



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA
EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL, UNIDAD
OAXACA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES
(BIODIVERSIDAD DEL NEOTRÓPICO)**

**Uso de hábitat por murciélagos insectívoros en
Santa María Chimalapa, Oaxaca.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A:

BIOL. Cristian Kraker Castañeda

DIRECTOR:

Dr. José Antonio Santos Moreno

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México

Junio 2012



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 21 del mes de Mayo del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: "Uso de hábitat por murciélagos insectívoros en Santa María Chimalapa, Oaxaca "

Presentada por el alumno:

Kraker

Apellido paterno

Castañeda

materno

Cristian

nombre(s)

Con registro:

B	1	0	2	1	7	0
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA
Director de tesis

Dr. José Antonio Santos Moreno

Dr. Gabriel Ramos Fernández

Dr. Marcelo Ulises García Guerrero

Dra Demetria Martha Mondragon
Chaparro

M. en C. Sonia Trujillo Argueta

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Rafael Pérez Pacheco



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 21 del mes mayo del año 2012, el (la) que suscribe **Kraker Castañeda Cristian** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **B102170**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dr. José Antonio Santos Moreno y cede los derechos del trabajo titulado: **"Uso de hábitat por murciélagos insectívoros en Santa María Chimalapa, Oaxaca"**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó cristiankraker@hotmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Kraker Castañeda Cristian



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

AGRADECIMIENTOS

Quiero darle las gracias al pueblo de México, ya que fruto de su esfuerzo es la educación que recibí, siempre estaré en deuda.

Al Instituto Politécnico Nacional por alojarme en sus aulas y por su historia que provoca en mí admiración.

Al personal del CIIDIR-Oaxaca, por hacer de esta una bonita experiencia, especialmente a Carlos, Indalecio, Emilio, Ricardo, Héctor, Nallely, Guille, Apólito, Betsabé y Alicia.

A todos los amigos de la cancha, me la pasé muy bien con ustedes, nunca se me olvida la del mezcal...

A Oaxaca, por la inspiración que provoca su riqueza cultural, tradiciones y lucha, su hermosa naturaleza, y una magia inexplicable que me atrapó.

A esos pequeños seres que me han causado fascinación y me han permitido ver la vida de una manera distinta.

A José Antonio Santos Moreno por su asesoría, consejos, confianza y amistad brindada en todo momento.

A José Luis García García por el apoyo para llevar a cabo esta investigación, por compartir sus conocimientos y su amistad.

A mis amigos Carlos, Nancy, Luis, Paulina, Rosa, Tonatiuh, Abi, Stig, Raquel, Pancho, Astrid, Jesús, Hugo, Marco, Yurani, Arturo, Gaby y Leidi, siempre estarán en mi corazón.

A la familia Jarquín González, por acogerme y hacerme sentir parte de ustedes, les tengo un inmenso cariño.

A Jani, gracias por estar aquí junto a mí, al verte a los ojos sé que con amor entendés cada una de mis locuras.

DEDICATORIA

A mi mamá, sé que para ti era una ilusión que yo volviera, aquí están algunos de los mejores recuerdos de tu vida, ahora entiendo mejor. A mi hermano, por que he estado ausente pero te tengo siempre en mi corazón y mente. A la memoria de mi abuela, siempre te recuerdo, estoy seguro que tendríamos muchas cosas de qué conversar. A mi familia, sé que siempre he contado con ustedes. A México, la tierra que dejó algo en mí hace muchos años y ahora me recibe con los brazos abiertos. A mi Guatemala, cada vez que regrese a vos respiraré hondo y me sentiré en casa.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1.

Marco teórico	8
<i>La ecolocalización en los murciélagos insectívoros</i>	8
<i>Detectores de ultrasonido como herramienta para el estudio de murciélagos</i>	10
<i>Factores de importancia en el estudio de los murciélagos insectívoros</i>	12
Antecedentes	15
<i>Estudios previos sobre murciélagos insectívoros en México</i>	15
<i>Estudios previos sobre murciélagos insectívoros en Oaxaca</i>	16
Justificación	19
Referencias	21

CAPITULO 2.

<i>Abstract</i>	28
<i>Introducción</i>	29
<i>Materiales y Métodos</i>	30
<i>Resultados</i>	35
<i>Discusión</i>	37
<i>Agradecimientos</i>	43
<i>Resumen</i>	43
<i>Referencias</i>	44

CAPITULO 3.

<i>Conclusiones</i>	56
---------------------	----

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Sitios de muestreo en áreas con predominio de selva alta perennifolia y pastizales en Santa María Chimalapa, Oaxaca, México.....50
- Figura 2.** Espectrogramas de los murciélagos insectívoros detectados en selva alta perennifolia y pastizales en Santa María Chimalapa, Oaxaca. La escala no se encuentra en tiempo real, está comprimida para visualizar mayor cantidad de pulsos. **a**= *Pteronotus parnellii*, **b**= *Lasiurus ega*, **c**= *Saccopteryx bilineata*, **d**= Molossidae 1, **e**= *Myotis* sp. 2, **f**= *Balantiopteryx plicata*, **g**= *P. davyi*, **h**= *B. io*, **i**= Sonotipo 1, **j**= *Molossus* sp., **k**= *Myotis* sp. 1, **l**= *Eumops* sp. y **m**= *Eptesicus furinalis*.....52
- Figura 3.** Curva de acumulación de especies en selva alta perennifolia y pastizales de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. Los períodos de 30 minutos inician a partir de la puesta del sol. S= riqueza de especies, Sel= selva alta perennifolia, Pas= pastizales.....54
- Figura 4.** Promedio de actividad relativa de los murciélagos insectívoros por familia taxonómica en selva alta perennifolia (Sel) y pastizales (Pas) en Santa María Chimalapa, Oaxaca, México.....55

INDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Parámetros de las frecuencias de ecolocalización de especies de murciélagos insectívoros de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. F. máx.= frecuencia máxima, F. min.= frecuencia mínima, F. c.= frecuencia característica, n= número de pulsos.....51
- Cuadro 2.** Correlación entre la actividad relativa general de los murciélagos insectívoros y variables ambientales en Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. n= número de observaciones, ρ = coeficiente de correlación de Spearman, p= valor de significancia, Sel= selva alta perennifolia, Pas= pastizales.....53

CAPITULO 1.

Marco teórico

La ecolocalización en los murciélagos insectívoros

Los murciélagos (orden Chiroptera) se dividen en dos linajes, el suborden Megachiroptera (murciélagos del Viejo Mundo) y el suborden Microchiroptera (conocidos como murciélagos del Nuevo Mundo), siendo el mecanismo de ecolocalización característica de este último. Griffin en su libro *Listening in the Dark* del año 1958, por primera ocasión define el concepto de ecolocalización de la siguiente forma: “la ecolocalización en los murciélagos es como utilizan el eco de los sonidos que ellos mismos producen para localizar objetos en su camino”. La ecolocalización es principalmente ultrasónica, que por definición es arriba del límite audible para el humano (aproximadamente 20 kiloHertz, Fenton 2002).

En general los murciélagos insectívoros utilizan el eco como un sistema de orientación y para distinguir presas (Richarz & Limbrunner 1993). La visión limita la ubicación de presas pequeñas voladoras y móviles en la oscuridad, en contraste la ecolocalización es efectiva en este sentido, aun cuando los murciélagos tienen que producir pulsos ultrasónicos intensos para poder recibir ecos audibles de objetivos como insectos pequeños (Jones & Rydell 2003). La evolución del vuelo y ecolocalización presentaron oportunidades para un estilo de vida nocturno en hábitats previamente libres de depredadores, que incluían muchos recursos alimenticios no explotados (Schnitzler & Kalko 2001). Numerosas adaptaciones morfológicas, fisiológicas y conductuales de los sistemas sensitivos y motores, como la ecolocalización y el vuelo, permitieron que los murciélagos accedieran a un amplio rango de hábitats y recursos por la noche (Schnitzler & Kalko 2001).

La ecolocalización no tiene la misma utilidad para todos los murciélagos y aunque esta conducta está más relacionada con la alimentación, también tiene función en la

comunicación y acceso a sitios de descanso o percha (Fenton 2002). El estudio de los sistemas de ecolocalización es adecuado para evaluar como las tareas conductuales impuestas por factores ecológicos han llevado a adaptaciones específicas (Schnitzler & Kalko 2001). Entre los problemas básicos que los murciélagos afrontan buscando alimento están la detección, clasificación y localización de un objeto, así como distinguirlo de otros (Schnitzler & Kalko 1998). Un murciélago debe decidir si un eco es o no una señal de su propia ecolocalización, a lo cual se le denomina detección (Schnitzler & Kalko 2001). Los murciélagos clasifican sus objetivos de acuerdo a características del eco que producen, y las propiedades de estos objetivos pueden ser tamaño, forma, materia, profundidad, extensión angular y textura (Schnitzler & Kalko 2001). Adicionalmente, la amplitud rítmica y modulación de frecuencia del eco revelan movimientos característicos de un objetivo (Schnitzler & Kalko 2001). La localización se refiere a la posición del objetivo por el rango o tiempo entre una señal emitida y el eco que regresa, y por sus ángulos espaciales horizontales y verticales (Schnitzler & Kalko 2001).

Los murciélagos que ecolocalizan utilizan un rango de frecuencias amplio, desde los 10 a los 200 kHz (Fenton 2002). Algunos murciélagos utilizan chasquidos de la lengua, mientras que la mayoría producen el sonido con las cuerdas vocales, además pueden utilizar llamados de alta intensidad (>110 decibeles -dB-) y de baja intensidad (60-80 dB, Fenton 2002). Los llamados de ecolocalización pueden ser divididos en unos cuantos grupos de sonido (Richarz & Limbrunner 1993): a) Llamados que cambian rápidamente en un rango amplio de frecuencia de un tono alto a un tono bajo, que por lo tanto experimentan una modulación de frecuencia; b) Llamados en un rango amplio de frecuencia con tonos que están siempre en múltiplos uniformes, que por lo tanto experimentan un tono armónico; y c) Llamados que consisten en un componente constante de alta frecuencia, con componentes de modulación de frecuencia al principio y finalización del llamado.

Los murciélagos enfrentan muchos problemas durante la cacería, que difieren dependiendo de si se abastecen en áreas abiertas sin obstáculos, cerca de bordes de vegetación, claros de vegetación o cerca del suelo (Schnitzler & Kalko 2001). Los murciélagos que cazan insectos voladores enfrentan el problema que su presa se mueve en

un espacio tridimensional y consecuentemente, para perseguir y capturarlos exitosamente, el murciélago debe monitorear constantemente su posición, por lo que dependen de la ecolocalización para encontrar y seguir su alimento, y acercarse al mismo después de la detección (Schnitzler & Kalko 2001). Las señales de banda angosta y de frecuencia modulada corta en la secuencia de aproximación son útiles para esta tarea (Schnitzler & Kalko 2001). El incremento en la tasa de repetición optimiza el flujo de información, permitiendo a los murciélagos establecer la ubicación exacta del insecto, posicionarse para la captura y compensar cambios en la posición de la presa (Schnitzler & Kalko 2001).

Algunos estudios han demostrado que los murciélagos insectívoros reducen la duración de la señal al aproximarse a la presa y consecuentemente la superposición del eco del objetivo y la señal emitida, y del eco del objetivo y eco del hábitat, es minimizada, de esta forma el objetivo se mantiene en una ventana libre de superposiciones (Schnitzler & Kalko 2001). La secuencia de aproximación de los murciélagos insectívoros aéreos termina en una distintiva fase terminal, o zumbido final, emitido inmediatamente antes de la captura de la presa aérea, que se caracteriza por una serie de señales cortas de frecuencia modulada (Schnitzler & Kalko 1998), que pueden ser muchas veces identificadas al escuchar la grabación o analizar las imágenes espectrales de sonido.

Detectores de ultrasonido como herramienta para el estudio de murciélagos

Los detectores de ultrasonido ofrecen alternativas a métodos convencionales, como las redes de niebla, para el estudio de los murciélagos, principalmente insectívoros (Kunz 2002). Estos dispositivos permiten por medio de análisis cualitativos y cuantitativos identificar especies, proveen de una medición relativa de su actividad y pueden ser utilizados para comparaciones de la cantidad de esta entre hábitats (Seidman & Zabel 2001). Los detectores disponibles en el mercado varían de técnicas de banda ancha a técnicas de banda angosta (Pettersen 2002). La información que se puede extraer del llamado de ecolocalización depende del grado de sofisticación electrónica del detector (Thomas & West 1989) y los principales mecanismos de detección utilizados son conocidos como heterodino, de expansión de tiempo y de división de frecuencia (Pettersen 2002).

El detector heterodino es considerado de banda angosta (Pettersen 2002). Posee un oscilador el cual ajusta la frecuencia con el sintonizador (Limpens & Maccraken 2002). Al sintonizar la frecuencia interna, estos detectores solamente pueden detectar un pequeño rango de frecuencias (Thomas & West 1989). La amplitud es determinada por un filtro que generalmente es de 10 kHz alrededor de la frecuencia sintonizada (Pettersen 2002). Depende de un tono puro generado internamente que se superpone a la señal ultrasónica inaudible para generar un sonido con frecuencia audible (Thomas & West 1989). Estos detectores son los más sensibles y son útiles para detectar especies con llamadas de baja intensidad (Pettersen 2002). Con estos detectores se puede lograr cierto grado de identificación de las especies, pero la separación de todas las especies que componen una comunidad no es posible (Thomas & West 1989).

Los detectores de expansión de tiempo son considerados de banda ancha (Pettersen 2002) ya que detectan la banda entera de frecuencia pero no en tiempo real (Limpens & Maccraken 2002). El tiempo de expansión de las grabaciones varía, y por ejemplo, utilizando un factor de 10, una frecuencia típica modulada entre 70 y 25 kHz a 5 ms va a ser escuchada como una señal audible entre 7 y 2.5 kHz a 50 ms (Limpens & Maccraken 2002). Una de las limitaciones de este tipo de detectores es que el muestreo de intervalos de tiempo está basado en la capacidad del detector, o sea que no se puede monitorear continuamente (Limpens & Maccraken 2002).

Los detectores de división de frecuencia también son considerados de banda ancha ya que monitorean la banda entera de frecuencias, con la ventaja que puede ser en tiempo real (Limpens & Maccraken 2002). Tienen incorporado un micrófono de banda ancha con un circuito que divide las señales recibidas por un factor n (Thomas & West 1989). Por ejemplo, una división de frecuencia de 10 va a presentar una señal audible de 10 kHz al detectar una señal comprendida en los 100 kHz (Thomas & West 1989). Estas señales de baja frecuencia pueden ser posteriormente analizadas con cierto detalle (Thomas & West 1989). La transformación electrónica de la señal de ecolocalización con este tipo de mecanismo resulta en la pérdida de información sobre la amplitud y armonía de la frecuencia (Thomas & West 1989). Entre las limitaciones de este tipo de detectores están,

por ejemplo, que solamente capta las frecuencias más intensas (Limpens & Maccraken 2002).

Factores de importancia en el estudio de murciélagos insectívoros

Factores bióticos y abióticos han sido estudiados para explicar patrones de actividad de los murciélagos insectívoros, entre los cuales el de mayor consideración en la literatura es la disponibilidad de alimento (Black 1974, LaVal & LaVal 1980, Mukherjee & Korine 2002, Kusch *et al.* 2004, Wickramasinghe *et al.* 2004, Avila-Flores & Fenton 2005, MacSwiney *et al.* 2009). En este caso el conocimiento de las variables que afectan la actividad espacial y temporal de los insectos es importante para desarrollar métodos efectivos de estudio (Kunz 1988). La actividad de vuelo y el número aparente de insectos están influenciados por la hora, el clima, condiciones ambientales locales, variables del hábitat y el tipo de dispositivo de captura, factores que deben ser tomados en cuenta para inferir correctamente patrones de actividad de los murciélagos insectívoros (Kunz 1988).

Aun cuando es posible estimar la abundancia de insectos en un hábitat dado, dicha estimación puede no representar las presas disponibles para los murciélagos insectívoros (Kunz 1988). En parte este problema se presenta debido que no todos los insectos que pueden ser capturados por medio de los métodos convencionales y tampoco son igualmente detectables por los murciélagos (Kunz 1988). Si hay poco o nulo conocimiento previo de la distribución y variación de los insectos que pueden ser presa en un hábitat particular, es mejor obtener datos preliminares muestreando en los hábitats en el tiempo y espacio que el depredador se observó alimentándose (Kunz 1988).

Los dispositivos para la captura de insectos pueden ser clasificados de acuerdo a si los insectos son capturados al azar (trampas no atrayentes) o capturados empleando una estimulación sensorial (trampas atrayentes) (Kunz 1988). Los métodos más confiables para la medición de la disponibilidad de presas requieren el uso de distintos tipos de trampas, dependiendo de la conducta de abastecimiento del murciélago y los sesgos asociados con cada método (Kunz 1988). Las trampas que interfieren con la orientación sensorial de los

insectos han sido ampliamente utilizadas e incluyen las trampas de luz (de distintas intensidades y calidades) (Kunz 1988).

Según Kunz (1988) las trampas de luz han sido utilizadas frecuentemente en estudios sobre comunidades de insectos y menos rigurosamente para estimar la disponibilidad de presas para murciélagos insectívoros, y cita a Black (1974) y LaVal & LaVal (1980), aunque hasta la actualidad es posible incluir otros autores como Mukherjee & Korine (2002), Kusch *et al.* (2004), Wickramasinghe *et al.* (2004), Avila-Flores & Fenton (2005) y MacSwiney *et al.* (2009).

Debido a que las trampas de luz utilizan como mecanismo la perturbación de la conducta normal de los insectos, la variación en respuesta a diferentes tipos de trampas, entre hábitats y entre noches, es una limitación importante (Kunz 1988). Otra limitación de este método es cuan efectivo es el radio de la trampa (el área en la cual los insectos son influenciados por la luz) que es afectado por el ambiente y su tamaño está determinado por el contraste entre la luz de la trampa y la luminosidad en los alrededores (Kunz 1988). Por otro lado las trampas de luz colocadas a nivel del suelo pueden atraer insectos que normalmente no serían encontrados por muchos murciélagos que se alimentan a mayores alturas (Kunz 1988).

La intensidad y la calidad (longitud de onda) de la lámpara son dos variables importantes que pueden influenciar la efectividad de la trampa, es decir el número y variedad de insectos atraídos (Kunz 1988). Las trampas equipadas con distintos tipos de lámparas, por ejemplo ultravioleta e incandescente, atraen más insectos de un mayor rango de taxones que cualquiera de estas de forma solitaria (Kunz 1988).

Otro de los factores bióticos que se ha presumido influye la actividad de los murciélagos insectívoros es la vegetación, y varios autores han evaluado características de esta aisladamente o simultáneamente con la disponibilidad de alimento, principalmente cómo la heterogeneidad y distintos tipos de vegetación influyen en la riqueza y actividad de estos mamíferos (Kalcounis *et al.* 1999, Patriquin & Barclay 2003, Estrada *et al.* 2003,

Kusch *et al.* 2004, Wickramasinghe *et al.* 2004, Owen *et al.* 2004, Brooks & Ford 2005, Ellison *et al.* 2005).

Paralelamente se han evaluado factores abióticos como la temperatura, humedad y velocidad del viento (Mukherjee & Korine 2002, Kusch *et al.* 2004, MacSwiney *et al.* 2009) y la fase lunar, luminosidad y nubosidad (Kusch *et al.* 2004) como variables respuesta para la disponibilidad de alimento y actividad de los murciélagos insectívoros. La actividad de vuelo de los insectos puede ser alta cuando la temperatura en el ambiente es alta y baja cuando es templada, también puede ser influenciada por el viento y algunos insectos cesan el vuelo durante estas condiciones (Kunz 1988). La colecta de muchas especies de insectos está fuertemente influenciada por el ciclo natural de iluminación (que incluye fase lunar y luminosidad), temperatura del aire y precipitación (Kunz 1988). Santos-Moreno *et al.* (2010b) comentan que cuando la velocidad del viento aumenta la capacidad de detección de las presas disminuye, afectando principalmente a los murciélagos insectívoros. Por otro lado Seidman & Zabel (2001) y Brooks & Ford (2005) han considerado cómo la presencia y tamaño de arroyos influyen en la actividad de los murciélagos insectívoros.

Gómez (2007) en Durango, encontró una correlación positiva y significativa con la temperatura promedio solamente en época seca, y comenta que este resultado ha sido observado por otros autores, aunque sus referencias son de regiones templadas donde los cambios de temperatura son más drásticos, al igual que en su zona de estudio, que alcanzó una temperatura mínima durante la época seca de 2°C. Por otro lado Rascón (2010), también en Durango, no encontró correlación significativa entre temperatura promedio y la actividad de los murciélagos. La magnitud de la fluctuación de temperatura en ambientes tropicales podría considerarse muy baja como para tener efecto en la actividad relativa de estos mamíferos, aunque sí influir en la disponibilidad de presas. Ejemplos extremos hay en ambientes a mayores latitudes, en donde las fluctuaciones estacionales obligan a los murciélagos a hibernar para evitar los costos energéticos asociados con los períodos de baja disponibilidad de presas y las temperaturas ambientales cercanas o por debajo de los 0°C (Boyles *et al.* 2006).

Gómez (2007) encontró que la humedad relativa no tenía correlación significativa con la actividad de murciélagos. Esta misma autora encontró que el viento no tenía relación significativa, posiblemente por que éste no fue suficientemente intenso para afectar la sensación térmica y/o la disponibilidad de insectos.

Torres (2007) en Veracruz, enfatiza en la importancia de los hábitats ribereños debido a su mayor índice de actividad y captura de presas. Esta autora en general encontró una correlación positiva entre la actividad de los murciélagos y la abundancia de insectos, sin embargo fue en el hábitat ribereño donde los niveles de ambas variables fueron mayores. En este caso durante la época seca los riachuelos aparentemente son un recurso crítico para los murciélagos insectívoros, lo que puede estar relacionado principalmente con la presencia de agua y la concentración de alimento.

Antecedentes

Estudios previos sobre murciélagos insectívoros en México

En México son pocos los estudios publicados que han contemplado el uso de detectores ultrasónicos para establecer los patrones de uso de hábitats por murciélagos insectívoros, otros solamente se han enfocado en la descripción de llamados de ecolocalización (Ibáñez *et al.* 2002, Rydell *et al.* 2002); entre estos estudios es posible mencionar el de Estrada *et al.* (2003), Avila-Flores & Fenton (2005), MacSwiney *et al.* (2009) y Williams-Guillén & Perfecto (2011). El resto de publicaciones se han concentrado en la complementariedad del método para mejorar inventarios (García-García *et al.* 2009).

Estrada *et al.* (2003) evaluaron la actividad general de los murciélagos insectívoros en una zona con selva continua, fragmentos aislados de selva, límites de selva con zonas de pastizales, corredores de vegetación, cercas vivas, plantaciones de cítricos, pastizales y la vegetación presente en asentamientos humanos en la región de Los Tuxtlas, Veracruz. Estos autores sugieren que las zonas con vegetación arbórea pueden constituir un factor importante para la actividad de los murciélagos insectívoros.

Avila-Flores & Fenton (2005) analizaron los patrones de uso de hábitat por murciélagos insectívoros en la ciudad de México. Estos autores compararon la actividad de los murciélagos en zonas arboladas (parques pequeños y grandes), áreas abiertas e iluminadas, áreas residenciales y bosques naturales, y establecieron que el número promedio de taxones por sitio era significativamente mayor en el hábitat natural que en el hábitat urbano, sin embargo la actividad general fue significativamente mayor en los parques grandes y áreas iluminadas. En este estudio la abundancia de insectos y el número promedio de taxones por sitio estuvo significativamente correlacionada con la actividad de los murciélagos. Los autores proponen que aunque algunas especies explotan exitosamente los sitios urbanizados, son necesarias áreas con extensiones considerables de vegetación para mantener la mayor diversidad de murciélagos insectívoros.

MacSwiney *et al.* (2009) evaluaron la actividad de los murciélagos insectívoros en pastizales y bosques con presencia y ausencia de cenotes en la Península de Yucatán. El número promedio de especies de murciélagos y la actividad fueron significativamente mayores en hábitats con presencia de cenotes. La abundancia de insectos estuvo correlacionada con la actividad de los murciélagos en pastizales con cenotes. Por último Williams-Guillén & Perfecto (2011) evaluaron la riqueza y actividad relativa de murciélagos insectívoros en cultivos de café agroforestal con distinta intensidad de manejo.

Estudios previos sobre murciélagos insectívoros en Oaxaca

En el estado de Oaxaca pocos estudios han contemplado el uso de los detectores ultrasónicos como herramienta para la detección de murciélagos insectívoros, se han utilizado principalmente para complementar inventarios de especies y tienen en común el uso del dispositivo AnabatTM SD1 (Titley Electronics, Australia). Entre estos estudios es posible mencionar cuatro que permanecen como literatura gris (García 2010, Soto-López *et al.* 2010, Fuentes 2010 y Trejo 2011) y un estudio publicado llevado a cabo en La Ventosa, Juchitán (García-García *et al.* 2009).

García (2010) estudió la diversidad de murciélagos en los valles centrales de Oaxaca y utilizó la detección acústica como herramienta complementaria a las redes de niebla. Esta autora identificó las siguientes especies de murciélagos insectívoros: *Saccopteryx bilineata*, *Pteronotus davyi*, *Tadarida brasiliensis*, *Lasiurus cinereus*, *Corynorhinus townsendii*, *Eptesicus fuscus*, *Myotis californicus* y *M. thysanodes*.

Soto-López *et al.* (2010) estudiaron específicamente murciélagos insectívoros en La Venta, Istmo de Tehuantepec, e identificaron las siguientes especies de murciélagos insectívoros: *Eptesicus furinalis*, *Lasiurus cinereus*, *Molossus rufus*, *Mormoops megalophylla*, *Myotis californicus*, *Pteronotus davyi*, *P. parnellii*, *Saccopteryx bilineata* y *Tadarida brasiliensis*. Estos autores midieron variables de temperatura, velocidad del viento y temperatura atmosférica, y determinaron que en las condiciones de su estudio no influían en la presencia de las especies.

Fuentes (2010) también estudió murciélagos en La Venta, Istmo de Tehuantepec, utilizando redes de niebla y detección acústica. Este autor reporta las siguientes especies de murciélagos insectívoros: *Pteronotus davyi*, *P. parnellii*, *P. personatus*, *Mormoops megalophylla*, *Rhogessa parvula*, *Lasiurus blossevilli*, *L. intermedius*, *L. xanthinus*, *Centronycteris centralis*, *Balantiopteryx plicata*, *Peropteryx macrotis*, *Cynomops mexicanus*, *Tadarida brasiliensis*, *Nyctinomops laticaudatus*, *Molossus molossus*, *M. rufus*, *M. sinaloae*, *Eptesicus fuscus*, dos sonotipos del género *Eumops* y dos sonotipos del género *Myotis*. Este autor concluye que la detección acústica permitió una mejor representatividad de la riqueza de murciélagos insectívoros.

García-García *et al.* (2009) llevaron a cabo una comparación de la eficiencia del método convencional de captura con redes de niebla y la detección acústica en La Ventosa, Juchitán. Con las redes solamente capturaron un ejemplar de murciélago nectarívoro. El muestreo acústico permitió el registro de *Pteronotus parnellii*, *P. personatus*, *Lasiurus blosevillii*, *Tadarida brasiliensis*, *Cynomops mexicanus* y dos sonotipos de los géneros *Myotis* y *Molossus*. Para sitios caracterizados por una cobertura vegetal poco densa, García-

García *et al.* (2009) recomiendan el uso del método acústico como un importante complemento para elaborar inventarios.

Trejo (2011) caracterizó acústicamente los murciélagos insectívoros del Parque Nacional Huatulco. Este autor describe las características de las especies identificadas por medios acústicos y estimaciones de su actividad relativa por medio del índice AI propuesto por Miller (2001). Este autor reporta las siguientes especies: *Balantiopteryx plicata*, *Saccopteryx bilineata*, *Pteronotus davyi*, *P. parnellii*, *P. personatus*, *Mormoops megalophylla*, *Cynomops mexicanus*, *Tadarida brasiliensis*, *Molossus rufus*, *Rhogessa parvula*, *Lasiurus blossevillii*, *L. intermedius* y *L. xanthinus*. Esta autora sugiere la necesidad de la creación de bibliotecas acústicas locales, consideradas de utilidad tanto como las colecciones anexas.

Por otro lado se han llevado a cabo estudios dedicados al conocimiento de la mastofauna en la región de Los Chimalapas, entre los cuales es posible mencionar el de Olguín *et al.* (2008), García & Pérez (2009) y García-García & Santos-Moreno (2008). Estos estudios han recopilado información sobre la diversidad de murciélagos insectívoros en la región, sin embargo han estado limitados al uso de redes de niebla, de tal forma que las capturas de murciélagos insectívoros son ocasionales.

Olguín *et al.* (2008) llevaron a cabo el primer listado mastofaunístico sistemático en la región de Los Chimalapas con base en trabajo de campo y complementado por revisiones de literatura y colecciones científicas nacionales y extranjeras. Determinaron un total de 114 especies que constituyen 24% de la riqueza de México y 60% de la riqueza de Oaxaca. Para los murciélagos reportan 53 especies que representan el 46.5% de la riqueza en el área de estudio, con las siguientes especies de murciélagos insectívoros: *Nyctinomops laticaudatus*, *Molossus aztecus* (por primera vez reconocida en la región neotropical), *M. rufus*, *Perimyotis subflavus*, *Rhogessa parvula* (solamente había sido reconocida en El Triunfo, Chiapas), *Myotis keaysi*, *Natalus stramineus*, *Pteronotus davyi*, *P. parnellii*, *P. personatus*, *Rhynchonycteris naso*, *Balantiopteryx io*, *B. plicata*, *Saccopteryx bilineata*, *Peropteryx kappleri* (ha sido reconocida en tres regiones, incluyendo Los Chimalapas) y *P.*

macrotis. Estos autores concluyen que la selva alta perennifolia es el tipo de vegetación que alberga el mayor número de especies de mamíferos, lo cual atribuyen a que cubre la mayor extensión y es la de más fácil acceso en la región, además plantean que la riqueza de murciélagos se debe principalmente a que cinco de las nueve familias que forman parte de la fauna de murciélagos de México están restringidas a las regiones tropicales del sureste del país.

García & Pérez (2009) también realizaron un listado mastozoológico en la selva alta perennifolia del municipio de Santa María Chimalapa. En este estudio los autores reportan 18 especies de murciélagos de las cuales tres son insectívoros: *Saccopteryx bilineata*, *Natalus lanatus* y *Centronycteris centralis*, esta última incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010). *N. lanatus* y *C. centralis* fueron por primera vez registradas en Oaxaca (Santos-Moreno *et al.* 2010a).

García-García & Santos-Moreno (2008) analizaron la variación espacial y temporal de cuatro ensambles de murciélagos en el municipio de San Miguel Chimalapa. Estos autores registraron 24 especies de murciélagos de las cuales nueve son insectívoras; de estas solamente *Eptesicus brasiliensis* fue reportada en la selva alta perennifolia y representa el primero registro para Oaxaca (García-García *et al.* 2007).

Justificación

La región de Los Chimalapas ha sido señalada por varios autores como una de las áreas con mayor diversidad biológica en México, sin embargo ha sido poco explorada por los conflictos humanos que la caracterizan. La selva en Los Chimalapas se encuentra bajo una gran presión derivada de las actividades humanas. La pérdida de hábitat puede tener como consecuencia la extinción local de poblaciones de distintos taxones, por lo que es necesario documentar adecuadamente las especies y cómo son afectadas con esta modificación.

En México 38 especies de murciélagos están consideradas por la legislación como en peligro, amenazadas o bajo protección especial (Ceballos *et al.* 2005). Recientemente en la región de Los Chimalapas Santos-Moreno *et al.* (2010a) reportaron dos nuevas especies de murciélagos insectívoros para Oaxaca, lo cual le brinda particular importancia a la continuación de estudios. Estos autores plantean que esta región es aparentemente la más rica de mamíferos en el país y enfatizan en la necesidad de mayores esfuerzos de investigación.

En el país se ha generado una considerable cantidad de información sobre la diversidad de murciélagos filostómidos (no insectívoros), grupo que exhibe la mayor representación trófica, pero proporcionalmente menor riqueza que el gremio de los insectívoros. Esta intensidad de estudio está influenciada por el relativo bajo costo y facilidad en el uso de los métodos utilizados para su captura, sin embargo están sesgados para la detección de los murciélagos insectívoros, que utilizan los estratos superiores de la vegetación, y que además pueden evadir las trampas convencionales por medio de su mecanismo de ecolocalización (Pech-Canche *et al.* 2010). Los murciélagos insectívoros son considerados de gran importancia debido a que consumen una gran cantidad de insectos y además controlan de forma natural potenciales plagas agrícolas, principalmente en los agroecosistemas. Se ha estimado que un murciélago cazador puede consumir hasta la mitad de su peso corporal en insectos por noche (Richarz & Limbrunner 1993).

Recientemente en el país se ha tenido acceso a tecnología de detección acústica diseñada específicamente para el estudio de los murciélagos insectívoros, sin embargo su uso no se ha generalizado, además que requiere una mayor capacitación por parte de las personas que lo utilizan. A pesar de esto los detectores ultrasónicos son una herramienta alternativa y complementaria para mejorar el conocimiento de la diversidad de murciélagos en sitios de alta prioridad para la conservación como la región de Los Chimalapas.

Referencias

Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez & E. Loa. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.

Avila-Flores, R. & B. Fenton. 2005. Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of Mammalogy*, 86: 1193-1204.

Black, H.L. 1974. A north temperate bat community: structure and prey populations. *Journal of Mammalogy*, 55: 138-157.

Boyles, J.G., M.B. Dunbar & J.O. Whitaker Jr. 2006. Activity following arousal in winter in North American vespertilionid bats. *Mammal Reviews*, 36: 267-280.

Briones-Salas, M.A. & V. Sánchez-Cordero. 2004. Mamíferos. Pp. 423-447. En: Biodiversidad de Oaxaca. A.J. García Mendoza, M.J. Ordóñez & M.A. Briones-Salas (Eds.). Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Found. Oaxaca, México.

Brooks, R.T. & W.M. Ford. 2005. Bat activity in a forest landscape of Central Massachusetts. *Northeastern Naturalist*, 12: 447-462.

Ceballos, G., J. Arroyo-Cabrales, R.A. Medellín & Y. Domínguez-Castellanos. 2005. Lista actualizada de los mamíferos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 9: 21-71.

Ellison, L., A. Everette & M. Bogan. 2005. Examining patterns of bat activity in Bandelier National Monument, New Mexico, by using walking point transects. *The Southwestern Naturalist*, 50: 197–208.

Estrada, A., C. Jiménez, A. Rivera & E. Fuentes. 2003. General bat activity measured with an ultrasound detector in a fragmented landscape in Los Tuxtlas, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation*, 27: 1-9.

Estrada-Villegas, S., C.F. Meyer & E.K. Kalko. 2010. Effects of tropical forest fragmentation on aerial insectivorous bats in a land-bridge island system. *Biological Conservation*, 143: 597-608.

Fenton, B. 2002. Bat Natural History of Echolocation. Pp. 133-139. En: *Bat echolocation research, tools, techniques and analysis*. Brigham, R., E. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. Limpens (Eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.

Fuentes, H. 2010. Estructura del ensamble de murciélagos de La Venta, Oaxaca, México. Tesis de Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México.

García, M. 2010. La quiropterofauna de los valles centrales de Oaxaca. Tesis de Licenciatura en Biología. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México.

García, S. & E.E. Pérez 2009. Listado Mastozoológico de Santa María Chimalapa, Oaxaca. Tesis de Licenciatura en Biología. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México.

García-García, J.L., A. Santos-Moreno, A.M. Alfaro & A. Soto-Centeno. 2007. Noteworthy records of *Eptesicus brasiliensis* (Vespertilionidae) from Oaxaca, México. *Bat Research News*, 48: 5-6.

García-García, J.L. & A. Santos-Moreno. 2008. Diversidad de cuatro ensambles de murciélagos en San Miguel Chimalapa, Oaxaca, México. Pp. 411-426. En: *Avances en el*

estudio de los Mamíferos de México II. Lorenzo, C., E. Espinoza y J. Ortega (Eds.). Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. México.

García-García, J.L., A. Santos-Moreno, A.E. Hernández-Cruz & M. Pérez-Lustre. 2009. Murciélagos de La Ventosa, Oaxaca: comparación entre el método de muestreo convencional y el muestreo acústico. *Naturaleza y Desarrollo*, 7: 19-29.

Gómez, E.P. 2007. Actividad de murciélagos (Chiroptera) en cuerpos de agua y su relación con variables ambientales en la Reserva de la Biósfera La Michilía, Durango. Tesis de M.Sc., Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Durango, México.

Ibáñez, C., J. Juste, R. López-Wilchis, L. Albuja & N. Núñez-Garduño. 2002. Echolocation of three species of sac-winged bats (*Balantiopteryx*). *Journal of Mammalogy* 83: 1049-1057.

Jones, G. & J. Rydell. 2003. Attack and Defense: Interactions between echolocating bats and their insect prey. Pp. 301-345. En: *Bat Ecology*. Kunz, T. & M. Fenton (Eds.). Chicago University Press. Chicago, EE.UU.

Kalcounis, M.C., A. Hobson, R.M. Brigham y K.R. Hecker. 1999. Bat activity in the Boreal Forest: importance of stand type and vertical strata. *Journal of Mammalogy*, 80: 673-682.

Kunz, T. 1988. Methods of Assessing the Availability of Prey to Insectivorous Bats. Pp. 191-210. En: *Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats*. Kunz, T. (Ed.). Smithsonian Institution Press. Washington, EE.UU.

Kunz, T. 2002. Foraging habits of North American insectivorous bats. Pp. 13-25. En: *Bat echolocation research, tools, techniques and analysis*. Brigham, R., E. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. Limpens (Eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.

Kusch, J., C. Weber, S. Idelberger & T. Koob. 2004. Foraging habitat preferences of bats in relation to food supply and spatial vegetation structures in a western European low mountain range forest. *Folia Zoology*, 53: 113-128.

LaVal, R.K. & M.L. LaVal. 1980. Prey selection by the slit-faced bat *Nycteris thebaica* (Chiroptera: Nycteridae) in Natal, South Africa. *Biotropica*, 12: 241-246.

Limpens, H. & G.F. MacCraken. 2002. Choosing a bat detector: theoretical and practical aspects. Pp. 28-37. En: *Bat echolocation Research, tools, techniques and analysis*. Brigham, R., E. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. Limpens (Eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.

MacSwiney, M.C., F.M. Clarke & P.A. Racey. 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.

MacSwiney, M.C., B. Bolívar, F.M. Clarke & P.A. Racey. 2009. Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica*, 11: 139-147.

Mukherjee, A. & C. Korine. 2002. The influence of biotic and abiotic factors on bat activity in Negev Desert, Israel. *Zoos Print Journal*, 18: 982-986.

Ochoa, J., M.J. O'farrell & B.W. Miller. 2000. Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from Northern Venezuela. *Acta Chiropterologica*, 2: 171-183.

O'farrell, M., & B.W. Miller. 1999. Use of vocal signatures for the inventory of free-flying neotropical bats. *Biotropica* 31: 507-516.

Olguín, H.C., L. León, U.M. Samper-Palacios & V. Sánchez-Cordero. 2008. Mastofauna de la Región de Los Chimalapas, Oaxaca, México. Pp. 165-216. En: *Avances en el estudio de*

los Mamíferos de México II. Lorenzo, C., E. Espinoza y J. Ortega (Eds.). Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. México.

Owen, S.F., M.A. Menzel, J.W. Edwards, W.M. Ford, J.M. Menzel, B.R. Chapman, P.B. Wood & K.V. Miller. 2004. Bat activity in harvested and intact forest stands in the Allegheny Mountains. *Journal of Applied Forestry*, 21: 154-159.

Patriquin, K. & R. Barclay. 2003. Foraging by bats in cleared, thinned and unharvested boreal forest. *Journal of Applied Ecology*, 40: 646–657.

Pech-Canche, J., M.C. MacSwiney & E. Estrella. 2010. Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya*, 1: 227-234.

Petterson, L. 2002. The properties of sound and bat detectors. Pp. 9-12. En: *Bat echolocation research, tools, techniques and analysis*. Brigham, R., E. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. Limpens (Eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.

Rascón, J.A. 2010. Uso del hábitat por los murciélagos (Chiroptera) en la cuenca del río Nazas, Durango. Tesis de M.Sc., Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Durango, México.

Richarz, K. & A. Limbrunner. 1993. *The world of bats: the flying goblins of the night*. T.F.H. Publications. Nueva Jersey, EE.UU.

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

Santos-Moreno, A., S. García y E.E. Pérez. 2010a. Records of bats from Oaxaca, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 55: 454-456.

Santos-Moreno, A., E. Ruiz & A. Sánchez. 2010b. Efecto de la intensidad de la luz lunar y de la velocidad del viento en la actividad de murciélagos filostómidos de Mena Nizanda, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 1-7.

Schnitzler H.U. & E.K. Kalko. 1998. How echolocating bats search and find food. Pp.: 183-204. En: *Bat biology and conservation*. T.H Kunz & P.A. Racey (eds.). Smithsonian Institution Press, Washington, EE.UU.

Schnitzler H.U. & E.K. Kalko. 2001. Echolocation by insect-eating bats. *BioScience*, 51: 557-569.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Ciudad de México, México.

Seidman, V. & C. Zabel. 2001. Bat activity along intermittent streams in northwestern California. *Journal of Mammalogy*, 82: 738-747.

Soto-López, K., M.A. Peralta & E.N. Soto-López. 2010. Estudio por bioacústica de la comunidad de murciélagos insectívoros en una zona del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. VI Jornadas Politécnicas de Investigación en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Oaxaca, México.

Thomas, D.W. & S.D. West. 1989. Sampling methods for bats. Pp. 1-20. En: *Wildlife-habitat relationships: sampling procedures for Pacific Northwest vertebrates*. Ruggiero, L.F., A.B. Carey (eds.). United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, EE.UU.

Torres, L. 2007. Patrones de uso de los hábitats por los murciélagos insectívoros del valle del río Los Pescados, Veracruz. Tesis de M.Sc., Instituto de Ecología A. C., Veracruz, México.

Trejo, A. 2011. Caracterización acústica de los murciélagos insectívoros del Parque Nacional Huatulco, Oaxaca. Tesis de M.Sc., Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México.

Wickramasinghe, L.P, S. Harris, G. Jones & N.V. Jennings. 2004. Abundance and species richness of nocturnal insects on organic and conventional farms: effects of agricultural intensification on bat foraging. *Conservation Biology*, 18: 1283-1292.

Williams-Guillén, K. & I. Perfecto. 2011. Ensemble composition and activity levels of insectivorous bats in response to management intensification in coffee agroforestry Systems. *PlosONE* 6: 1-10.

CAPITULO 2.

Uso de hábitat por murciélagos insectívoros en Santa María Chimalapa, Oaxaca

Abstract: Habitat use by insectivorous bats in Santa María Chimalapa, Oaxaca. Ultrasonic detectors are relatively underutilized tools in the Neotropics despite that conventional devices are biased to capture only certain taxa of bats. Using an Anabat™ SD1 we studied species richness and relative activity of insectivorous bats seasonally in tropical rainforest and grasslands in Santa Maria Chimalapa, Oaxaca, southeastern Mexico, in order to establish the effect of loss of vegetal cover in this parameters. We identified two species of the family Mormoopidae (*Pteronotus parnellii* and *P. davyi*), three of the family Emballonuridae (*Saccopteryx bilineata*, *Balantiopteryx io* and *B. plicata*), two of the family Vespertilionidae (*Eptesicus furinalis* and *Lasiurus ega*) and several sonotypes of the families Vespertilionidae (two *Myotis* and one unknown) and Molossidae (*Molossus*, *Eumops* and one unknown). All species present in the forest were also detected in the grasslands and their relative activity did not change significantly. In both habitats and seasons we reached over 90% of the species estimated after three hours of recording. The general relative activity in the forest and grasslands increased significantly during the dry season, always in proximity to streams. In the forest during the dry season the general relative activity was significantly correlated in a positive way with temperature and negative with humidity. The general relative activity in the grasslands was correlated significantly in a positive way with the biomass of insects. Riparian habitats seem to be an important resource for insectivorous bats and should be considered for protection in conservation strategies.

Key words: Anabat, Chiroptera, México, relative activity, species richness.

No. total de palabras: 7 685

Introducción

México alberga aproximadamente 12% de la riqueza mundial de mamíferos, representada por 528 especies (Ceballos *et al.* 2005). Los murciélagos contribuyen aproximadamente con 25% de ellas, representados por nueve familias, 65 géneros y 136 especies, de las cuales 14 son endémicas del país (Ceballos *et al.* 2005) y 38 están incluidas en alguna categoría de riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010). El estado de Oaxaca cuenta con 86 especies de murciélagos (Santos-Moreno *et al.* 2010a) de las cuáles aproximadamente 55% son insectívoros (Briones-Salas & Sánchez-Cordero 2004, García-García *et al.* 2007, Santos-Moreno *et al.* 2010a). La región de Los Chimalapas es una de las porciones más extensas de la Selva Zoque en Oaxaca, y es compartida con los estados de Veracruz y Chiapas. Los estudios de murciélagos conducidos en esta región, y en general en el país, se han realizado únicamente con métodos de detección convencionales (*v. gr.* redes de niebla, García-García & Santos-Moreno 2008), cuyos sesgos hacia la detección de murciélagos de la familia Phyllostomidae están documentados ampliamente (Pech-Canche *et al.* 2010).

Los Chimalapas es considerada como una de las regiones terrestres prioritarias para conservación de flora y fauna en México (Arriaga *et al.* 2000), sin embargo en las últimas décadas la migración humana ha propiciado la pérdida, transformación y degradación de los hábitats, principalmente por actividades agropecuarias que han impactado en forma considerable la vida silvestre. Distintos autores han encontrado que hay disminución de la actividad relativa de los murciélagos insectívoros con el aumento de la fragmentación del paisaje y de la intensidad de manejo de los hábitats (Estrada-Villegas *et al.* 2010, Williams-Guillén & Perfecto 2011). El objetivo de este estudio es determinar la riqueza de especies y actividad relativa de los murciélagos insectívoros en hábitats con selva alta perennifolia y pastizales en el municipio de Santa María Chimalapa, Oaxaca, y explorar entre estos hábitats el efecto del cambio de condiciones ambientales como la temperatura, humedad y la disponibilidad de alimento, producto de la pérdida de cobertura vegetal. Se planteó la hipótesis que la actividad relativa de los murciélagos de selva disminuye por la pérdida de cobertura vegetal, cambio en las condiciones ambientales y disponibilidad de alimento.

Materiales y métodos

Área de estudio: La región de Los Chimalapas se sitúa en el Istmo de Tehuantepec, que es la porción más estrecha de México entre los océanos Atlántico y Pacífico, y limita al Norte con el Estado de Veracruz y al Este con el Estado de Chiapas; se encuentra a la altura de los meridianos 16°17', 16°52' N y -94°12', -95°06' W (Olguín *et al.* 2008). La altitud varía entre los 90 y 2 300 msnm y el clima predominante es cálido y húmedo, con régimen de lluvias abundante todo el año (Olguín *et al.* 2008). Los municipios que conforman la región, San Miguel Chimalapa y Santa María Chimalapa, son los de mayor extensión en Oaxaca, y son notables por contener grandes áreas de vegetación original (Olguín *et al.* 2008).

La vegetación predominante en Santa María Chimalapa es la selva alta perennifolia (INEGI 2003). Este tipo de vegetación presenta una estructura compleja, compuesta por varios estratos (WWF & SEMARNAP 2001). El estrato arbóreo alto (cerca de 40 m) está integrado por las siguientes especies: *Guatteria anomala*, *Dialium guianense*, *Terminalia amazona*, *Swietenia microphylla*, *Cedrella odorata*, *Sloanea tuerckheimii*, *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Lonchocarpus* sp. y *Guarea* spp. (WWF & SEMARNAP 2001). El estrato arbóreo bajo (20 a 30 m) está constituido por individuos juveniles de las especies anteriores o, en su caso, por asociaciones de *Cordia alliodora*, *Alchornea latifolia*, *Rinorea guatemalensis*, *Zanthoxylum* sp., *Quararibea* sp. y *Guarea* spp. (WWF & SEMARNAP 2001). Hay lugares con un estrato arbustivo alto (10 a 15 m) y uno bajo (menos de 10 m), por lo regular dominado por varias especies, entre ellas *Amphitecna tuxtlenensis*, *Helicteres mexicana*, *Apeiba tibourbou*, *Rudegea cornifolia*, *Cephaelis elata*, *Inga vera*, *Psichotria* sp., *Miconia* sp. y *Piper* spp. (WWF & SEMARNAP 2001). En algunos casos existen numerosas palmas de la especie *Astrocaryum mexicanum* acompañada de algunas del género *Chamaedorea* y numerosos helechos arbóreos (WWF & SEMARNAP 2001). Los pastizales se caracterizaron por la ausencia de vegetación de sotobosque y dosel, y por la presencia cercana de ríos relativamente pequeños con remanentes de vegetación asociada, y algunas especies utilizadas como cercas vivas. Las épocas seca y lluviosa se delimitaron con base en el registro histórico de precipitación y

temperatura para un período de 29 años en el municipio de Santa María Chimalapa (SMN 2000). Estos datos indican que la estación seca comprende de diciembre a mayo y la estación lluviosa de junio a noviembre (SMN 2000).

Se visitaron 12 sitios en total en dos ocasiones cada uno, de febrero de 2011 a febrero de 2012. Seis de los sitios se encontraban inmersos en selva continua y seis en pastizales cercanos. Los sitios estuvieron apartados al menos 4 km de distancia entre sí basado en consideraciones de diseño de un estudio paralelo. Del total de sitios se eligieron tres en selva (Eab, Ear y Esc) y tres en pastizales (San, Lam y Ran) para los análisis de riqueza de especies y actividad relativa, ya que contaban con repeticiones entre épocas, el resto solamente fueron incluidos en los análisis de la relación de actividad relativa general con las variables independientes (temperatura, humedad y disponibilidad de alimento). El muestreo en cada una de las repeticiones tuvo una duración de dos noches consecutivas. Cada noche los períodos de grabación considerados fueron de tres horas a partir de la puesta del sol, ya que la actividad de los murciélagos insectívoros aéreos decrece considerablemente después de aproximadamente cuatro horas (Estrada-Villegas *et al.* 2010).

Riqueza de especies y actividad relativa: Para las repeticiones se consideraron un total de 36 horas de grabación en selva y 36 en pastizales, divididas entre épocas. Para la detección acústica se llevó a cabo monitoreo pasivo por medio de un detector ultrasónico de división de frecuencia AnabatTM SD1 (Titley Electronics, Australia). Los murciélagos insectívoros utilizan la ecolocalización, que es la emisión de señales en su mayoría ultrasónicas, para obtener información de los objetos reflejados por el eco (Schnitzler & Kalko 2001). Los detectores ultrasónicos permiten registrar especies que utilizan los estratos superiores de la vegetación y que además evaden las trampas convencionales como las redes de niebla por medio de la ecolocalización (Pech-Canche *et al.* 2010). Las grabaciones fueron almacenadas en una tarjeta *Compact Flash* con capacidad de 8 GB. El detector tiene incorporado un Módulo de Interfase de Análisis de Cero Cruzamiento (ZCAIM por sus siglas es inglés), el cuál permite obtener el contenido espectral del sonido (Parsons *et al.* 2000, Corben 2002).

El detector fue colocado dentro de un recipiente de plástico Xeonic[®] para protección principalmente de la lluvia ligera, aproximadamente a un metro y medio del nivel del suelo y orientado en un ángulo de 90° hacia la ruta de vuelo de los murciélagos para que el micrófono no encarara vegetación del sotobosque o sub-dosel. Esta disposición trató de mantenerse constante entre muestreos para eliminar cualquier posible sesgo (Weller & Zabel 2002, Milne *et al.* 2004, Britzke *et al.* 2010). Con una división de radio de 16 la mayoría de murciélagos son representados adecuadamente, aunque los llamados de corta duración y mucha amplitud aparecen con baja resolución (Corben 2002). La sensibilidad del detector fue ajustada entre valores de cinco a siete dependiendo si el ruido externo, p. e. generado por insectos, viento o agua, generaba interferencia excesiva (Corben 2002).

Se definió como pase a una secuencia conteniendo al menos dos pulsos sucesivos de ecolocalización (Williams-Guillén & Perfecto 2011). La grabación de un pase de una especie en particular definitivamente representa un individuo, sin embargo diez grabaciones pueden representar 10 individuos, un individuo pasando por el detector en diez ocasiones, o un número intermedio de murciélagos; las tasas de pases son consideradas como actividad relativa (Williams-Guillén & Perfecto 2011).

Se utilizó el índice de actividad relativa (AI), incorporado a las funciones del programa Anlook ver. 3.8s (Miller 2001, Corben 2011). El AI considera la presencia/ausencia de una especie en intervalos de un minuto, y puede ser estandarizado por unidades de esfuerzo de muestreo (Miller 2001). Este índice está correlacionado con otros indicadores de actividad como el número de pulsos o el de archivos grabados, sin embargo considera el sesgo que puede haber por el número y duración de los pulsos de la fase de orientación que difiere entre taxones (Miller 2001). Por ejemplo, la secuencia de un vespertiliónido tiene muchos pulsos de poca duración (*v. gr. Myotis elegans*, que emite entre 15-30 pulsos, cada uno con una duración de 2 a 3 ms), mientras que un mormópido generalmente exhibe menor cantidad de pulsos de mayor duración (*v. gr. P. parnellii*, que emite entre 5-8 pulsos, cada uno con una duración de 26-28 ms), de tal forma que si ambas especies son grabadas en el mismo período de tiempo, el número de pulsos será mayor para el vespertiliónido (Miller 2001).

La identificación de las especies se basó en la comparación de la forma de las vocalizaciones con una serie de muestras de referencia como sugieren O'Farrell & Miller (1999) y O'Farrell *et al.* (1999). Los espectrogramas o gráficas de estructura frecuencia-tiempo (forma del llamado) se analizaron con el programa AnlookW ver. 3.8s (Corben 2011). Los espectrogramas de referencia utilizados fueron los de O'Farrell & Miller (1997), O'Farrell *et al.* (1999), O'Farrell & Miller (1999), Ochoa *et al.* (2000), Miller (2003), García-García *et al.* (2010) y Williams-Guillén & Perfecto (*com. pers.*). Posteriormente en el mismo programa se extrajeron valores promedio de distintos parámetros de las frecuencias indicados en la literatura como importantes (O'Farrell & Miller 1999, O'Farrell *et al.* 1999, Williams-Guillén & Perfecto 2011) y fueron contrastados con los rangos presentados por Miller (2003). Estos promedios corresponden a distintos tamaños de muestra de pulsos como sugerido por García-García *et al.* (2009) y son calculados en archivos depurados de ruido externo. Los parámetros utilizados fueron los siguientes: frecuencia mínima (F. min.), frecuencia máxima (F. máx.), y frecuencia característica (F. c.). La frecuencia característica corresponde a la frecuencia al final de la parte más plana del pulso de ecolocalización a lo largo de la escala de tiempo, y permite la comparación más exacta entre llamados que parecen muy similares, pero que difieren en el grado de su curvatura (Corben 2002).

Los llamados que no pudieron ser confirmados se designaron como sonotipos (Ochoa *et al.* 2000). Los sonotipos son aquellas especies no identificadas, cuyos llamados no coinciden con firmas vocales conocidas, pero que claramente son distintas (Ochoa *et al.* 2000). Los sonotipos son inicialmente categorizados por la forma general (*v. gr.* patrones de cambio en la modulación) y características estructurales clave (*v. gr.* frecuencias mínimas y máximas), y cuando es posible son asignados a familias y géneros particulares basado en estos patrones (Ochoa *et al.* 2000). Las secuencias fragmentadas o pulsos que no pudieron ser identificados fueron descartados (Miller 2001, Williams-Guillén & Perfecto 2011).

Simultáneamente se llevaron a cabo capturas de murciélagos mediante esfuerzos variables con redes de niebla de 6 y 12 m de longitud, 2.5 m de altura y 35 mm de abertura

de malla, abiertas a partir de la puesta del sol, y una trampa de arpa de doble marco (G6 Forest Strainer Harp Trap[®], Bat Conservation and Management, EE.UU.). La posible variación geográfica de la ecolocalización entre poblaciones de una misma especie puede deberse a factores biológicos y/o ecológicos (Barclay & Brigham 2002), por lo tanto es importante crear bibliotecas locales. Para grabar a los murciélagos capturados se utilizaron técnicas como liberación en mano o *hand release* y líneas de vuelo o *zip lines*. Los murciélagos recolectados, principalmente del género *Myotis*, fueron conservados en alcohol al 70% y posteriormente se les extrajo el cráneo para identificar a la especie con certeza. Para la identificación taxonómica se utilizaron las claves de Alvarez *et al.* (1994), Medellín *et al.* (1997), y se apoyó con la guía ilustrada de Reid (1997). Para la nomenclatura taxonómica se siguió a Simmons (2005).

Variables ambientales y disponibilidad de alimento: Se utilizó un medidor Windmate[®] 350 (Speedtech Instruments, EE.UU.) para la toma de variables ambientales (temperatura y humedad) cada 20 min durante períodos de una hora. Para estimar la disponibilidad de alimento se utilizó una trampa de luz que consistía en un luminario Sanelec[®] con doble lámpara incorporada (luz ultravioleta y luz blanca), proyectada hacia una manta blanca de 1 m de altura por 1.5 m de ancho, aproximadamente a 1 m sobre el nivel del suelo, siguiendo el método descrito por MacSwiney *et al.* (2009). Es recomendable emplear una combinación de lámparas para evitar los sesgos por la atracción diferencial de los tipos de luz (Kunz 1988, MacSwiney *et al.* 2009). La trampa de luz se utilizó por períodos de una hora y cada 25 minutos se recolectaron insectos durante cinco minutos. Inicialmente se había considerado que los datos durante períodos paralelos a las grabaciones tuvieran un tratamiento distinto por un posible efecto de la atracción de los insectos hacia la luz (Kunz 1988, Guillén-Servent *com. pers.*), sin embargo con base en una prueba de *t* para muestras pareadas entre medias de períodos consecutivos sin luz y con luz, la diferencia no fue estadísticamente significativa ($t = 0.9408$, g. l. = 12, $p = 0.3654$), por lo que se trataron indistintamente. Los insectos se colectaron de la manta por medio de un dispositivo de succión adaptado a un frasco plástico en donde los especímenes fueron almacenados. Los insectos colectados fueron preservados en alcohol al 70% en recipientes de plástico. Posteriormente en laboratorio las muestras se secaron en una estufa

Thermolyne[®] a 70°C por 48 horas (Bradley *et al.* 1993), y se obtuvo el peso seco utilizando una balanza analítica Sartorius[®]. Los insectos considerados muy grandes para ser parte de la alimentación de los murciélagos insectívoros detectados fueron descartados de los análisis (MacSwiney *et al.* 2009, MacSwiney *com. pers.*).

Análisis de datos: Debido a que los llamados no necesariamente representan individuos distintos, para el análisis de la riqueza de especies solamente se utilizaron datos de presencia/ausencia (Williams-Guillén & Perfecto 2011). Las curvas de acumulación de especies se elaboraron en el programa EstimateS ver. 7.5 (Colwell 2005). Los datos se aleatorizaron 100 veces para eliminar el orden en el que el muestreo fue hecho (Colwell 2005). Asimismo se calculó la riqueza esperada con base al estimador no paramétrico Bootstrap, el cuál es apropiado para registros de incidencia a partir de muestras pequeñas (Williams-Guillén & Perfecto 2011).

Para conocer la proporcionalidad y la significancia de la relación entre las variables ambientales (temperatura y humedad) y la disponibilidad de alimento con la AI general, se utilizó el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman (ρ). Este es un coeficiente que no asume distribución normal en los datos y es apropiado para pruebas de tendencias (Sprent & Smeeton 2001). Para este análisis se utilizó el programa STATISTICA 8.0 (StatSoft, Inc. 2007).

Resultados

Riqueza de especies de murciélagos insectívoros: En la selva en época seca se generaron 557 archivos de sonido, y en época lluviosa 149. En los pastizales en época seca se generaron 497 archivos, y en época lluviosa 453. En total se analizaron 1,656 archivos de sonido. Se identificaron tres especies de la familia Emballonuridae (*Saccopteryx bilineata*, *Balantiopteryx io* y *B. plicata*), dos de la familia Mormoopidae (*Pteronotus davyi* y *P. parnellii*) y dos de la familia Vespertilionidae (*Eptesicus furinalis* y *Lasiurus ega*); de la familia Vespertilionidae se identificaron dos sonotipos del género *Myotis* y uno desconocido, y de la familia Molossidae sonotipos de los géneros *Molossus* y *Eumops*, y

uno desconocido. Todas las especies de las familias Emballonuridae y Mormoopidae fueron capturadas, grabadas e incorporadas a la biblioteca de referencia. También se capturaron, grabaron y recolectaron especímenes del género *Myotis*, sin embargo no es posible asignar a las grabaciones una especie con certeza debido a que sus llamados muchas veces se superponen (Williams-Guillén & Perfecto 2011).

La identificación se basó inicialmente en características cualitativas, agrupando con base en la forma de llamado (Fig. 2). Posteriormente se comparó si el promedio de F. máx., F. mín. y F. c., de una muestra de pulsos, se encontraba dentro de los rangos indicados en la literatura (Cuadro 1). Las especies presentes en ambos hábitats fueron *Balantiopteryx io*, *Saccopteryx bilineata*, *Pteronotus davyi*, *P. parnellii*, *Eptesicus furinalis*, *Myotis* sp. 1, *Myotis* sp. 2, y un sonotipo de la familia Vespertilionidae. Los pastizales se distinguieron por la detección de *Lasiurus ega*, *Balantiopteryx plicata*, *Molossus* sp., *Eumops* sp. y un sonotipo de la familia Molossidae.

La curva de acumulación de especies en la selva alcanzó la asíntota en la época seca a las tres horas de grabación (180 min.), y con base al estimador se calcula haber percibido 96% de la riqueza. En época lluviosa la acumulación fue más lenta y al final con un menor número de especies registradas, que con base al estimador representan 95% de la riqueza (Fig. 3). La curva en los pastizales también alcanzó la asíntota en la época seca a las tres horas de grabación (180 min.), y con base al estimador se calcula haber percibido 97% de la riqueza. En época lluviosa la acumulación fue más lenta, aunque al finalizar el período con el mismo número de especies, que con base al estimador representan el 91% de la riqueza (Fig. 3).

Variación de la actividad relativa entre hábitats y épocas: A nivel de familia los murciélagos presentes en la selva no reflejaron diferencias estadísticamente significativas al compararse con los pastizales (U Mann-Whitney, $p > 0.05$). Estacionalmente en cada hábitat la actividad relativa a nivel de familia tiene la tendencia de ser mayor en la época seca, con excepción de la mayor actividad de los embalonúridos en los pastizales durante la época lluviosa, aunque no de forma significativa (U Mann-Whitney, $p = 0.5208$) y de los

molósididos que no presentaron una diferencia evidente (U Mann-Whitney, $p= 0.5887$); solamente en la selva la familia Vespertilionidae presentó una diferencia muy próxima a la significancia estadística, exhibiendo mayor actividad relativa durante la época seca (prueba de t, $p= 0.0513$). Del resto de casos la medida de dispersión alrededor de la media (error estándar) no se superpone para la familia Mormoopidae en la selva y para la familia Vespertilionidae en los pastizales.

La AI no cambió significativamente para las especies presentes en la selva al compararlas con los pastizales (U Mann-Whitney, $p> 0.05$). Estacionalmente solamente en la selva la AI de *Myotis* sp. 2 y *P. parnellii* cambiaron para la primera de forma significativa (Mann-Whitney, $p= 0.0082$) y para la segunda aproximándose a la significancia estadística (U Mann-Whitney, $p= 0.0920$), ambas exhibiendo mayor actividad relativa en la época seca. En los pastizales ninguna de las especies reflejó un cambio de AI estadísticamente significativo entre épocas (U Mann-Whitney, $p> 0.05$). En general, en la época seca es cuando la mayoría de especies reflejan un cambio de actividad en cada uno de los hábitats.

Relación de la actividad relativa y variables ambientales: La actividad total de los murciélagos solamente estuvo correlacionada significativamente en la época seca, de forma positiva con la temperatura promedio y de forma negativa con la humedad relativa (Cuadro 2). La AI total de los murciélagos insectívoros y la disponibilidad de alimento solamente estuvieron correlacionadas positivamente de forma significativa en Pas ($n= 16$, $\rho= 0.65$, $p= 0.005$). Para este análisis se integraron los datos de ambas épocas, decisión basada en el hecho de que al distinguir épocas las muestras disminuían su tamaño considerablemente, con menos de 10 observaciones cada una.

Discusión

La pérdida de cobertura vegetal es un fenómeno derivado principalmente de las actividades humanas. Las condiciones abióticas en los pastizales evidentemente son distintas a las de las selvas ya que los pastizales cambian en extremo su fisonomía, al grado

de ser eliminadas las especies vegetales del sotobosque y dosel. Los murciélagos insectívoros de selva se sugiere pueden ser los más afectados con la fragmentación del paisaje y la intensidad de manejo de los hábitats en agroecosistemas (Estrada-Villegas *et al.* 2010, Williams-Guillén & Perfecto 2011). En este estudio no se detectaron tendencias claras del cambio de la riqueza de especies y actividad relativa de los murciélagos insectívoros entre hábitats contrastantes, sin embargo estas observaciones pueden estar influenciadas por factores como la distancia de la selva o remanentes de esta a los sitios de grabación en los pastizales, y la presencia y cercanía de riachuelos y vegetación ribereña asociada, y que por lo tanto estas características propicien la resiliencia de las especies a la modificación del hábitat. Una aproximación valiosa sería estudiar como cambian los parámetros evaluados exactamente en los ríos y su vegetación asociada dentro de los pastizales, y compararlo con pastizales sin estas características y con la selva continua, o comparar las diferencias de hábitats ribereños con distinto grado de conservación, entre otras cosas, en los pastizales. En las estrategias de conservación a nivel local, para este grupo de vertebrados, es importante considerar la protección de los hábitats ribereños en los ambientes modificados por su importancia al ofrecer recursos como agua, alimento, refugios, permitir la evasión de depredadores y/o funcionar como corredores entre fragmentos de selva.

La efectividad del muestreo, en ambos hábitats y ambas épocas, se superior al 90% al finalizar el período de grabación de tres horas, resultado similar a lo reportado por otros autores (Duffy *et al.* 2000, Richards 2001, Milne *et al.* 2004). Se debe tomar en cuenta que es posible una subestimación de la riqueza debido a que algunos de los declarados sonotipos pueden potencialmente representar más de una especie. Milne *et al.* (2004) en su estudio reportan que el mayor incremento en el número acumulado de especies detectadas ocurrió en las primeras tres horas a partir del atardecer, tiempo durante el cuál 80% de las especies fueron detectadas. Duffy *et al.* (2000) reportan que fueron necesarias entre tres y cinco horas para registrar aproximadamente 70% de las especies identificadas durante una noche completa de detección. Por último Richards (2001) reporta que fueron necesarias tres horas para acumular datos de presencia para el 90% de especies presentes en el área, y la noche completa para registrarlas a todas.

Se lograron identificar siete especies y seis sonotipos de las familias Emballonuridae, Vespertilionidae y Molossidae. La falta de bibliotecas de referencia se refleja en el hecho de que la mitad de los sonotipos no pudieron reconocerse al nivel de especie. Este problema es generalizado, pues por ejemplo MacSwiney *et al.* (2009) en Yucatán identificaron 14 especies y cinco sonotipos de la familia Molossidae. Por otro lado Williams-Guillén & Perfecto (2011) en Chiapas identificaron 22 especies y tuvieron que designar como sonotipo al género *Eumops* debido a la dificultad para identificar sus especies por medios acústicos. Las diferencias de riqueza entre estudios pueden deberse a varios factores: se desarrollaron en distintas regiones geográficas, las condiciones locales y de vegetación son muy variables, y los métodos de detección (tipos de detectores y diseños de muestreo) variaron en cada caso. MacSwiney *et al.* (2009) trabajaron en pastizales y bosques semidecíduos, con y sin presencia de cenotes, en la Península de Yucatán, utilizaron un detector Petterson D980 (Petterson Elektronik AB, Suecia) y grabaron por medio de monitoreo pasivo. Williams-Guillén & Perfecto (2011) trabajaron en cultivos de café agroforestal con distinta intensidad de manejo, utilizaron una combinación de detectores, Anabat™ II y Petterson D240x, y llevaron a cabo monitoreo pasivo con el primero y monitoreo activo con el segundo.

Los llamados de las especies de mormópidos, cuyas frecuencias pueden ser constantes, quasi-constantes o de frecuencia modulada, son altamente distinguibles y prácticamente no presentan problemas para la asignación de especies (Miller 2003, Williams-Guillén & Perfecto 2011), con excepción en este estudio de los pulsos fragmentados de *P. davyi*, que en algunos casos presentaban semejanza con pulsos de vespertilionidos del género *Myotis* y fueron descartados. De forma similar los llamados de los embalonúridos son asignados a las especies con relativa facilidad, con excepción de *P. macrotis* y *B. plicata* que tienen llamados similares, pero con frecuencias características distintas (Williams-Guillén & Perfecto 2011). La primera especie solamente se capturó en una ocasión en el área de estudio.

En cuanto a la familia Molossidae, la identificación de las especies por medio del ultrasonido es complicado debido a la falta de llamados de referencia (Williams-Guillén &

Perfecto 2011). Estos murciélagos exhiben frecuencias bajas, de banda angosta, larga duración, y formas que se superponen. El género *Molossus* es fácilmente identificado por el característico patrón pareado de sus pulsos (Miller 2003), sin embargo la asignación de especies en este caso se dificultó debido a la superposición de parámetros y llamados fragmentados. En la región de Los Chimalapas Olguín *et al.* (2008) indican la presencia de *M. rufus* en selva alta perennifolia. Por otro lado los murciélagos del género *Eumops* no pueden ser fácilmente asignados a especies, ya que se superponen sus parámetros, aunque a nivel de género la forma del llamado y el rango de frecuencias es fácilmente reconocido. MacSwiney *et al.* (2009) y Williams-Guillén & Perfecto (2011) reportan en sus estudios a *Eumops* como un sonotipo a nivel de género. El sonotipo identificado como Molossidae 1 puede pertenecer al género *Nyctinomops* o *Tadarida*, ya que las ecolocalizaciones de estas especies son muy similares (Miller 2003), incluso para Williams-Guillén & Perfecto (2011) la especie que reconocen como *N. laticaudata* consideran que en realidad puede incluir varias especies de este género. En Los Chimalapas Olguín *et al.* (2008) sugieren que *N. laticaudata* probablemente se localice en el sur de la región y *T. brasiliensis* solamente se tiene registrado en bosque de pino-encino en San Miguel Chimalapa (García-García & Santos-Moreno 2008), sin embargo esta última especie es de amplia distribución que incluye una considerable variedad de hábitats (Reid 1997).

Williams-Guillén & Perfecto (2011) indican que diferenciar las especies de la familia Vespertilionidae es particularmente difícil. Estos autores recomiendan como caracteres diagnósticos la frecuencia mínima y duración de los pulsos; así identificaron a las especies del género *Lasiurus* con base en los rangos de sus llamados y la ondulación de las frecuencias mínimas en la misma secuencia de llamados, y diferenciaron a *L. ega* y *L. intermedius* con base en la frecuencia mínima (> 30 kHz *L. ega*). Estos autores indican que la identificación de vespertiliónidos con frecuencias mínimas entre 48-58 kHz es complicada debido a la superposición de parámetros, principalmente para el género *Myotis*. En este caso es posible que el sonotipo identificado como *Myotis* sp. 1 pueda corresponder a más de una especie. Con respecto al sonotipo *Myotis* sp. 2, la única especie de la familia Vespertilionidae con frecuencia mínima por arriba de 60 kHz es *M. elegans* (O'Farrell & Miller 1999, Miller 2003), sin embargo el llamado de esta especie no se tiene caracterizado

en la literatura para corroboración. En la selva alta perennifolia de Los Chimalapas solamente se tiene registrado a *M. keaysi* (Olguín *et al.* 2008).

En la región dos estudios en particular muestran una disminución de la actividad relativa de los murciélagos insectívoros por efecto de la fragmentación y el aumento en la intensificación de manejo del hábitat (Estrada-Villegas *et al.* 2010, Williams-Guillén & Perfecto 2011). En este estudio ninguna de las especies presentes en la selva reflejó un cambio significativo de AI al compararlas con los pastizales, sin embargo podría atribuirse a factores como la distancia de los sitios de grabación en los pastizales hacia la selva continua o la presencia de remanentes de vegetación. Contrario a lo esperado, solamente en la selva se reflejaron relaciones significativas del promedio de actividad relativa total de los murciélagos con la temperatura promedio y la humedad relativa durante la época seca; este hábitat debería mantener las condiciones ambientales menos fluctuantes en contraste con los pastizales.

Hay murciélagos insectívoros que pueden cazar dentro o por arriba del dosel (Estrada-Villegas *et al.* 2010) y presentan adaptaciones del vuelo para los hábitats que frecuentan. Que no se hayan detectado murciélagos molósidos en la selva se atribuye en este caso a un sesgo de muestreo, que según explican Williams-Guillén & Perfecto (2011), es debido a las diferencias en la probabilidad de detección entre hábitats. En su estudio los fragmentos de bosque tenían vegetación densa y pocos o ningún sendero, y sugieren que aunque colocaron sus detectores en las mejores rutas de vuelo disponibles, la menor tasa de llamados en los bosques puede ser un artefacto más que un reflejo de menor actividad. Por otro lado MacSwiney *et al.* (2009) para eliminar la variabilidad de los llamados y cambios en la detección atribuibles a diferencias de estructura entre hábitats, siempre dirigieron el micrófono a áreas abiertas. Adicionalmente las distancias de detección son mayores en áreas abiertas debido a que hay menor atenuación de los llamados (Williams-Guillén & Perfecto 2011). Al inicio de este estudio, durante una prueba, se dirigió el micrófono del detector hacia un claro en la selva, y fue la única ocasión en que se detectaron murciélagos molósidos, el resto de eventos de grabación fueron a lo largo de los ríos en las cañadas dentro de la selva, que son de las pocas rutas de vuelo entre la vegetación densa. Los

murciélagos insectívoros de áreas abiertas vuelan a gran altura y tienen menor maniobrabilidad (Williams-Guillén & Perfecto 2011), de tal forma que difícilmente son detectados en hábitats con vegetación compleja.

Muchos de los murciélagos de áreas abiertas utilizan árboles como sitios de percha (Reid 1997, Williams-Guillén & Perfecto 2011) y la ausencia de estos puede tener un efecto negativo en su conservación. Para Williams-Guillén & Perfecto (2011) aunque los murciélagos de áreas abiertas pueden volar distancias considerables, de hasta 56 km en una noche en el caso de especies como *Tadarida brasiliensis* (Best & Geluso 2003), la pérdida de áreas de percha a nivel de paisaje puede causar la disminución de sus poblaciones. Los fragmentos de selva son relevantes para los murciélagos insectívoros, y muchas especies pueden utilizar fragmentos pequeños y dispersos, debido a su habilidad de modificar su actividad y transitar por una variedad de ambientes perturbados (Estrada-Villegas *et al.* 2010, Williams-Guillén & Perfecto 2011).

El número de especies que bajo distintas circunstancias emiten llamados que pueden ser confundidos con otras es bajo, y de darse el caso se recomienda que sean reportadas como no identificables (O'Farrell *et al.* 1999), como es el caso de algunos géneros de la familia Molossidae y Vespertilionidae. En el caso de los sonotipos la identidad precisa de las especies puede ser asignada posteriormente al estudio conforme la información se vuelva disponible, y mientras tanto pueden formar la línea base para determinar el número de especies presentes y representar un punto de partida para estudios futuros; la determinación de la composición de especies a nivel de familia permite una evaluación inicial de la riqueza de la comunidad y destaca los taxones que necesitan mayor esfuerzo de investigación (Ochoa *et al.* 2000).

Agradecimientos

Se agradece al CONACYT por la beca de estudios de posgrado No. 244510 y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Esta investigación tuvo apoyo económico de la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional a través del Proyecto SIP 20100377. Por último se agradece la revisión de S. Trujillo, D. Mondragón, G. Ramos, M. García y C. Bonilla.

Resumen

Los detectores ultrasónicos son una herramienta relativamente poco utilizada para el estudio de murciélagos en el Neotrópico, a pesar de que los dispositivos convencionales están sesgados a ciertos taxones. Por medio de un detector AnabatTM SD1 se estudió estacionalmente la riqueza de especies y actividad relativa de los murciélagos insectívoros en hábitats con selva alta perennifolia y pastizales en Santa María Chimalapa, Oaxaca, en el sureste de México, para conocer el efecto de la pérdida de cobertura vegetal en estos parámetros. Se identificaron dos especies de la familia Mormoopidae (*Pteronotus davyi* y *P. parnellii*), tres de la familia Emballonuridae (*Saccopteryx bilineata*, *Balantiopteryx io* y *B. plicata*), dos de la familia Vespertilionidae (*Eptesicus furinalis* y *Lasiurus ega*) y varios sonotipos de las familias Vespertilionidae (dos *Myotis* y uno desconocido) y Molossidae (*Molossus*, *Eumops* y uno desconocido). Se calculó por arriba del 90% de las especies estimadas en ambos hábitats y épocas a las tres horas de grabación. La actividad relativa en general en ambos hábitats aumentó significativamente en la época seca, siempre en cercanía a riachuelos. El promedio de actividad relativa de las especies presentes en selva no cambió significativamente en los pastizales. En la selva durante la época seca la actividad relativa general estuvo significativamente correlacionada de forma positiva con la temperatura y negativa con la humedad. En los pastizales la actividad relativa general estuvo significativamente correlacionada de forma positiva con la biomasa de insectos. Los hábitats ribereños aparentemente representan un recurso importante para los murciélagos insectívoros y su protección debería ser considerada en las estrategias de conservación. Palabras clave: Anabat, actividad relativa, Chiroptera, México, riqueza de especies.

Referencias

- Alvarez, T., S.T. Alvarez-Castañeda & J.C. López-Vidal. 1994. Claves para murciélagos mexicanos. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. e Instituto Politécnico Nacional, México.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Barclay, R. & R. Brigham. 2002. Geographic variation in the echolocation of bats: a complication for identifying species by their calls, p.: 144-149 *In* R. Brigham, E. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. Limpens, (eds.). Bat echolocation research, tools, techniques and analysis. Bat Conservation International, Austin, EE.UU.
- Best, T.L. & K.N. Geluso. 2003. Summer foraging range of Mexican free tailed bats (*Tadarida brasiliensis mexicana*) from Carlsbad cavern, New Mexico. *The Southwestern Naturalist* 48: 590-596.
- Bradley, E.S., R.J. Cooper, R.D. Greer & R.C. Whitmore. 1993. Estimation of insect biomass by length and width. *Am. Midl. Nat.* 129: 234-240.
- Briones-Salas, M.A. & V. Sánchez-Cordero. 2004. Mamíferos, p. 423-447 *In* A.J. García Mendoza, M.J. Ordóñez & M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Found. México.
- Britzke, E.R., B.A. Slack, M.P. Armstrong & S.C. Loeb. 2010. Effects of orientation and weatherproofing on the detection of bat echolocation calls. *J. Fish Wildl. Manage.* 1: 136-141.

- Ceballos, G., J. Arroyo-Cabrales, R.A. Medellín y Y. Domínguez-Castellanos. 2005. Lista actualizada de los mamíferos de México. *Rev. Mex. Mastozoología* 9: 21-71.
- Colwell, R.K. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples, ver. 7.5. (también disponible en línea: <http://purl.oclc.org/estimates>).
- Corben, C. 2011. AnlookW for bat call analysis using ZCA, ver. 3.8s. (también disponible en línea: <http://www.hoarybat.com>).
- Corben, C. 2002. Zero-crossings analysis for bat identification: an overview, p. 95-106 *In* R. Brigham, E.K. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. Limpens (eds.). *Bat echolocation research, tools, techniques and analysis*. Bat Conservation International, Austin, EE.UU.
- Duffy, A.M., L.F. Lumsden, C.R. Caddle, R.R. Chick & G.R. Newell. 2000. The efficacy of Anabat ultrasonic detectors and harp traps for surveying microchiropterans in south-eastern Australia. *Acta Chiropterol.* 2: 127-144.
- Estrada-Villegas, S., C.F. Meyer & E.K. Kalko. 2010. Effects of tropical forest fragmentation on aerial insectivorous bats in a land-bridge island system. *Biol. Conserv.* 143: 597-608.
- García-García, J.L., A. Santos-Moreno, A.M. Alfaro & A. Soto-Centeno. 2007. Noteworthy records of *Eptesicus brasiliensis* (Vespertilionidae) from Oaxaca, México. *Bat Res. News* 48: 5-6.
- García-García, J.L. & A. Santos-Moreno. 2008. Diversidad de cuatro ensambles de murciélagos en San Miguel Chimalapa, Oaxaca, México, p. 411-426 *In* C. Lorenzo, E. Espinoza & J. Ortega (eds.). *Avances en el estudio de los Mamíferos de México II*. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C., México.

- García-García, J.L., A. Santos-Moreno, A.E. Hernández-Cruz & M. Pérez-Lustre. 2009. Murciélagos de La Ventosa, Oaxaca: comparación entre el método de muestreo convencional y el muestreo acústico. *Nat. Desarrollo* 7: 19-29.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2003. Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:1'000,000 Serie II (Continuo Nacional). (también disponible en línea: <http://www.inegi.org.mx>).
- Kunz, T. 1988. Methods of assessing the availability of prey to insectivorous bats, p. 191-210 *In* T. Kunz (ed.). *Ecological and behavioral methods for the study of bats*. Smithsonian Institution, Washington, EE.UU.
- Kunz, T. 2002. Foraging habits of North American insectivorous bats, p. 13-25 *In* R. Brigham, E.K. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. Limpens (eds.). *Bat echolocation research, tools, techniques and analysis*. Bat Conservation International, Austin, EE.UU.
- MacSwiney, M.C., P. Vilchis, F.M. Clarke & P.A. Racey. 2007. The importance of cenotes in conserving bat assemblages in the Yucatán, Mexico. *Biol. Conserv.* 136: 499-509.
- MacSwiney, M.C., F.M. Clarke & P.A. Racey. 2008. What you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *J. Appl. Ecol.* 45: 1364-1371.
- MacSwiney, M.C., B. Bolívar, F.M. Clarke & P.A. Racey. 2009. Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterol.* 11: 139-147.
- Medellín, R. A., H. Arita & O. Sánchez. 1997. Identificación de los murciélagos de México: clave de campo. Offset, Ciudad de México, México.

- Miller, B.W. 2001. A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. *Acta Chiropterol.* 3: 93-105.
- Miller, B.W. 2003. Community Ecology of the Non-Phyllostomid Bats of Northwestern Belize, with a Landscape Level Assessment of the Bats of Belize. Tesis de Ph.D. Universidad de Kent, Canterbury, Inglaterra.
- Milne, D.J., M. Armstrong, A. Fisher, T. Flores & R. Pavey. 2004. A comparison of three survey methods for collecting bat echolocation calls and species-accumulation rates from nightly Anabat recordings. *Wildl. Res.* 31: 57-63.
- Moreno, C. & G. Halffter. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *J. Appl. Ecol.* 37: 149-158.
- Ochoa, J., M.J. O'Farrell & B.W. Miller. 2000. Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela. *Acta Chiropterol.* 2: 171-183.
- O'Farrell, M.J. & B.W. Miller. 1997. A new examination of echolocation calls of some Neotropical bats (Emballonuridae and Mormoopidae). *J. Mammal.* 78: 954-963.
- O'Farrell, M.J., B.W. Miller & W.L. Gannon. 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the Anabat detector. *J. Mammal.* 80: 11-23.
- O'Farrell, M.J. & B.W. Miller. 1999. Use of vocal signatures for the inventory of free-flying neotropical bats. *Biotropica* 31: 507-516.
- Olguín, H.C., L. León, U.M. Samper-Palacios & V. Sánchez-Cordero. 2008. Mastofauna de la Región de Los Chimalapas, Oaxaca, México, p. 165-216 *In* C. Lorenzo, E. Espinoza y J. Ortega (eds.). *Avances en el estudio de los Mamíferos de México II*. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C., México.

- Parsons, S.A. M. Boonman & M.K. Obrist. 2000. Advantages and disadvantages of techniques for transforming and analyzing chiropteran echolocation calls. *J. Mammal.* 81: 927-938.
- Pech-Canche, J., M.C. MacSwiney & E. Estrella. 2010. Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya* 1: 227-234.
- Reid, F. 1997. A field guide to the mammals of Central America and Southeast Mexico. Oxford University, Nueva York, EE.UU.
- Richards, G.C. 2000. Towards defining adequate bat survey methodology: why electronic call detection is essential throughout the night. *Australas. Bat Soc. Newsl.* 16: 24-28.
- Santos-Moreno, A., S. García & E.E. Pérez. 2010a. Records of bats from Oaxaca, Mexico. *Southwest. Nat.* 55: 454-456.
- Santos-Moreno, A., E. Ruiz & A. Sánchez. 2010b. Efecto de la intensidad de la luz lunar y de la velocidad del viento en la actividad de murciélagos filostómidos de Mena Nizanda, Oaxaca, México. *Rev. Mex. Biodivers.* 81: 839-845.
- Schnitzler, H.U. & E.K. Kalko. 2001. Echolocation by Insect-Eating Bats. *BioScience* 51: 557-569.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Ciudad de México, México.
- Sprent, P. & N.C. Smeeton. 2001. Applied nonparametric statistical methods. Tercera Edición. CRC Press, Nueva York, EE.UU.

- Simmons, N. B. 2005. Order Chiroptera, p. 312-529 *In* D.E. Wilson & D. M. Reeder (eds.). Mammal species of the World: a taxonomic and geographic reference. 3ra. Edición, Johns Hopkins, Baltimore, EE.UU.
- StatSoft, Inc. 2007. STATISTICA (data analysis software system), ver. 8.0., EEUU. (también disponible en línea: <http://www.statsoft.com>).
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2000. ERICK 2, base de datos meteorológicos, Ciudad de México, México. (también disponible en línea: <http://smn.cna.gob.mx>).
- Weller, T.J. & C.J. Zabel. 2002. Variation in bat detections due to detector orientation in a forest. *Wildl. Soc. B.* 30: 922-930.
- Williams-Guillén, K. & I. Perfecto. 2011. Ensemble composition and activity levels of insectivorous bats in response to management intensification in coffee agroforestry Systems. *PlosONE* 6: 1-10.
- WWF (World Wildlife Fund) & SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 2001. Chimalapas: la última oportunidad. Oaxaca, México.

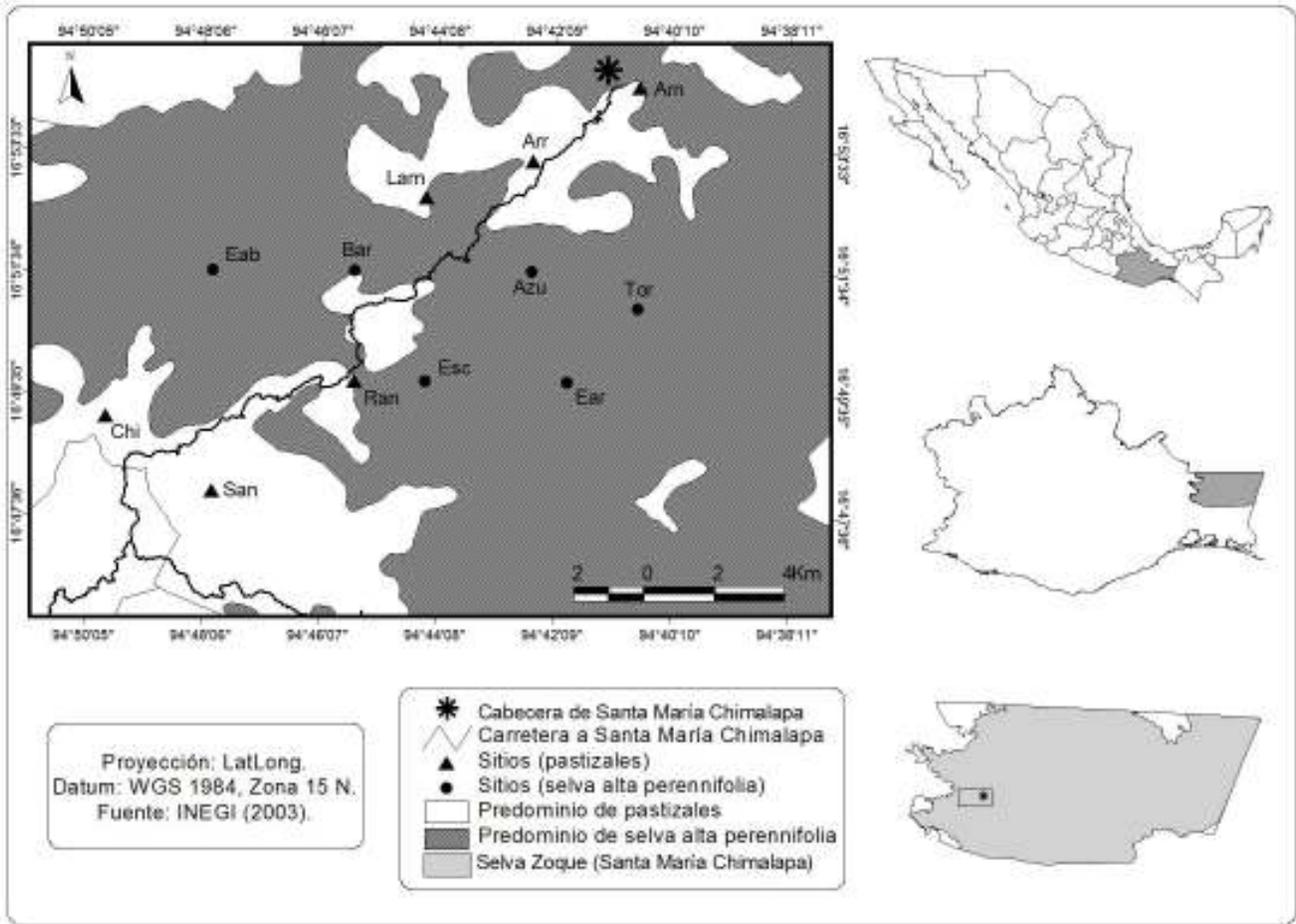


Fig. 1. Sitios de muestreo en áreas con predominio de selva alta perennifolia y pastizales en Santa María Chimalapa, Oaxaca, México.

Fig. 1. Study sites in tropical rainforest and grasslands in Santa María Chimalapa, Oaxaca, Mexico.

CUADRO 1

Parámetros de las frecuencias de ecolocalización de especies de murciélagos insectívoros de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. F. máx.= frecuencia máxima, F. min.= frecuencia mínima, F. c.= frecuencia característica, n= número de pulsos.

TABLE 1

Parameters of insectivorous bats echolocation frequencies in Santa María Chimalapa, Oaxaca, Mexico. F. máx.= maximum frequency, F. min.= minimum frequency, F. c.= characteristic frequency, n= number of pulses.

Espece	n	F. máx. (kHz)	F. min. (kHz)	F. c. (kHz)
Emballonuridae				
<i>Saccopteryx bilineata</i> ^{1,2,3,4 y 5}	21	47.41	44.24	47.37
<i>Balantiopteryx io</i> ^{3 y 5}	7	52.15	45.87	50.39
<i>Balantiopteryx plicata</i> ⁷	3	41.96	36.97	39.50
Mormoopidae				
<i>Pteronotus davyi</i> ^{1,3,4 y 5}	3	70.18	58.97	59.26
<i>Pteronotus parnellii</i> ^{1,3,4,5 y 6}	12	63.55	56.21	62.26
Vespertilionidae				
<i>Eptesicus furinalis</i> ^{3,4 y 5}	18	64.02	32.78	33.13
<i>Lasiurus ega</i> ^{5 y 7}	23	43.97	35.49	37.27

¹O'Farrell & Miller (1997), ²O'Farrell *et al.* (1999), ³O'Farrell & Miller (1999), ⁴Ochoa *et al.* (2000), ⁵Miller (2003), ⁶García-García *et al.* (2010), ⁷Williams-Guillén & Perfecto (*com. pers.*).

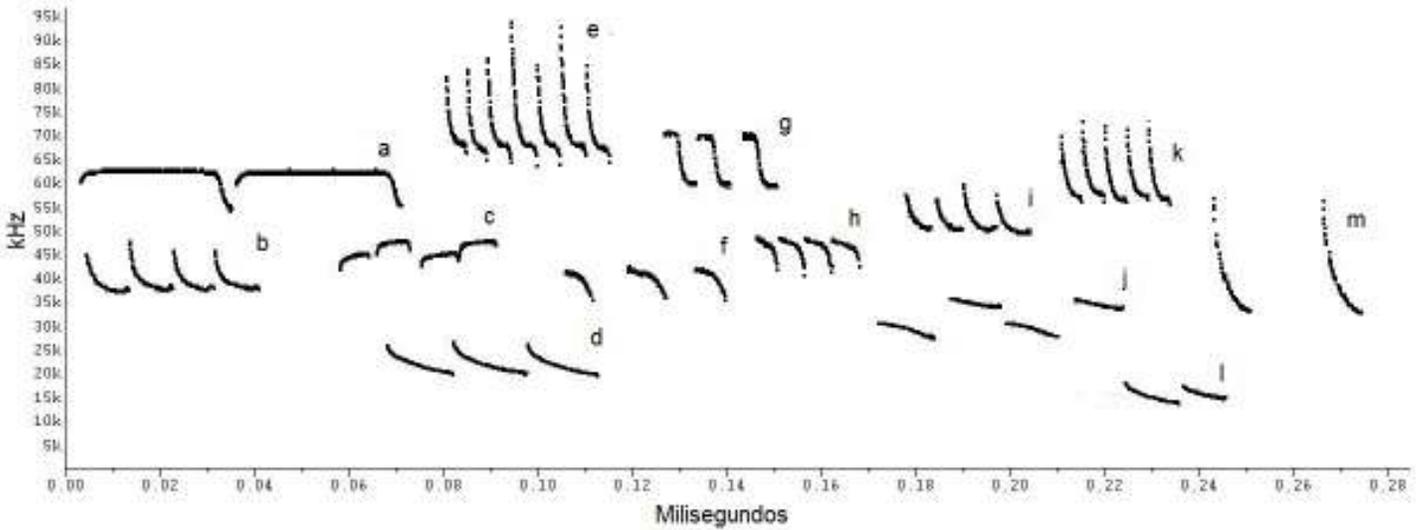


Fig. 2. Espectrogramas de murciélagos insectívoros detectados en selva alta perennifolia y pastizales en Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. La escala de tiempo no se encuentra en tiempo real, está comprimida para visualizar mayor cantidad de pulsos. **a**= *Pteronotus parnellii*, **b**= *Lasiurus ega*, **c**= *Saccopteryx bilineata*, **d**= Molossidae 1, **e**= *Myotis* sp. 2, **f**= *Balantiopteryx plicata*, **g**= *P. davyi*, **h**= *B. io*, **i**= Sonotipo 1, **j**= *Molossus* sp., **k**= *Myotis* sp. 1, **l**= *Eumops* sp. y **m**= *Eptesicus furinalis*.

Fig. 2. Spectrograms of insectivorous bats detected in tropical rainforest and grasslands in Santa María Chimalapa, Oaxaca, Mexico. The time scale is not real time, it is compressed in order to show more pulses. **a**= *Pteronotus parnellii*, **b**= *Lasiurus ega*, **c**= *Saccopteryx bilineata*, **d**= Molossidae 1, **e**= *Myotis* sp. 2, **f**= *Balantiopteryx plicata*, **g**= *P. davyi*, **h**= *B. io*, **i**= Sonotipo 1, **j**= *Molossus* sp., **k**= *Myotis* sp. 1, **l**= *Eumops* sp. y **m**= *Eptesicus furinalis*.

CUADRO 2

Correlación entre la actividad relativa total de murciélagos insectívoros y variables ambientales en Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. n= número de observaciones, ρ = coeficiente de correlación de Spearman, p= valor de significancia, Sel= selva alta perennifolia, Pas= pastizales.

TABLE 2

Correlations between total relative activity of insectivorous bats and environment variables in Santa María Chimalapa, Oaxaca, Mexico. n= number of observations, ρ = Spearman correlation coefficient, p= probability value, Sel= tropical rainforest, Pas= grasslands.

Hábitat	Sel		Pas	
Época	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa
Temperatura promedio (°C)	$\rho= 0.77, n= 16, p= 0.0004$	$\rho= 0.21, n= 12, p= 0.50$	$\rho= -0.2, n= 12, p= 0.38$	$\rho= 0.02, n= 12, p= 0.93$
Humedad relativa (%)	$\rho= -0.7, n= 16, p= 0.001$	$\rho= 0.52, n= 13, p= 0.06$	$\rho= -0.3, n= 12, p= 0.28$	$\rho= 0.11, n= 12, p= 0.72$

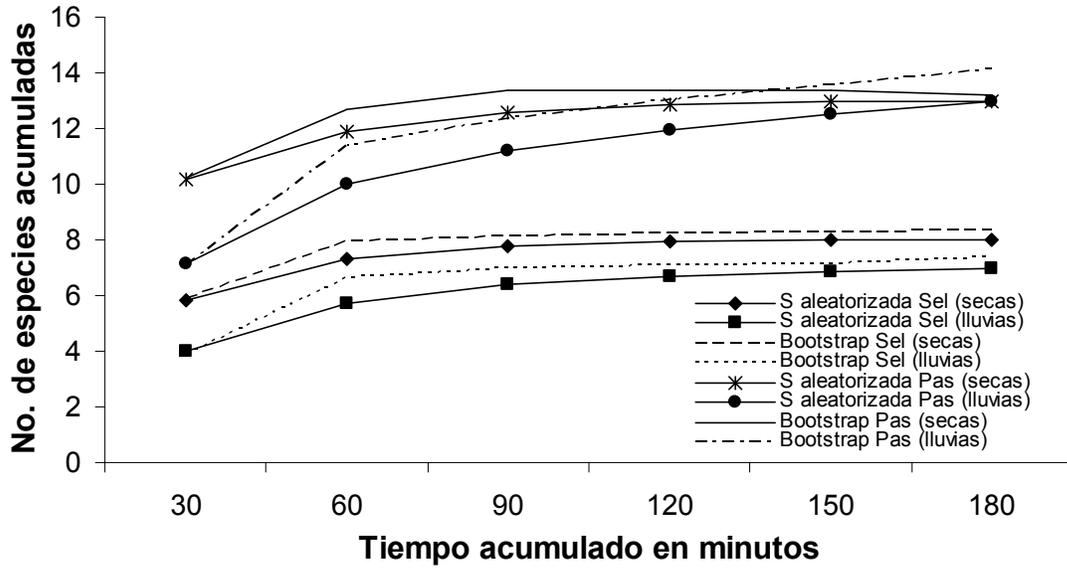


Fig. 3. Curva de acumulación de especies de murciélagos insectívoros en selva alta perennifolia y pastizales de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. Los períodos de 30 minutos inician a partir de la puesta del sol. S= riqueza de especies, Sel= selva alta perennifolia, Pas= pastizales.

Fig. 3. Species accumulation curves for insectivorous bats in tropical rainforest in Santa María Chimalapa, Oaxaca, Mexico. The 30 minutes recording periods initiate after sunset. S= species richness, Sel= tropical rainforest, Pas= grasslands.

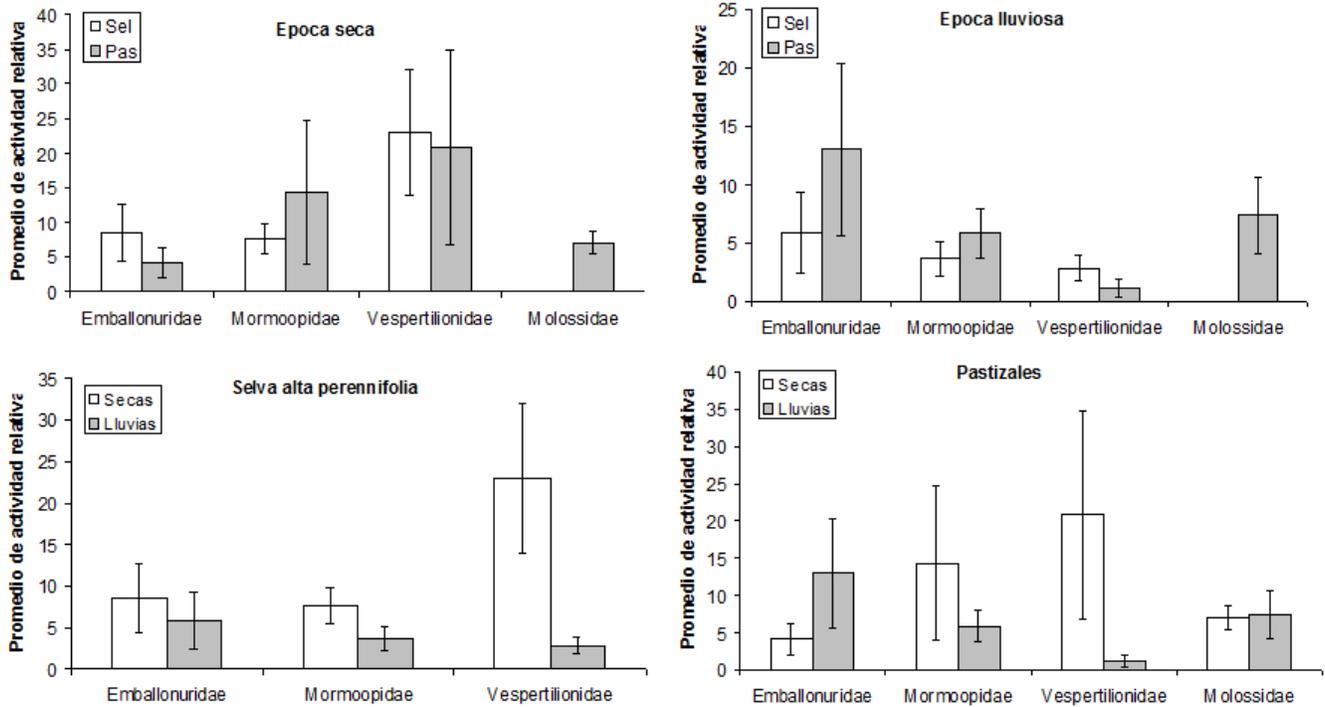


Fig. 4. Promedio de la actividad relativa de murciélagos insectívoros por familia taxonómica en selva alta perennifolia (Sel) y pastizales (Pas) en Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. Las líneas verticales representan el error estándar sobre la media.

Fig. 4. Average relative activity of insectivorous bats by taxonomic family in tropical rainforest (Sel) and grasslands (Pas) in Santa María Chimalapa, Oaxaca, Mexico. Vertical lines represent the standard error of the mean.

CAPITULO 3.

Conclusiones

Los detectores ultrasónicos son una herramienta poco utilizada para el estudio de los murciélagos en el Neotrópico, esto a pesar que representan técnicas complementarias a las convencionales, y que llegan a incrementar los listados de especies considerablemente. Aunque los detectores proveen una aproximación más adecuada para el estudio de la ecología de murciélagos insectívoros, los pocos estudios en México tienen variaciones considerables que dificultan las comparaciones, y muchos son esfuerzos aislados. La considerable variabilidad en los llamados acústicos y la falta de estudios locales se reflejan en el hecho de que casi la mitad de los sonotipos no pudieron reconocerse al nivel de especie, un panorama general en este campo de estudio en el Neotrópico. La diferencia de la riqueza de especies en este caso se atribuye a un artefacto de muestreo, es necesario evaluar el escenario por arriba del dosel y no se descarta la posibilidad de una estratificación vertical de la selva que sea distinguible para los murciélagos. Se puede atribuir la falta de un patrón de la actividad relativa entre hábitats a la presencia o cercanía de ríos con vegetación asociada en los sitios de grabación inmersos en los pastizales, esta característica del hábitat en el área puede ser un factor importante en la resiliencia de algunas especies a la modificación de la selva. En cuanto a la relación de las variables ambientales con la actividad relativa los resultados son similares a otros estudios en el país; algunas variables tienen un efecto significativo particularmente en una época del año, y en general la disponibilidad de alimento y la actividad relativa se correlacionan positivamente. Los hábitats estudiados sugieren la presencia de los ríos como un recurso importante para los murciélagos insectívoros en época seca, sin embargo en casos extremos la vegetación ribereña en los pastizales es eliminada, lo cual puede tener un efecto que debería ser considerado en posteriores estudios. En las estrategias de conservación a nivel local es importante considerar la protección de los hábitats ribereños por su importancia al ofrecer recursos como agua, concentración de alimento, refugios, permitir la evasión de los depredadores y funcionar como corredores entre hábitats.