*, 350, 355.
- Fenton, M. B., Bouchard, S., Vonnhof, M. J., y Zigouris, J. (2001). Time-expansion and zero-crossing period meter systems present significantly different views of echolocation calls of bats. *Journal of Mammalogy*, 82(3), 721-727.
- Ferreira-Camarg, N., S. J. Rossiter, D. R. Hemprich-Bennett, H. Fernandes-Magalhães de Oliveira, B. Rodríguez-Herrera, y E. L. Clare. (2020). Wing morphology predicts individual niche specialization in *Pteronotus mesoamericanus* (Mammalia: Chiroptera). *PLOS ONE* 15:5-21.
- Ferrelli, F. (2017). Variabilidad pluviométrica y sus efectos sobre las coberturas del suelo al sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 58, núm. 1, pp. 26-37.
- Flores, J. S. y Espejel, I. (1994). *Tipos de vegetación de la Península de Yucatán*. En J.S Flores Eds. *Etnoflora Yucatanense*. Universidad Autónoma de Yucatán: Yucatán, Mérida Yucatán, México. 135 pp.
- Flores-Crespo, R., Burns, R. J., y Linhart, S. B. (1971). Comportamiento del vampiro (*Desmodus rotundus*) durante su alimentación en ganado bovino en cautiverio. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, (18), 33-a.
- Flores-Crespo, R., Fernández, S. S., Burns, R. J., y Mitchell, G. C. (1974). Observaciones sobre el comportamiento del vampiro común (*Desmodus rotundus*) al alimentarse en condiciones naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, (27), 39-39.
- Francis, C. (1989). A comparison of mist nets and two designs of harp traps for capturing bats. *Journal of Mammalogy* 70(4): 865-870.
- Fuentes-Moreno, H. (2010). *Estructura del ensamble de murciélagos de La Venta, Oaxaca, México* (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional).
- Fundación de Parques y Museos de Cozumel (FPMC). (2021). Registro bioacústico de murciélagos en la isla de Cozumel. Cozumel, Quintana Roo: FPMC.
- García-Luis, M., y Briones-Salas, M. (2017). Composición y actividad de la comunidad de murciélagos artropodívoros en parques eólicos del trópico mexicano. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(4), 888-898. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.018>
- González-Marín, E. G., y López-Ortiz, B. L. (2021). *Diversificación del género *Platyrrhinus* Saussure, 1860 (Mammalia, chiroptera) en el neotrópico*. (Plan de trabajo para título de licenciatura, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN).
- Griffin, D. (2001). Return to the magic well: Echolocation behavior of bats and responses of insect prey. *BioScience* 51:555-556.
- Griffin, D., Webster, F., y Michael, C. (1960). The echolocation of flying insects by bats. *Animal Behaviour* 3:141-154.

- Guzmán-Soriano, D., Vargas-Contreras, J. A., Cú-Vizcarra, J. D., Escalona-Segura, G., Retana-Guiascón, O. G., González-Christen, A., Benítez-Torres, J. A., Arroyo-Cabrales, J., Puc-Cabrera, J. C., y Victoria-Chán, E. (2013). Registros notables de mamíferos para Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 29(2), 269–286.
- Hayes, J. P. (1997). Temporal variation in activity of bats and the design of echolocation-monitoring studies. *Journal of Mammalogy*, 78(2), 514–524. <https://doi.org/10.2307/1382902>
- Hernández, F., Gómez, A., y Pérez, J. (2000). Sequías meteorológicas en México: evaluación y tendencias. *Revista Mexicana de Meteorología*, 15(2), 45–58.
- Hernández-Díaz, D. I., Aguilar-Rodríguez, P. A., y Bolívar-Cimé, B. (2025). ¿Cómo los murciélagos escuchan el mundo invisible? *Therya ixmana*, 4(1), 52-54.
- Herrera-Silveira, J.A. (1994) Correlaciones de parámetros hidrológicos de la laguna de Celestún, Yucatán. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 21 (1): 43-53.
- Houghton, D. D. (2002). *Introduction to climate change: Lecture notes for meteorologists*. WMO-No. 926. Secretariat of the World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
- Hunt, F. V. (1954). *Electroacoustics: the analysis of transduction, and its historical background*. Harvard University Press.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2012). *Perspectiva Estadística Campeche*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). *Aspectos geográficos de Campeche: Compendio 2022* (37 pp.). INEGI. México. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463913955>
- Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R., y Racey, P. A. (2009). Carpe noctem: The importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*, 8(1), 93–115. <https://doi.org/10.3354/esr00182>
- Jung, K., Kalko, E. K. V., y von Helversen, O. (2007). Echolocation calls in Central American emballonurid bats: signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology*, 272(2), 125–137. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2006.00249.x>
- Jung, K., Molinari, J., y Kalko, E. K. (2014). Driving factors for the evolution of species-specific echolocation call design in new world free-tailed bats (Molossidae). *PloS one*, 9(1), e85279.
- Koopman, K. F. (1984). A synopsis of the families of bats, Part VII. *Bat Research News* 25:25-27.
- Koopman, K. F. (1994). Chiroptera: Systematics. *Handbook of Zoology: Mammalia, vol. 8*. W. de Gruyter & Co. Berlín, Alemania.
- Kraker-Castañeda, C., García-García, J.L., Santos-Moreno, A. (2013). Riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros aéreos en una selva tropical y pastizales en Oaxaca, México. *Mastozoología Neotropical*, 20(2):255-267, Mendoza, 2013. ISSN 1666-0536.
- Krishnamurti, T. N., Stefanova, L., y Misra, V. (1979). *Tropical meteorology*. Geneva, Switzerland: Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Kunz, T. H. y Parson, L. (2009). *Ecological and behavioral methods for the study of bats*. 2nd edition. Johns Hopkins University Press, Baltimore.

- Kunz, T. H., y A. Kurta. (1988). Capture methods and holding devices. Pp. 1-29, in *Ecological and behavioral methods for the study of bats* (T. H. Kunz, ed.). Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., 533 pp.
- Larson, D. J., y Hayes, J. P. (2000). Variability in echolocation call structure of silver-haired bats (*Lasionycteris noctivagans*): The influence of call frequency, habitat, and ambient noise. *Journal of Mammalogy*, 81(3), 758–770. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2000\)081](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2000)081)
- Lisón, F. (2011). Clave de identificación para las llamadas de ecolocación de los murciélagos de la Península Ibérica. 10.13140/RG.2.1.3108.4966.
- MacSwiney, M. C., Clarke, F. M., y Racey, P. A. (2009). Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica*, 11(1), 139–147. <https://doi.org/10.3161/150811009X465758>
- MacSwiney, M.C., Clarke, F. M., y Racey, P. A. (2008). What you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology* 45:1364-1371.
- Magaña, V., Conde, C., y Gay, C. (1999). *La cañícula en México: un análisis de sus causas y efectos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
- Maina, J. N. (2000). What it takes to fly: the structural and functional respiratory refinements in birds and bats. *Journal of Experimental Biology*, 203(20), 3045-3064.
- Makanya, A. N., y Mortola, J. P. (2007). The structural design of the bat wing web and its possible role in gas exchange. *Journal of anatomy*, 211(6), 687-697.
- Mantilla-Meluk, H. (2014). Defining species and species boundaries in *Uroderma* (Chiroptera: Phyllostomidae) with a description of a new species. *Occasional papers*, number 325.
- Márdero, S., Nickl, E., Schmook, B., Schneider, L., Rogan, J., Christman, Z., y Lawrence, D. (2012). Sequías en el sur de la península de Yucatán: Análisis de la variabilidad anual y estacional de la precipitación. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 78, 19–33.
- Marín-Ventura A., Rosas-Durán L., Sierra-Durán C., Arroyo-Cabrales J., Medellín R.A. (2025). Diversity, conservation, and endemism of the bats (Chiroptera) of Mexico. *ZooKeys* 1261: 17-38. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1261.163471>
- Martínez-Medina, D. Sánchez, J., Zúrc, D., Sánchez, F., Otálora-Ardila, A., Restrepo-Giraldo, C., AcevedoCharry, O., Hernández-Leal, F. y Lizcano, D. (2021). Estándares para registrar señales de ecolocalización y construir bibliotecas de referencia de murciélagos en Colombia. *Biota Colombiana*, 22(1), 36-56 <https://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a03>
- Medellín, R. A., y Viquez-R, L. R. (2014). *Los murciélagos como bioindicadores de la perturbación ambiental*. Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. México: Editorial S y G, 521-539.
- Medina, J. (2013). *Teoría básica (I): frecuencia y amplitud*. Hispasonic. Recuperado de <https://www.hispasonic.com/tutoriales/teoria-basica-i-frecuencia-amplitud/37991>
- Mejenes-López, S.M., Góngora-Julián, L., Ku-Mijangos, J., Vargas Contreras, J., Lee-Borges, B., Pérez-Sánchez, E., Baeza-Narváez, S., Ballina-Ortíz, F., Cohuo-Ávila, M., Uco-Polanco, J., y Cu-Escamilla, E. (2024). Diversidad de especies de murciélagos en ranchos agropecuarios, Campeche, México. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época)*. 14. 10.22201/ie.20074484e.2024.14.2.405.

- Meyer, C. F. J., Aguiar, L. M. S., Aguirre, L. F., Baumgarten, J., Clarke, F. M., Cosson, J.-F., y Kalko, E. K. V. (2011). Accounting for detectability improves estimates of species richness in tropical bat surveys. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 777-787. <https://doi.org/10.1111/j.1365->
- Microsoft Corporation. (2013). *Microsoft Excel* (Versión 15.0) [Software]. Microsoft. <https://www.microsoft.com>
- Miranda, F., y Hernández-X, E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Botanical Sciences*, (28), 29-179.
- Möhres, F y Kulzer, E. (1956). Über die Orientierung der Flughunde (Chiroptera -Pteropodidae). *Zeitschrift Für Vergleichende Physiologie*, 38(1-2), 1–29. <http://doi.org/10.1007/BF00338621>
- Mora, E. C., Macías, S., Vater, M., Coro, F., y Kössl, M. (2004). Specializations for aerial hawking in the echolocation system of *Molossus molossus* (Molossidae, Chiroptera). *Journal of Comparative Physiology A*, 190(7), 561-574.
- Mosquera-Moreno, H. (2013). *La naturaleza del sonido*. Instituto de Tecnologías Educativas del Ministerio de Educación. Recuperado de <https://elmundodelafisicaalalcancedetodo.weebly.com/el-sonido.html>
- Negrín, I. V., Pérez, D. L., Urgel, H. E. M., Sánchez, C. A. M., y Acosta, O. C. (2010). Estructura y composición florística de vegetación inundable en la División Académica de Ciencias Biológicas, Villahermosa, Tabasco. *Kuxulkab'*, 17(31).
- Neuweiler, G. (1984). *Auditory basis of echolocation in bats*. Pages 115-141 in L. Bolis, R. D. Keynes, and S. H. P. Maddrell, editors. *Comparative Physiology of Sensory Systems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Obrist, M. K. (1995). Flexible bat echolocation: the influence of individual, habitat and conspecifics on sonar signal design. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 36(3), 207–219. <https://doi.org/10.1007/BF00177798>
- Orellana, C., Martínez, L., y Torres, R. (2009). Estudio de la canícula y la pre-estival en la Península de Yucatán. *Boletín de Geografía*, 35, 75–88.
- Orellana-Lanza, R., Espadas-Manrique, C. y Nava-Marín, F. (2010). Climas. En: Durán, R. y Méndez, M. Eds., *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 508 pp.
- Organización Meteorológica Mundial. (2008). *Vocabulario meteorológico internacional* (3.ª ed.). Ginebra, Suiza: OMM. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4592
- Orozco-Lugo, L., Guillén-Servent, A., Valenzuela-Galván, D., y Arita, H.T. (2013). Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya*, 4(1), 33-46. <https://doi.org/10.12933/therya-13-103>.
- Ortega, J., MacSwiney, C. G., y Zamora-Gutiérrez, V. (2022). *Compendio de los llamados de ecolocalización de los murciélagos insectívoros mexicanos*. Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C. (AMMAC).
- Palacio-Aponte, A. G., Bautista-Zuñiga, F., y Ortiz-Pérez, M. A. (2010). Relieve. Pp 8-15. En: *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado* (Villalobos Zapata, G. J., y Mendoza Vega, J, coord.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno de Estado de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. Campeche, México.

- Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Morales-Garduza, M. A., López-Castañeda, A., Shirma-Torres, E. D., Sánchez-Hernández, R., Peña-Peña, A. J. y Tinal-Ortiz, S. (2017). Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *Agroproductividad: Vol. 10*, Núm 12. 12, diciembre. 2017. Pp: 71-78.
- Parsons, S., y Szewczak, J. M. (2009). Detecting, recording, and analyzing the vocalizations of bats. In T. H. Kunz y S. Parsons (Eds.), *Ecological and behavioral methods for the study of bats* (2nd ed., pp. 91–111). Johns Hopkins University Press.
- Pech-Canche, J.M., C. MacSwiney y E. Estrella. (2010). Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya*, 1:221-227.
- Pérez-Vega, C. (2017). *2 Sonido y audición*. Universidad de Cantabria, Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones.
- Pinilla-Cortes, P. C., y Rodríguez-Bolaños, A. (2017). Bioacoustical characterization of Phyllostomidae bats in Colombian low montane rain forest. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 7(2), 119-133.
- Rebolledo-Vieyra, M. (2010). Hidrología. Pp. 2-7, en: *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*. (Villalobos-Zapata G.J. y J. Mendoza-Vega, Coords.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México.
- Rivas-Camo, N.A., Sabido-Villanueva, P.A., Peralta-Muñoz, C., y Medellín, R. (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. 10.3897/zookeys.973.53185.
- Rivera-Parra, P., y Burneo, S. F. (2013). Primera biblioteca de llamadas de ecolocalización de murciélagos del Ecuador. *Therya*, 4(1), 79-88. <https://doi.org/10.12933/therya-13-104>
- Rizo-Aguilar, A., Ávila-Torresagatón, L.G., Fuentes-Vargas, L., Lara-Nuñez, A.C., Flores-Nuñez, G.I., y Albino-Miranda, S. (2015). Técnicas para el estudio de los murciélagos. *Manual de técnicas del estudio de la fauna*, 163-188.
- Russ, J. (2012). *British bat calls: A guide to species identification*. Pelagic Publishing.
- Russell, E. W., Williams, A. G., y Jones, D. (1970). *Meteorology and climatology: An introduction to weather and climate*. London: Macmillan.
- Rydell, J., Arita, H. T., Santos, M., y Granados, J. (2002). Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatán, México. *Journal of Zoology* 257(1), 27–36. <https://doi.org/10.1017/S0952836902000660>
- Sampedro-Marín, A.C., Martínez-Bravo, C.M., Mercado-Ricardo, A.M., Osorio-Ozuna, S.C., Otero-Fuentes, Y.L., Santos-Espinosa, L.M., y Díaz-Tono, R. (2008). REFUGIOS, PERÍODO REPRODUCTIVO Y COMPOSICIÓN SOCIAL DE LAS POBLACIONES DE *Desmodus rotundus* (Geoffroy, 1810) (CHIROPTERA: PHYLLOSTOMIDAE), EN ZONAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE SUCRE, COLOMBIA. *Caldasia*, 30(1), 127-134.
- Sánchez-Rivera, G., Terán-Cuevas, Á. R., Frausto-Martínez, O., y Gómez-Mendoza, L. (2021). Caracterización de lluvias en temporada de huracanes en el norte de la Península de Yucatán. *Congreso Mesoamericano de Investigación UNACH*, 8, 39–45.

- Scheffer, K. C., De Barros R.F., Iamamoto K., Mori E., Asano K.M., Achkar S.M., y Fahl W.D.O. (2015). *Diphylla ecaudata* y *Diaemus youngi*: Biología y comportamiento. *Acta zoológica mexicana*, 31(3), 436-445.
- Schmitter-Soto, J. J., Comín, F. A., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías-Gutiérrez, M., Díaz-Arce, V., Marín, L. E. y Steinich, B. (2002). Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467(1), 215-228.
- Schnitzler, H. U., Moss, C. F., y Denzinger, A. (2003). From spatial orientation to food acquisition in echolocating bats. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(8), 386-394.
- Schnitzler, H.U. y Kalko, E. (2001). Echolocation by Insect-Eating Bats. *BioScience* 51:557-569.
- Schöner C. R, Schöner M. G. y Kerth G. (2010). Similar is not the same: social calls of conspecifics are more effective in attracting wild bats to day roosts than those of other bat species. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 64: 2053–2063
- Schultze, M. D., N. E. Seavy, and D.F. Whitacre. (2000). A comparison of the phyllostomid bat assemblages in undisturbed neotropical forest and in forest fragments of a slash and burn farming mosaic in Petén, Guatemala. *Biotropica*. 32(1):174–184.
- Simmons, N.B. y Cirranello, A.L. (2025). Bat Species of the World: A taxonomic and geographic database. Version 1.7. Accessed on 06/17/2025. batnames.org
- Solari, S, y Martínez-Arias, V. (2014). Cambios recientes en la sistemática y taxonomía de murciélagos Neotropicales (Mammalia: Chiroptera). *Therya*, 5(1), 167-196. <https://doi.org/10.12933/therya-14-180>
- Teeling, E. C., Springer, M. S., Madsen, O., Bates, P., O'Brien, S. J., y Murphy, W. J. (2005). A molecular phylogeny for bats illuminates biogeography and the fossil record. *Science*, 307(5709), 580–584. <https://doi.org/10.1126/science.1105113>
- Thies W, Kalko EKV y Hans-Ulrich S. (1998). The roles of echolocation and olfaction in two Neotropical fruit-eating bats, *Carollia perspicillata* and *C. castanea*, feeding on *Piper*. *Behav Ecol Sociobiol*. 42 (6): 397-409.
- Tippens, P. E. (1996). *Física: conceptos y aplicaciones* (5ta edición). McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A de C.V.
- Torres-Puente, V.M. (2019). Tiempo, clima y los fenómenos atmosféricos: desde torbellinos hasta cambio climático. *Revista Digital Universitaria (RDU)*. Vol. 20, núm. 1 enero-febrero. DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a3>
- Tubaro, P. L. (1999). Bioacústica aplicada a la sistemática, conservación y manejo de poblaciones naturales de aves. *Etología*, 7(3), 19-32.
- Tuttle, M. D. (1974). An improved trap for bats. *Journal of Mammalogy*, 55:475-477.
- Ugarte-Núñez, J. A. (2020). Clave de identificación por ecolocación de 20 especies de murciélagos del suroeste de Perú. *Ciencia & Desarrollo*, (27), 37-48.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Programa de Investigación en Cambio Climático / Atmosfera. (2008). Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. <https://www.atmosfera.unam.mx/wp-content/uploads/2017/12/agua-y-clima.pdf>

- Vargas-Contreras, J.A., Escalona-Segura, G., Arroyo-Cabrales, J., Rendon Von Osten, J., y Navarro, L. (2012). Conservación de Murciélagos en Campeche. *Therya*, 3(1), 53-66. <https://doi.org/10.12933/therya-12-56>
- White, W.B. (1988). Geomorphology and hydrology of karst terrains. *Oxford University Press*. New York. 464 p.
- Wildlife Acoustics, Inc. (2023). Kaleidoscope Pro version 5.7.0 user guide [Manual de usuario]. Wildlife Acoustics, Inc. <https://www.wildlifeacoustics.com/uploads/user-guides/Kaleidoscope.pdf>
- Williams-Guillén, K y Perfecto, I. (2011). Ensemble composition and activity levels of insectivorous bats in response to management intensification in coffee agroforestry Systems. *PlosONE* 6:1-10.
- Wilson, D. E. 2009. Clase mammalia (Mammals). Páginas 19–49 en D. E. Wilson y R. A. Mittermeier, editores. *Handbook of the mammals of the world*. Vol. 1. Carnivores. Lynx Editions, Barcelona.
- Zamora-Gutiérrez, V. (2017). Estudio y monitoreo acústico de murciélagos mexicanos: Ecolocalización [Conferencia]. Jornadas Mastozoológicas, Mérida, México.
- Zamora-Gutierrez, V., Ortega, J., Ávila-Flores, R., Aguilar-Rodríguez, P. A., Alarcón-Montano, M., Avila-Torresagatón, L. G.,... y MacSwiney G, M. C. (2020). The Sonozotz project: Assembling an echolocation call library for bats in a megadiverse country. *Ecology and Evolution*, 10(11), 4928-4943.

11. Anexos

Anexo 1

Clasificación de murciélagos del estado de Campeche y sus hábitos alimenticios.

Modificado a partir de Vargas-Contreras *et al.* (2012).

ORDEN CHIROPTERA Blumenbach, 1779

SUBORDEN YANGOCHIROPTERA Koopman, 1985

FAMILIA EMBALLONURIDAE Gervais, 1856

<i>Peropteryx kappleri</i> (Peters, 1867)	Insectívoro
<i>Peropteryx macrotis</i> (Wagner, 1843)	Insectívoro
<i>Rhynchonycteris naso</i> (Wied-Neuwied, 1820)	Insectívoro
<i>Saccopteryx bilineata</i> (Temminck, 1838)	Insectívoro

FAMILIA MOLOSSIDAE Gervais, 1856

<i>Cynomops mexicanus</i> (Jones & Genoways, 1967)	Insectívoro
<i>Eumops glaucinus</i> (Wagner, 1843)	Insectívoro
<i>Eumops underwoodi</i> (Goodwin, 1940)	Insectívoro
<i>Molossus molossus</i> (Pallas, 1766)	Insectívoro
<i>Molossus nigricans</i> (Miller, 1902)	Insectívoro
<i>Molossus sinaloae</i> (J. A. Allen, 1906)	Insectívoro
<i>Nyctinomops laticaudatus</i> (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1805)	Insectívoro
<i>Promops centralis</i> (Thomas, 1915)	Insectívoro

FAMILIA NATALIDAE Gray, 1866

<i>Natalus mexicanus</i> (Miller, 1902)	Insectívoro
---	-------------

FAMILIA VESPERTILIONIDAE Gray, 1821

<i>Bauerus dubiaquercus</i> (Van Gelder, 1959)	Insectívoro
<i>Myotis elegans</i> (Hall, 1962)	Insectívoro
<i>Myotis extremus</i> (Miller & Allen, 1928)	Insectívoro
<i>Myotis pilosatibialis</i> (LaVal, 1973)	Insectívoro
<i>Lasiurus ega</i> (Gervais, 1856)	Insectívoro
<i>Lasiurus frantzii</i> (Peters, 1870)	Insectívoro
<i>Lasiurus intermedius</i> (H. Allen, 1862)	Insectívoro
<i>Neoptesicus furinalis</i> (d'Orbigny & Gervais, 1847)	Insectívoro
<i>Rhogeessa aenea</i> (Goodwin, 1958)	Insectívoro

FAMILIA MORMOOPIDAE Saussure, 1860

<i>Mormoops megalophylla</i> (Peters, 1864)	Insectívoro
<i>Pteronotus fulvus</i> (Thomas, 1892)	Insectívoro
<i>Pteronotus gymnonotus</i> (J.A. Wagner, 1843)	Insectívoro
<i>Pteronotus mesoamericanus</i> (Smith, 1972)	Insectívoro
<i>Pteronotus psilotis</i> (Dobson, 1878)	Insectívoro

FAMILIA NOCTILIONIDAE Gray, 1821

<i>Noctilio leporinus</i> (Linnaeus, 1758)	Carnívoro
--	-----------

FAMILIA PHYLLOSTOMIDAE Gray, 1825

<i>Lampronycteris brachyotis</i> (Dobson, 1879)	Insectívoro
<i>Micronycteris microtis</i> (Miller, 1898)	Insectívoro
<i>Micronycteris schmidtorum</i> (Sanborn, 1935)	Insectívoro
<i>Desmodus rotundus</i> (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1810)	Sanguinívoro
<i>Diphylla ecaudata</i> (Spix, 1823)	Sanguinívoro
<i>Chrotopterus auritus</i> (Peters, 1856)	Carnívoro
<i>Gardnerycteris keenani</i> (Handley, 1960)	Insectívoro
<i>Lophostoma nicaraguae</i> (Goodwin, 1942)	Insectívoro
<i>Lophostoma evotis</i> (W. B. Davis & Carter, 1978)	Insectívoro
<i>Mimon cozumelae</i> (Goldman, 1914)	Insectívoro
<i>Trachops coffni</i> (Goldman, 1925)	Carnívoro
<i>Vampyrus spectrum</i> (Linnaeus, 1758)	Carnívoro
<i>Glossophaga mutica</i> (Merriam, 1898)	Nectarívoro
<i>Carollia perspicillata</i> (Linnaeus, 1758)	Frugívoro
<i>Carollia sowelli</i> (Baker, Solari & Hoffmann, 2002)	Frugívoro
<i>Glyphonycteris sylvestris</i> (Thomas, 1896)	Insectívoro
<i>Artibeus jamaicensis</i> (Leach, 1821)	Frugívoro
<i>Artibeus lituratus</i> (Olfers, 1818)	Frugívoro
<i>Centurio senex</i> (Gray, 1842)	Frugívoro
<i>Chiroderma salvini</i> (Dobson, 1878)	Frugívoro
<i>Chiroderma villosum</i> (Peters, 1860)	Frugívoro
<i>Dermanura phaeotis</i> (Miller, 1902)	Frugívoro
<i>Dermanura watsoni</i> (Thomas, 1901)	Frugívoro
<i>Platyrrhinus helleri</i> (Peters, 1866)	Frugívoro
<i>Sturnira parvidens</i> (Goldman, 1917)	Frugívoro
<i>Uroderma davisii</i> (Baker & McDaniel, 1972)	Frugívoro
<i>Vampyressa thuyone</i> (Thomas, 1909)	Frugívoro

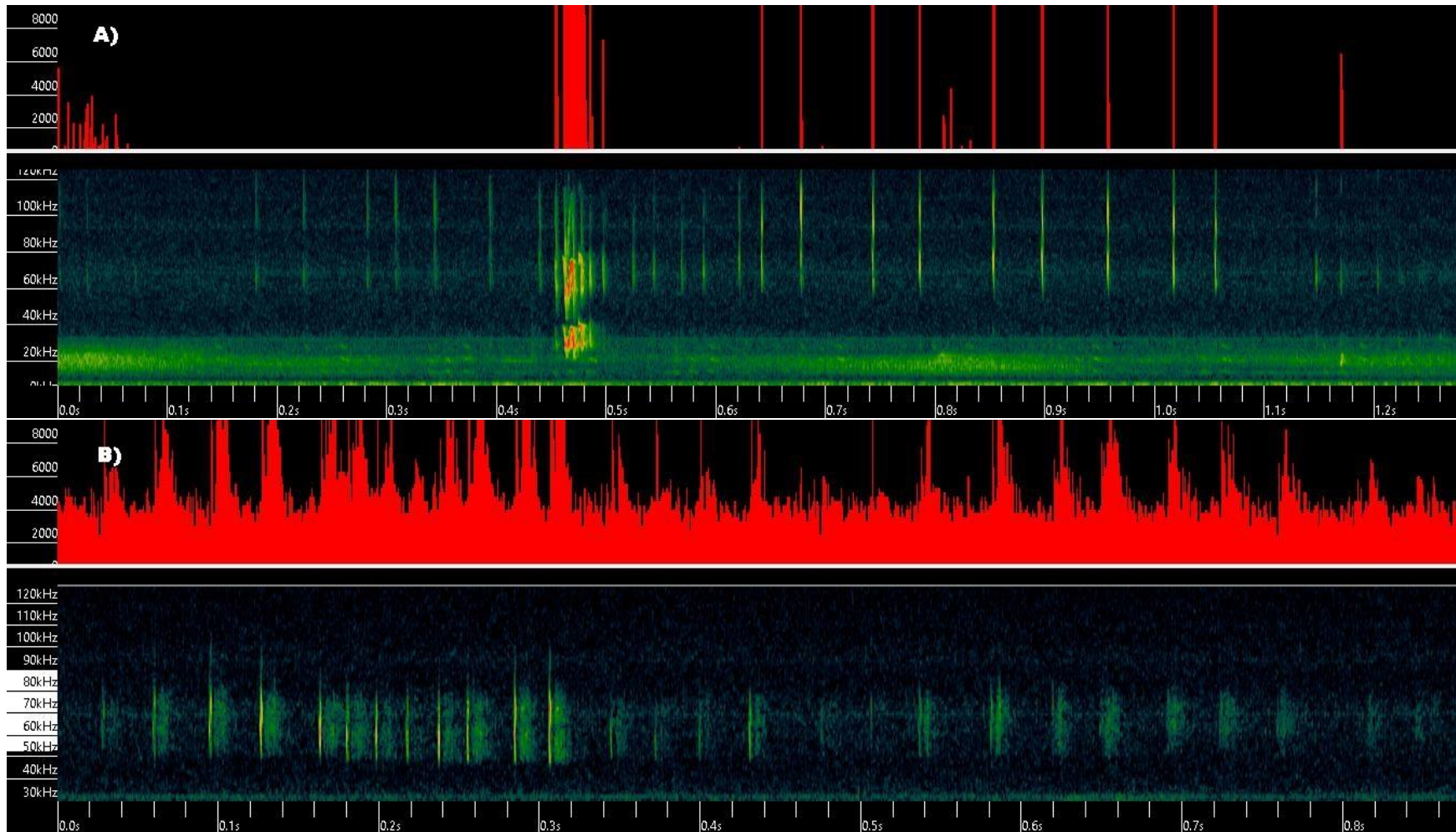
Anexo 2

Especies de murciélagos recomendadas para la región del Neotrópico, México. Las etiquetas son el ID predeterminado para la especie dentro del software y el nombre científico por etiqueta.

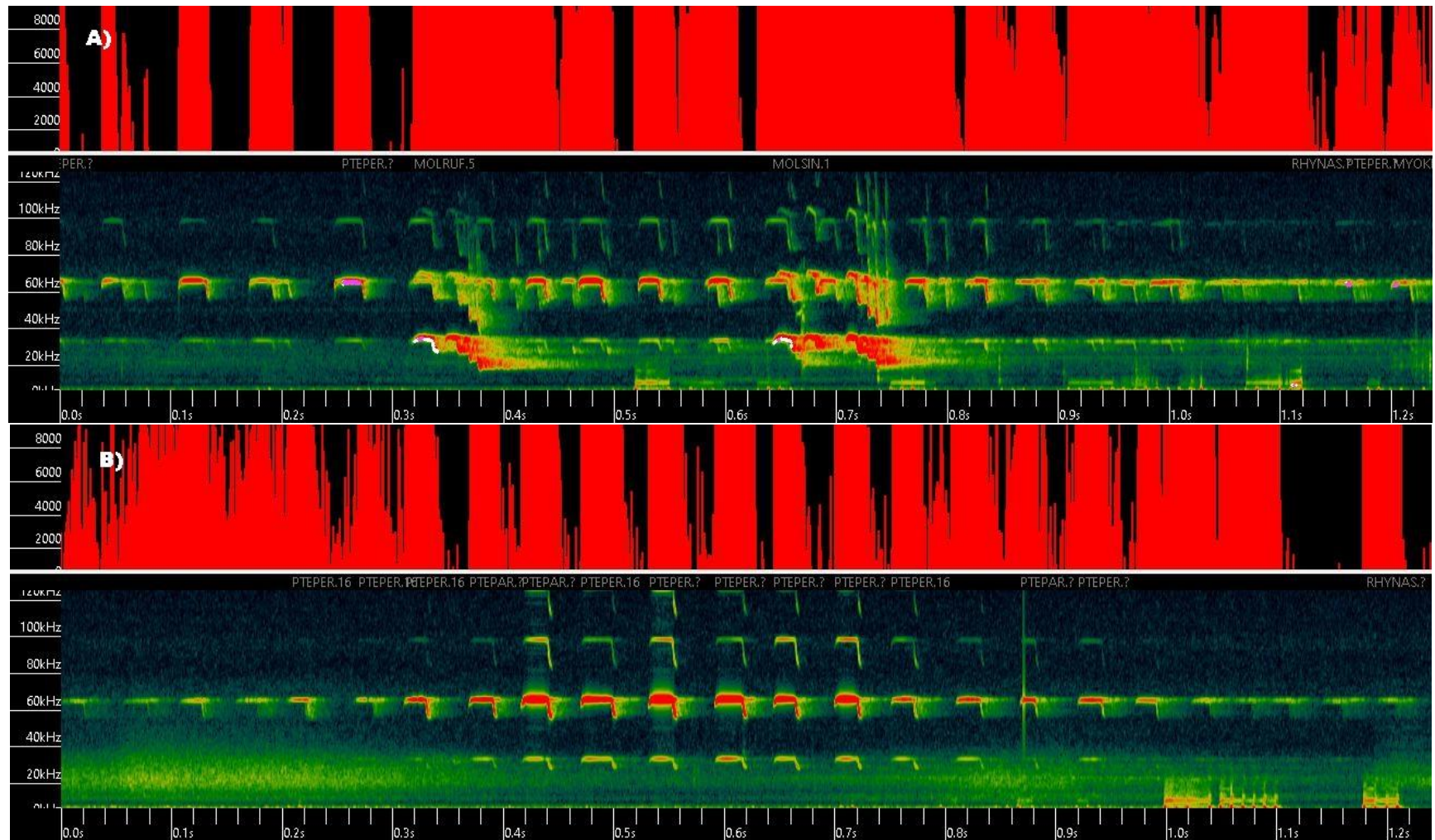
Etiquetas	Nombre científico	Nombre común
ANTPAL	<i>Antrozous pallidus</i>	Pallid bat
BALIO	<i>Balantiopteryx io</i>	Thomas's sac-winged
BALPLI	<i>Balantiopteryx plicata</i>	Gray sac-winged
BAUDUB	<i>Bauerus dubiaquercus</i>	Van Gelder's
CENCEN	<i>Centronycteris centralis</i>	Thomas's shaggy
CENMAX	<i>Centronycteris maximiliani</i>	Shaggy
CORTOW	<i>Corynorhinus townsendii</i>	Townsend's big-eared
CYNMEX	<i>Cynomops mexicanus</i>	Mexican dog-faced
DICALB	<i>Diclidurus albus</i>	Northern ghost
EPTBRA	<i>Eptesicus brasiliensis</i>	Brazilian brown
EPTFUR	<i>Eptesicus furinalis</i>	Argentine brown
EPTFUS	<i>Eptesicus fuscus</i>	Big brown
EUDMAC	<i>Euderma maculatum</i>	Spotted

EUMGLA	<i>Eumops glaucinus</i>	Eumops floridanus
EUMPER	<i>Eumops perotis</i>	Western Mastiff
EUMUND	<i>Eumops underwoodi</i>	Underwood's bonneted
LASBLO	<i>Lasiurus blossevillii</i>	Desert red
LASCIN	<i>Lasiurus cinereus</i>	Hoary
LASEGA	<i>Lasiurus ega</i>	Southern yellow
LASINS	<i>Lasiurus insularis</i>	Cuban Yellow
LASINT	<i>Lasiurus intermedius</i>	Northern yellow
LASSEM	<i>Lasiurus seminolus</i>	Seminole
LASXAN	<i>Lasiurus xanthinus</i>	Western Bat
MACCAL	<i>Macrotus californicus</i>	California leaf-nosed
MOLMOL	<i>Molossus molossus</i>	Velvety free-tailed
MOLRUF	<i>Molossus rufus</i>	Black mastiff
MOLSIN	<i>Molossus sinaloae</i>	Sinaloan mastiff
MOLTEM	<i>Molossops temminckii</i>	Dwarf dog-faced
MORBLA	<i>Mormoops blainvillei</i>	Antillean ghost-faced
MORMEG	<i>Mormoops megalophylla</i>	Ghost-faced
MYOCAL	<i>Myotis californicus</i>	California myotis
MYOELE	<i>Myotis elegans</i>	Elegant myotis
MYOEVO	<i>Myotis evotis</i>	Long-eared myotis
MYOKEA	<i>Myotis keaysi</i>	Hairy-legged myotis
MYONIG	<i>Myotis nigricans</i>	Black myotis
MYOCCC	<i>Myotis occultus</i>	Arizona myotis
MYORIP	<i>Myotis riparius</i>	Riparian myotis
MYOTHY	<i>Myotis thysanodes</i>	Fringed myotis
MYOVEL	<i>Myotis velifer</i>	Cave myotis
MYOVOL	<i>Myotis volans</i>	Long-legged myotis
MYOYUM	<i>Myotis yumanensis</i>	Yuma myotis
NOCLEP	<i>Noctilio leporinus</i>	Greater bulldog
NYCFEM	<i>Nyctinomops femorosaccus</i>	Pocketed free-tail
NYCHUM	<i>Nycticeius humeralis</i>	Evening Bat
NYCLAT	<i>Nyctinomops laticaudatus</i>	Broad-eared
NYCMAC	<i>Nyctinomops macrotis</i>	Big free-tailed
PARHES	<i>Parastrellus hesperus</i>	Western pipistrelle
PERKAP	<i>Peropteryx kappleri</i>	Greater dog-like
PERMAC	<i>Peropteryx macrotis</i>	Lesser dog-like
PROCEN	<i>Promops centralis</i>	Promops Centralis
PTEDAV	<i>Pteronotus davyi</i>	Davy's naked-backed
PTEGYM	<i>Pteronotus gymnonotus</i>	Big naked-backed
PTEMAC	<i>Pteronotus macleayii</i>	Macleay's mustached
PTEPAR	<i>Pteronotus parnellii</i>	Parnell's mustached
PTEPER	<i>Pteronotus personatus</i>	Wagner's mustached
PTEQUA	<i>Pteronotus quadridens</i>	Sooty mustached
RHOAEN	<i>Rhogeessa aeneus</i>	Yucatan yellow
RHYNAS	<i>Rhynchonycteris naso</i>	Proboscis
SACBIL	<i>Saccopteryx bilineata</i>	Greater sac-winged
SACLEP	<i>Saccopteryx leptura</i>	Lesser sac-winged
TADBRA	<i>Tadarida brasiliensis</i>	Mexican free-tailed

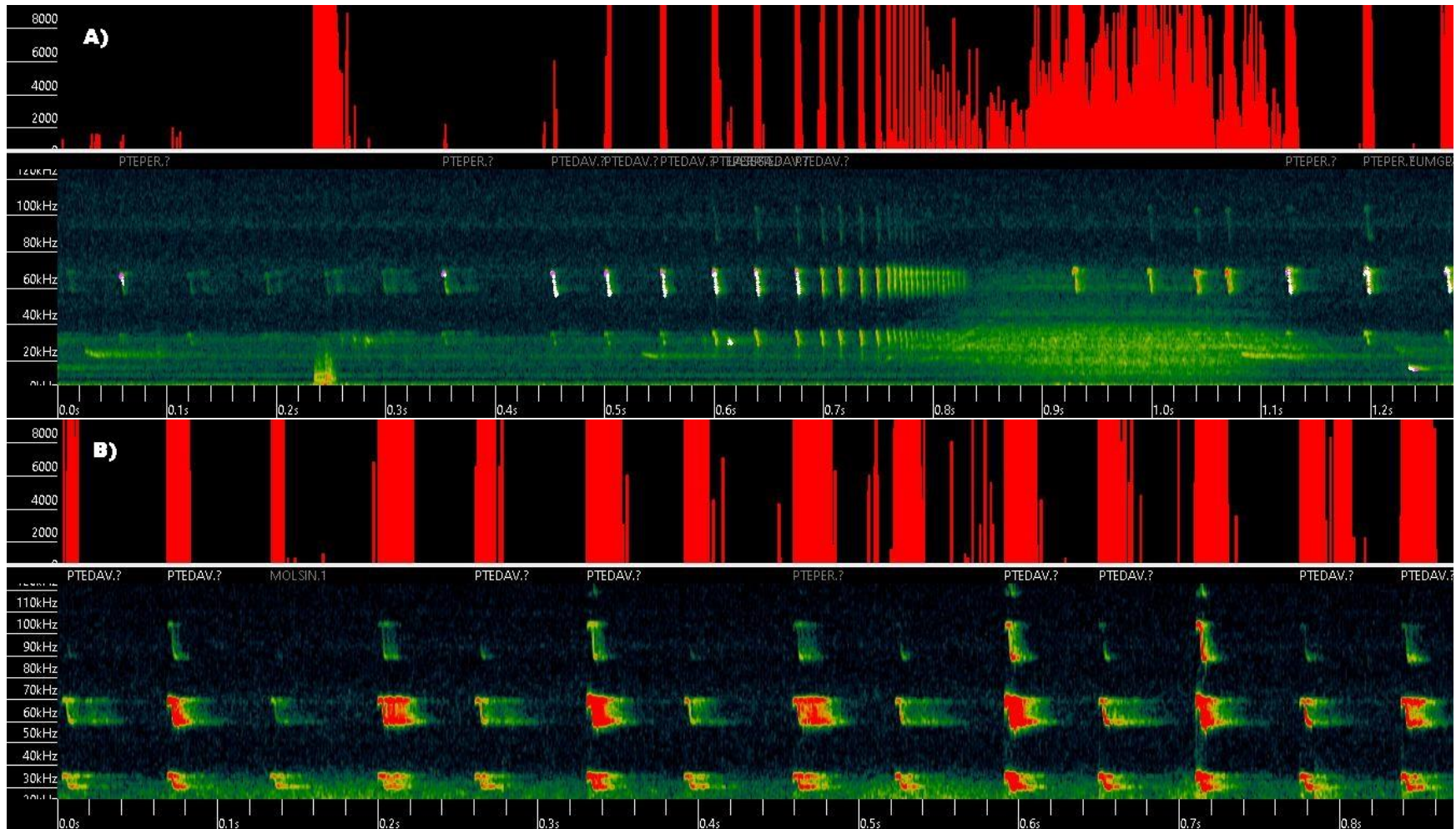
Anexo 3



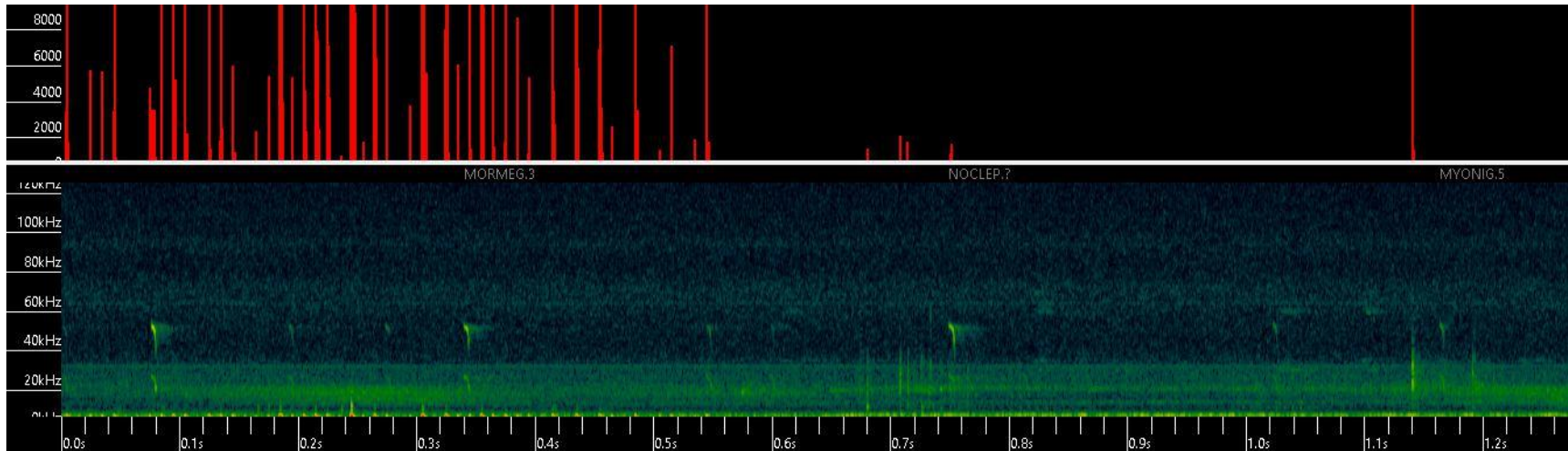
Oscilograma y espectrograma de *Vespertilionidae* sp. A) Representación del llamado social detectado. B) Llamado en fase de aproximación.



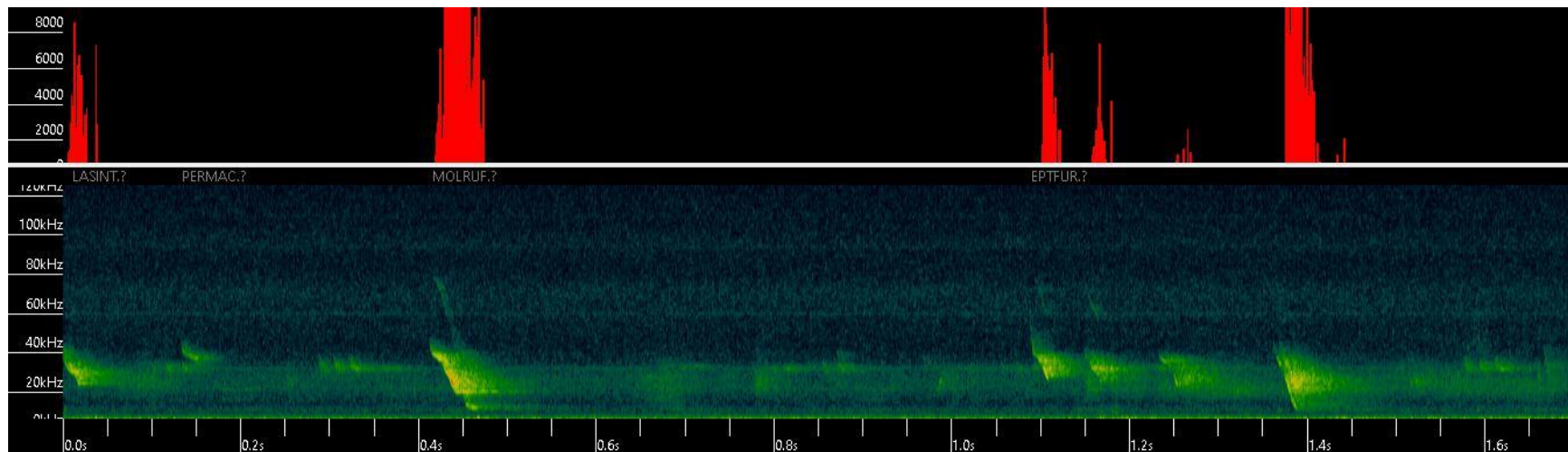
Oscilograma y espectrograma de *Pteronotus mesoamericanus*. A) Representación del llamado social detectado. B) Llamado en fase de búsqueda.



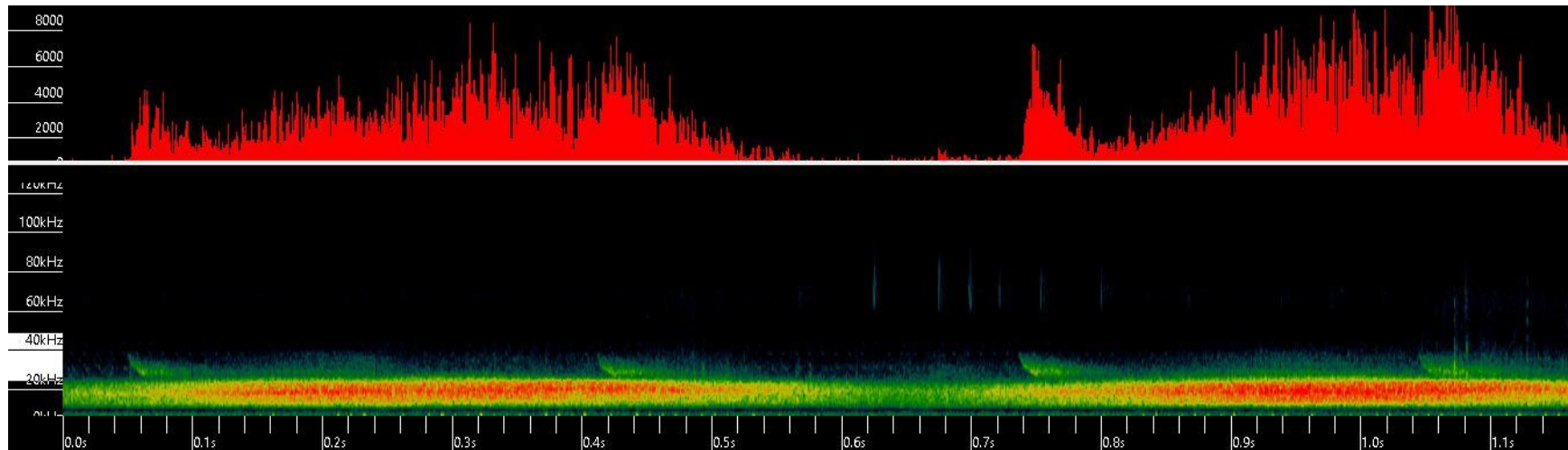
Oscilograma y espectrograma de *Pteronotus fulvus*. A) Representación del tren de alimentación detectado. B) Llamado en fase de búsqueda.



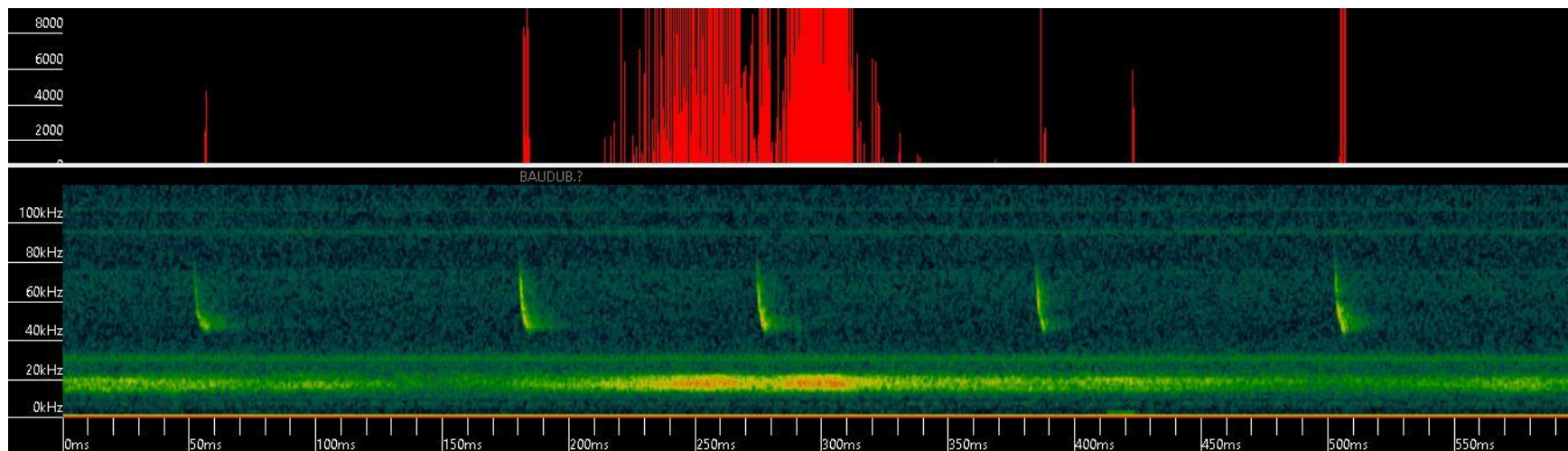
Oscilograma y espectrograma de *Mormoops megalophylla* en fase de búsqueda.



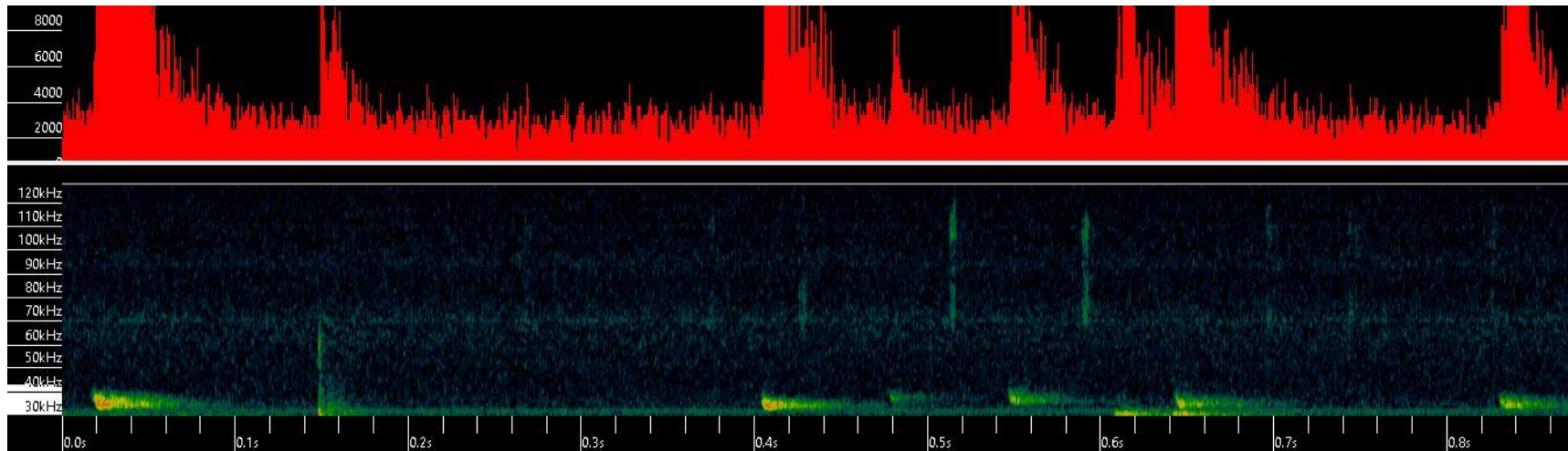
Oscilograma y espectrograma de *Molossus nigricans*.



Oscilograma y espectrograma de *Nyctinomops laticaudatus*.



Oscilograma y espectrograma de *Neoptesicus furinalis* en fase de búsqueda.



Oscilograma y espectrograma de *Molossidae* sp.

Anexo 4

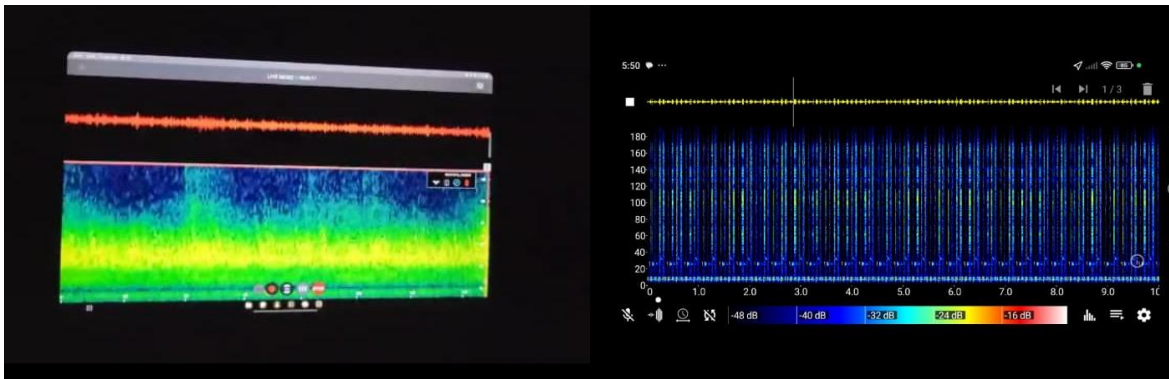
Actividades realizadas en el trabajo de campo



Selección de estaciones de muestreo, colocación de redes y manejo de especies capturadas para su determinación.



Uso de la grabadora y micrófono, Echo Meter Touch 2 Pro y Pettersson M500 u384 en las estaciones de muestreo establecidas.



Visualización de las aplicaciones Android utilizadas para la visualiación de sonogramas en los muestreos (Echo Meter para EMT2P y Grabadora de murciélago para Pettersson).