

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

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

Doctorado en Ciencias en Conservación y
Aprovechamiento de Recursos Naturales

**Caracterización, variación y patrones de actividad de murciélagos
insectívoros en Oaxaca**

T E S I S

QUE PRESENTA:

MARGARITA GARCÍA LUIS

Director de tesis: Dr. Miguel Ángel Briones Salas

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

Enero de 2018.

Índice general

	Pág.
INTRODUCCIÓN GENERAL	4
Objetivos	12
Literatura Citada.....	13
CAPÍTULO I. DETECCIÓN ULTRASÓNICA DE MURCIÉLAGOS, AVANCES Y PERSPECTIVAS EN MÉXICO: DOS DÉCADAS DE INVESTIGACIÓN.....	22
Introducción	24
Materiales y Métodos	27
Resultados	28
Discusión	32
Literatura Citada.....	35
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE FIRMAS VOCALES DE MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS DE OAXACA	53
Introducción	55
Materiales y método	57
Resultados	58
Discusión	63
Literatura citada	68
CAPÍTULO III. COMPOSICIÓN Y ACTIVIDAD DE LA COMUNIDAD DE MURCIÉLAGOS ARTROPODÍVOROS EN PARQUES EÓLICOS DEL TRÓPICO MEXICANO.....	84
Introducción	88
Materiales y métodos	89
Resultados	93
Discusión	97
Referencias	102
CAPÍTULO IV. DIVERSIDAD DEL ENSAMBLE DE MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS EN SITIOS DE PRODUCCIÓN EÓLICA EN EL TRÓPICO MEXICANO.....	124
Introducción	126
Materiales y métodos	128
Resultados	132
Discusión	133

Literatura citada	138
DISCUSIÓN GENERAL.....	152
Literatura Citada.....	163
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	169

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los quirópteros son el segundo orden de mamíferos más diverso después de los roedores; constituyen aproximadamente el 65% del total de especies de mamíferos en el mundo (Simmons, 2005). Los murciélagos, poseen variados hábitos alimenticios con especies frugívoras, nectarívoras, insectívoras, carnívoras y hematófagas (Kunz et al., 2011); lo que los lleva a proporcionar múltiples servicios ecológicos, entre ellos a) polinización de plantas como los agaves (*Agave* sp) y cactáceas, de gran importancia para la elaboración de bebidas alcohólicas y comercialización de frutos (Valiente-Banuet, 1996; Rocha et al., 2006); b) dispersión de plantas pioneras para la regeneración de los bosques en algunas zonas del Neotrópico (Medellín y Gaona, 1999; López y Vaughan, 2004) y; c) control de insectos plaga de cultivos de interés comercial como cítricos, maíz, sorgo y nuez (Gándara et al, 2006; Medina et al., 2007).

Lo anterior, ha llevado a considerarlos un grupo indicador de la calidad del ambiente (Coutinho y Bernard, 2012; Gehrt y Chelsvig, 2003; McKinney, 2006; Jung y Kalko 2010; Williams y Perfecto, 2011; Stahlschmidt y Brül, 2012) debido a que responden al gradiente de perturbación de manera generalizada hacia una disminución en su riqueza y abundancia. Aunque, la heterogeneidad del paisaje urbano y agrícola, puede contribuir a mantener moderadamente la riqueza y abundancia al ofrecer hábitats y recursos alimenticios. Adicionalmente, son un orden relativamente fácil de coleccionar y de identificar en campo; lo que resulta en numerosos estudios sobre ellos, principalmente en regiones como la Neotropical, con las redes de niebla como el método de colecta más comúnmente usado desde hace más de 100 años (Ávila-Flores y Fenton 2005; Duchamp et al. 2004; Gehrt y Chelsvig 2003; Briones-Salas et al., 2015).

El método de muestreo antes mencionado, produce un sesgo en la captura de individuos,

debido a que la mayoría de las especies que pertenecen a la familia Phyllostomidae, de hábitos frugívoros, nectarívoros y polinívoros, vuelan a nivel del sotobosque y son más susceptibles de ser capturadas con redes. En contraste, se ha registrado que los murciélagos insectívoros se desplazan a alturas de más de 1000 metros sobre el suelo para alimentarse y se registran muy poco en los inventarios realizados únicamente con redes de niebla; por lo que, se han integrado detectores ultrasónicos al estudio de este grupo (MacSwiney et al., 2008; McCracken et al., 2008).

Las primeras inferencias del uso de sonido por murciélagos para volar en total oscuridad se tuvieron en el siglo XVII, cuando Lázaro Spallanzani condujo una serie de experimentos al respecto. Estos experimentos le permitieron concluir, que el sentido del oído y no la vista, era fundamental para volar y cazar en estos animales, aunque no pudo determinar la forma en que lo lograban. No fue sino hasta 1944, que Donald R. Griffin acuñó el término ecolocación y describió la naturaleza de los sonidos que producen los murciélagos para ubicar objetos en el ambiente. Años más tarde, en 1958, publicó la obra *Listening in the dark*, en la que se sentaron las bases para un nuevo campo de estudio, que permitió investigar a los murciélagos desde otra perspectiva: la detección ultrasónica (Fenton, 2004; Griffin, 1958).

Los primeros detectores de ultrasonidos utilizaban el sistema heterodino, que convierte en audibles los sonidos de alta frecuencia de los murciélagos; estos detectores son de banda estrecha, por lo que se debe determinar la frecuencia para escuchar (a partir de esa frecuencia, el detector convierte el sonido en un intervalo de $\pm 5\text{kHz}$; Pettersson, 2004). Posteriormente, se desarrollaron otros sistemas que graban en banda ancha y permiten extraer información de las llamadas detectadas, así como la identificación a través de la visualización de los patrones de los sonidos emitidos (Barclay et al., 1999; Murray et al., 2001; O'Farrell et al., 2000). Entre estos sistemas están el de división de frecuencia, que graba el armónico más fuerte del ultrasonido y el sistema

de expansión de tiempo, en el que se graba el espectro completo (frecuencia fundamental y sus armónicos) de los llamados (Pettersson, 2004).

Estos primeros dispositivos, requerían para la grabación de llamados la utilización de grabadoras de cinta magnética, que generaban gran cantidad de cintas para tiempos relativamente cortos de grabación; por lo que era una técnica costosa en los estudios de campo. El desarrollo de las computadoras y la miniaturización de componentes, permitieron construir detectores de menor tamaño y cintas de grabación con mayor capacidad. Fue hasta finales del siglo XX, que los detectores empezaron a incluir puertos para la adición de memorias de almacenamiento masivo para la grabación de sonidos, con la consecuente ampliación de periodos de grabación en campo. Actualmente, los costos de los detectores pueden ir de los 500 a 10,000 USD dependiendo del modelo y marca; sin embargo, la accesibilidad en algunos países se ve reducida por el alto costo que aun significan en la investigación (Orozco-Lugo, 2007; Tittley Scientific, 2016; Wildlife Acoustics, 2016; Pettersson Elektronik, 2016; Avisoft Bioacoustics, 2016).

A pesar de lo anterior, a la fecha, a través de esta herramienta en el mundo, se han abordado temáticas como la descripción de firmas vocales (e. g. Parsons y Jones, 2000; Orozco-Lugo et al., 2013), actividad (e. g. MacSwiney et al., 2009; Kraker-Castañeda et al., 2013), actividad relacionada con variables ambientales (e. g. Richards, 1989; Ciechanowski et al., 2008; Frick et al., 2012), actividad en zonas con aerogeneradores (e. g. Fiedler, 2002; Arnett et al., 2008; Baerwald y Barclay, 2011; Hein et al., 2013), uso de hábitat (e. g. Russo y Jones, 2003; Ávila-Flores y Fenton, 2005; García-Morales et al., 2013), variación geográfica (e. g. Barclay et al., 1999; O'Farrell et al, 2000; Gillam y McCracken, 2007; Jiang et al., 2013; Russo et al., 2014), variación inter e intra individual (e. g. Russo et al., 2001), efecto de la atenuación atmosférica en los llamados (e. g. Lawrence y Simmons, 1982), llamados sociales (e. g. Behr y Von Helversen, 2004), comportamiento ecolocador (e. g. Ibarra-Alvarado, 2006; Gillam, 2007; Gillam et al.,

2010), por mencionar algunos.

Países como Estados Unidos, Canadá y Australia poseen bibliotecas de sonidos, otros como Bulgaria, Inglaterra, Hungría, Japón, Rumanía, Rusia y Ucrania tienen programas de monitoreo anuales estandarizados, en los que participan aficionados a la observación de especies silvestres, esto, a través de iniciativas como iBats y Echobank (BCT, 2015; Collen, 2012; Walters et al., 2012). Los alcances y posibilidades en los estudios con esta herramienta, son amplios y se han expandido hasta la neurociencia, en la que se ha buscado describir los mecanismos que permiten a los murciélagos ubicarse de manera precisa a través del procesamiento de información acústica (Geberl et al., 2015; Seibert et al., 2015; Washington y Tillinghast, 2015).

México, es un país con alta biodiversidad y que posee un alto número de endemismos (Mittermeier y Goettsch, 1992), alberga 139 especies de murciélagos (Ramírez-Pulido et al. 2014) de las que poco más de 80 son insectívoras. Sin embargo, hasta el momento no existe una revisión de los trabajos llevados a cabo con detección ultrasónica, es decir, se desconoce el estado de esta línea de investigación en el país. Tampoco se cuenta con una biblioteca nacional de llamadas de referencia que pueda apoyar la identificación de especies de murciélagos y la completitud de inventarios, lo cual es uno de los primeros pasos para establecimiento de estrategias de conservación efectivas. Estas bibliotecas, son base para la caracterización de las llamadas de las especies y análisis de variación intraespecífica (individuos de la misma especie; llamadas en las hembras al acercarse a sus crías, para identificar individuos; Betts, 1998; Collins et al., 2005) e interespecífica (entre especie; distinguir si los individuos que se encuentran en el mismo espacio pertenecen a la colonia; Fallow et al., 2011). Por lo anterior, la descripción de sonidos es básica para los estudios con detección ultrasónica.

Oaxaca, es uno de los estados del país con mayor importancia biológica, donde se han registrado más de 50 especies de murciélagos insectívoros (Briones-Salas et al., 2015).

Recientemente (a partir de 2010), se han realizado en el estado algunos trabajos con detectores ultrasónicos; como complemento para identificar especies de ensambles de murciélagos en áreas fragmentadas y conservadas en el Istmo de Tehuantepec (e. g. Briones-Salas et al., 2013), así como el registro de especies en parques eólicos (Bolívar-Cimé et al., 2016); para medir la riqueza de especies y actividad de insectívoros en la selva tropical de los Chimalapas (Kraker-Castañeda et al., 2013). Otros más han servido para caracterizar firmas vocales; en estos, se han descrito al menos 15 especies y varios sonotipos (Trejo, 2011; García, 2012). Así mismo, Briones et al., (2013) a través de la detección ultrasónica han contribuido al listado de especies insectívoras de Oaxaca con el reporte de *Molossus sinaloae*, como primer registro para el estado.

El Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, es una región de gran importancia biológica en México, debido a que es considerada el límite de la región Neotropical (Morrone, 2004; Escalante et al., 2005). Representa una barrera para los grupos biológicos de montaña y de la provincia de Chiapas, y es zona de tránsito de especies migratorias de aves y murciélagos; políticamente está conformada por los distritos de Juchitán y Tehuantepec (Ceballos et al., 2010). En esta región, se han registrado el 68% del total de especies de quirópteros del estado (Briones-Salas et al., 2015). Adicionalmente es una de las zonas de México de mayor potencial eólico del país y del mundo; con vientos promedio de 7.7- 8.5 m/s a 50 m sobre el suelo, calificados como excelentes para la producción de energía eólica y presentes durante todo el año (Elliott et al., 2004). Esta forma de producción ha tenido mayor auge en los últimos años a nivel mundial, para el 2010 se registraron 194.4 GW de capacidad eléctrica instalada (Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century, 2010). En México, se espera que para 2022 se produzcan 15 000 MW de los cuales cerca del 80% se producirán en el Istmo de Tehuantepec (AMEE, 2016, Atienza et al., 2011; Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century, 2010). Sin embargo, se han registrado algunas consecuencias negativas en el establecimiento de estas

instalaciones, como causar la muerte de aves y murciélagos por colisiones con las aspas de las torres, ruido, electromagnetismo y vibraciones. Y aunque, se ha documentado que el ruido puede promover que la fauna evite los sitios con tales características, no se ha investigado a detalle las implicaciones que tienen en el comportamiento de la fauna residente y migratoria de la región Neotropical (Henestroza, 2008; Bolívar-Cimé et al., 2016). Al ser los murciélagos uno de los grupos afectados por el establecimiento de parques eólicos y dada su importancia biológica, es necesaria la realización de estudios sobre ellos y su relación con estas instalaciones en esta región del estado.

De acuerdo a lo antes expuesto, la presente tesis se compone de cuatro capítulos, enfocados de forma general a ofrecer un panorama del estudio de los murciélagos a través de detectores ultrasónicos en México, la caracterización de los sonidos de ecolocalización de los murciélagos insectívoros, en Oaxaca y por último, determinar si existen diferencias de riqueza, diversidad, actividad y horarios de actividad entre zonas con parques eólicos y sin estas instalaciones en el Istmo. El capítulo I, Detección ultrasónica de murciélagos, avances y perspectivas en México: dos décadas de investigación, aporta información sobre la detección acústica en México. A la fecha se han producido 55 documentos, el 96.36% de los trabajos se concentra principalmente sobre la caracterización de las llamadas de 59 especies de murciélagos (con sistemas de análisis de ultrasonidos de división de frecuencia y espectro completo), actividad, inventarios, comportamiento y generalidades. Sin embargo, las investigaciones se han conducido sólo en la mitad de los estados del país. Asimismo, algunos temas han sido poco estudiados o no han sido abordados como: estrategias de captura de presas o localización de alimento, uso estratificado de recursos, efectos de variables ambientales en la efectividad de detección de llamados, identificación de llamados sociales y percepción del eco de estructuras florales. El Capítulo II, Caracterización de firmas vocales de murciélagos insectívoros de Oaxaca,

presenta la medición de seis parámetros de las llamadas de ecolocalización de 23 especies de murciélagos en 21 sitios de Oaxaca. Se realizó un análisis de componentes principales, en el que se asocian seis parámetros para cubrir el 95.20% de la variación de las llamadas para la identificación y su descripción. De manera general con un análisis de función discriminante, se obtuvo un porcentaje de clasificación correcta de especies que fue desde 51.35% hasta 99.43%. En el Capítulo III, Composición y actividad de la comunidad de murciélagos insectívoros en parques eólicos del Trópico Mexicano, se exploró la existencia de diferencias en la composición y actividad de murciélagos insectívoros, en sitios dentro de parques eólicos (DPE) y sitios fuera de ellos (FPE). La composición de especies fue similar entre sitios, en el área DPE, se registraron 12 especies y 4 géneros, mientras que en el área FPE resultaron 10 especies y 4 géneros. *Pteronotus personatus* y *Eptesicus* sp. estuvieron sólo DPE, mientras que *Molossus rufus* sólo se registró en sitios FPE. El análisis de actividad entre áreas (DPE y FPE) no mostró diferencias significativas; no obstante, por temporadas sí se encontraron diferencias. La mayor actividad se registró entre las 19:00 y 20:00 horas en ambas condiciones, por lo que sugirió la implementación de paros programados en el funcionamiento de los aerogeneradores durante las horas de mayor actividad. El Capítulo IV, Diversidad del ensamble de murciélagos insectívoros en sitios de producción eólica en el trópico mexicano, hace referencia al análisis de la diversidad y similitud de las especies de murciélagos insectívoros en sitios con parques eólicos y sitios sin ellos. La diversidad de orden 0 fue mayor en el sitio 1, la de orden 1 lo fue para el sitio 4 y la de orden 2 lo fue para el sitio 6. La similitud entre sitios fue desde 0.83 hasta 0.99, el sitio 3 fue el de mayor disimilitud. No se encontraron diferencias entre la diversidad de orden 0, 1 y 2, lo que es consistente con la gran similitud entre sitios.

Con lo anterior, 1) se contribuyó con la primera revisión del estado general del conocimiento de la detección ultrasónica en México; la cual, puede servir como referencia inicial

para los interesados en estudiar a los murciélagos a través de esta herramienta en el país. 2) Se aportan elementos a considerar, para los trabajos que caracterizan ultrasonidos con detectores ultrasónicos de división de frecuencia, debido a que los análisis realizados en este trabajo sugieren que deben ser reportadas las medidas de al menos seis parámetros para explicar el 95.20% de variación de las llamadas, a pesar de la tendencia de reportar sólo de 3 a 4 medidas. Además se describen para el estado por primera vez con detector de división de frecuencia, cuatro especies: *Saccopteryx bilineata*, *Eumops underwoodi*, *Promops centralis*, *Myotis velifer*. 3) Asimismo, se aportaron los primeros datos comparativos de riqueza, diversidad y actividad de murciélagos en zonas con parques eólicos y sin ellos en México; lo que representa una de las primeras investigaciones publicadas al respecto en el país. 4) Finalmente, a través del análisis de los horarios de actividad de las especies en parque eólicos, se sugiere una de las primeras recomendaciones de las que se tenga conocimiento en México, con el fin de disminuir los choques de individuos con las aspas de los aerogeneradores; la cual consiste en la programación de altos en el funcionamiento en las horas de mayor actividad de insectívoros.

Objetivos

Realizar una revisión del estado actual del estudio de los murciélagos con detección ultrasónica en México y determinar los temas de investigación que han sido poco abordados con esta herramienta en el país (Capítulo I).

Describir los sonidos de ecolocalización de los murciélagos insectívoros en sitios del estado de Oaxaca, así como realizar un análisis de componentes principales y de función discriminante. Con el fin de determinar los parámetros de las llamadas que explican la mayor variación de estas y sus porcentajes correctos de clasificación (Capítulo II).

Analizar las diferencias entre sitios con parques eólicos y en sitios sin estas instalaciones en función de la riqueza de especies de murciélagos insectívoros así como de sus patrones y horarios de actividad en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca (Capítulo III).

Analizar la diversidad y similitud de las especies de murciélagos insectívoros entre sitios con y sin parques eólicos en el Istmo de Tehuantepec (Capítulo IV).

Literatura Citada

- Arnett, E. B., Brown, W. K., Erickson, W. P., Fiedler, J. K., Hamilton, B. L., Henry, T. H., Jain, A., Johnson, G. D., Kerns, J., Koford, R. R., Nicholson, C. P., O'Connell, T. J., Piorkowski, M. D. y Tankersley, R. D. 2008. Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management* 72: 61-78.
- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMEE). 2016. Consultado septiembre 2016 en: <http://www.amdee.org/porque-la-eolica>
- Atienza, J. C., Martín Fierro, I., Infante, O., Valls, J. y Domínguez, J. 2011. Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0). SEO/BirdLife, Madrid.
- Ávila-Flores, R. y Fenton, M. B. 2005. Use of spatial feature by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of mammalogy* 86: 1193-1204.
- Avisoft Bioacustics. 2016. <http://www.avisoft.com/pricelist.htm>
- Baerwald, E. F. y Barclay, R. M. R. 2011. Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *Journal of Wildlife Management* 75: 1103-1114.
- Barclay, R. M. R., Fullard, J. H. y Jacobs, D. S. 1999. Variation in the echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*): influence of body size, habitat structure, and geographic location. *Canadian Journal of Zoology* 77: 530-534.
- BCT, Bat Conservation Trust. 2015. Disponible en: <http://www.bats.org.uk/pages/ibats-program.html>
- Behr, O. y Von Helversen, O. 2004. Bat serenades-complex courtship songs of the sac-winged bat (*Saccopteryx bilineata*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 56: 106-115.
- Betts, B. J. 1998. Effects of interindividual variation in echolocation calls on identification of big brown and silver-haired bats. *Journal of Wildlife Management*, 62: 1003 – 1010.

- Bolívar-Cimé, B., Bolívar-Cimé, A., Cabrera-Cruz, S. A., Muñoz-Jiménez, Ó. y Villegas-Patracá, R. 2016. Bats in a tropical wind farm: species composition and importance of the spatial attributes of vegetation cover on bat fatalities. *Journal of Mammalogy* 97: 1197-1208.
- Briones-Salas, M. A., Peralta-Pérez, M. A. y García-L., M. 2013. Acoustic characterization of new species of bats for the State of Oaxaca, Mexico. *Therya* 4: 15-32.
- Briones-Salas, M., Cortés-Marcial, M. y Lavariega, M. C. 2015. Diversidad y distribución geográfica de los mamíferos terrestres del estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86: 685-710.
- Ceballos, G., Arroyo-Cabrales, J. y Ponce, E. (2010). Effects of Pleistocene environmental changes on the distribution and community structure of the mammalian fauna of Mexico. *Quaternary Research* 73: 464-473.
- Ciechanowski, M., Zając, T., Biłas, A. y Dunajski, R. 2008. Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics: effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Canadian Journal of Zoology* 86: 1249-1263.
- Collen, A. 2012. The evolution of echolocation. Department of Genetics, Evolution and Environment, University College London. PhD thesis, 432 p.
- Collins, K. T., T. L. Rogers, J. M. Terhune, P. D. McGreevy, K. E. Wheatley y R. G. Harcourt. 2005. Individual Variation of In-Air Female 'Pup Contact' Calls in Weddell Seals, *Leptonychotes weddellii*. *Behaviour*, 142: 167.
- Coutinho C., G. y Bernard, E. 2012. Neotropical Bats as Indicators of Environmental Disturbance: What is the Emerging Message? *Acta Chiropterologica* 14: 143-151.
- Duchamp, J. E., Spark, D. W. y Whitaker, J. O. Jr. 2004. Foraging-habitat selection by bats at an urban-rural interface: comparison between a successful and a less successful species. *Canadian Journal of Zoology* 82: 1157-1164.

- Elliott, D., Schwartz, M., Scott, G., Haymes, S., Heimiller, D. y George, R. 2004. Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca. Reporte. Laboratorio Nacional de Energía renovable. E. U. A.
- Escalante, T., Rodríguez, G. y Morrone, J. J. 2005. Las provincias biogeográficas del Componente Mexicano de Montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 72:199-205.
- Fallow, P., Gardner, J. L. y Magrath, R. D. 2011. Sound familiar?: Acoustic similarity provokes responses to unfamiliar heterospecific alarm calls. *Behavioral Ecology* 22: 401-410.
- Fenton, M. B. 2004. Bat Natural History and Echolocation. Pp.2-6. R. M. Brigham, E. K. W. Kalko, G. Jones, S. Parsons y H. J. G. A. Limpens (eds). *Bat echolocation research: tools techniques and analysis*. Bat Conservation International. 167 pág.
- Fiedler, J. K. 2002. Assessment of bat mortality and activity at Buffalo Mountain windfarm, Eastern Tennessee. Thesis, University of Tennessee, Knoxville, USA.
- Frick, W. F., Stepanian, P. M., Kelly, J. F., Howard, K. W., Kuster, C. M., Kunz, T. H. y Chilson, P. B. 2012. Climate and weather impact timing of emergence of bats. *PLoS ONE* 7: 1-8.
- Gándara F., G, Correa S., A. N., y Hernández C., C. A. 2006. Valoración económica de los servicios ecológicos que prestan los murciélagos *Tadarida brasiliensis* como controladores de plagas en el norte de México. Escuela de Graduados en Administración Pública y Política Pública (EGAP). Cátedra de Integración Económica y Desarrollo Social. Nuevo León, México. pp. 1-18.
- García L., M. 2012. Monitoreo acústico de murciélagos insectívoros de los Valles Centrales de Oaxaca. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. 60 pp.

- García-Morales, R., Badano, E. I. y Moreno, C. E. 2013. Response of neotropical bat assemblages to human land use. *Conservation Biology* 27: 1096-1106.
- Geberl, C., S. Brinkløv, L. Wiegerebe y Surlykke A. 2015. Fast sensory–motor reactions in echolocating bats to sudden changes during the final buzz and prey intercept. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 4122-4127.
- Gehrt, S. D. y Chelsvig, J. E. 2003. Bat activity in an urban landscape patterns at the landscape and microhabitat scale. *Ecology Applications* 13: 939-950.
- Gillam, E. 2007. Behavioral and ecological influences on the echolocation of brazilian free-tailed bats, *Tadarida brasiliensis*. The University of Tennessee, Knoxville. Doctoral thesis.
- Gillam, E. y McCracken, G. F. 2007. Variability in the echolocation of *Tadarida brasiliensis*: effects of geography and local acoustic environment. *Animal Behaviour* 74: 277-286.
- Gillam, E., Hristov, N. I., Kunz, T. H. y McCracken, G. F. 2010. Echolocation behavior of Brazilian free-tailed bats during dense emergence flights. *Journal of Mammalogy* 92: 967-975.
- Griffin, D. 1958. *Listening in the dark*. Yale university Press, New Haven, Connecticut.
- Hein, C.D., Gruver, J., y Arnett, E. B. 2013. Relating pre-construction bat activity and post-construction bat fatality to predict risk at wind energy facilities: a synthesis. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International, Austin, TX, USA. p. 22.
- Henestroza, O. R. 2008. Desarrollo del proyecto eólico en la región del Istmo de Tehuantepec. *Investigación y Ciencia de la Universidad de Aguascalientes*. Num.42: 18-21. México.
- Ibarra-Alvarado, C. 2006. La conducta de ecolocación del murciélago *Pteronotus davyi* (Chiroptera: Mormoopidae). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. Tesis de licenciatura, 72 p.

- Jiang, T., You, Y., Liu, S., Lu, G., Wang, L., Wu, H., Berquist, S., Ho, J., Puechmaille, S. J. y Feng, J. 2013. Factors affecting geographic variation in echolocation calls of the endemic *Myotis davidii* in China. *Ethology* 119: 881-890.
- Jung, K. y Kalko, E. K. V. 2010. Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy* 91: 144-153.
- Kraker-Castañeda, C., Santos-Moreno, A. y García-García, J. L. 2013. Riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros aéreos en una selva tropical y pastizales en Oaxaca, Mexico. *Mastozoología Neotropical* 20: 255-267.
- Kunz, T.H., de Braun Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T. y Fleming, T.H. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223: 1–38.
- Lawrence, B. D. y Simmons, J. A. 1982. Measurements of atmospheric attenuation at ultrasonic frequencies and the significance for echolocation by bats. *The Journal of the Acoustical Society of America* 71: 585-590.
- López, J. E. y Vaughan, C. 2004. Observations on the role of frugivorous bats as seeds dispersers in Costa Rican secondary humid forest. *Acta Chiropterologica* 6: 111-119.
- MacSwiney G., M. C., Clarke, F. M. y Racey, P. A. 2009. 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 G., M.C., Bolívar C., B., Clarke, F. M. y Racey, P. A. 2008. Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica* 11: 139-147.
- McCracken, G. F., Gillam, E. H., Westbrook, J. K., Lee, Y., Jensen, M. L. y Balsley, B. B. 2008. Brazilian free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*: Molossidae, Chiroptera) at high altitude: links to migratory insect populations. *Integrative and Comparative Biology* 48: 107-118.

- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* 127: 247-260 (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00063207>)
- Medellín, R.A. y Gaona, O. 1999. Seed dispersal by bats and birds in forest and disturbed habitats of Chiapas, Mexico. *Biotropica* 31: 478-485.
- Medina E., H. Y. E., Gándara F., G. y Correa S., A. N. 2007. Cueva la Boca 2015: Generación de escenarios para la preservación de sus murciélagos. XXXVII Congreso de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sistema Tecnológico de Monterrey. Memorias de Artículos de investigación y de Tesis. Tomo II. Atizapán, Estado de México. pp. 9.
- Mittermeier, R. y C. Goettsch. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: Sarukhán, J. y R. Dirzo (comps.). México ante los retos de la biodiversidad. Conabio. México.
- Morrone, J. J. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomologia* 48:149-162.
- Murray, K. L., Britzke, E. R. y Robbins, L. W. 2001. Variation in search-phase calls of bats. *Journal of Mammalogy* 82: 728-737.
- O'Farrell, M. J., Corben, C. y Gannon, W. L. 2000. Geographic variation in the echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*). *Acta Chiropterologica* 2: 185-196.
- Orozco-Lugo, L. 2007. Efecto de la perturbación del hábitat en la comunidad de murciélagos insectívoros de selva baja caducifolia. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de maestría, 118 p.
- Orozco-Lugo, L., Guillén-Servent, A., Valenzuela-Galván, D. y Arita, H. T. 2013. Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya* 4: 33-46.

- Parsons, S. y Jones, G. 2000. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *The Journal of Experimental Biology* 203: 2641-2656.
- Pettersson Elektronik. 2016. <http://www.batsound.com/?p=28>
- Pettersson, L. 2004. Pp.9-12. R. M. Brigham, E. K. W. Kalko, G. Jones, S. Parsons y H. J. G. A Limpens (eds). *Bat echolocation research: tools techniques and analysis*. Bat Conservation International. 167 pág.
- Ramírez-Pulido, J., González-Ruiz, N., Gardner, A. L. y Arroyo-Cabrales, J. 2014. List of recent land mammals of México. Special Publications of the Museum of Texas Tech University. Texas, EE UU, 76 p.
- Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century. 2010. *Renewables 2010 Global Status Report*. GTZ. París, 78 pp.
- Richards, G. C. 1989. Nocturnal Activity of Insectivorous Bats Relative to Temperature and Prey Availability in Tropical Queensland. *Wildlife Research*, 16: 151-158.
- Rocha, M., Good-Ávila, S.V., Molina-Freaner, F., Arita, H.T., Castillo, A., García-Mendoza, A., Silva-Montellano, A., Gaut, B.S., Souza, V. y Eguiarte, L. E. 2006. Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus *Agave*. *Aliso* 22: 327-342.
- Russo, D. y Jones, G. 2003. Use of foraging habitats by bats in a Mediterranean area determined by acoustic surveys: conservation implications. *Ecography* 2: 197-209.
- Russo, D., Di Febbraro, M., Rebelo, H., Mucedda, M., Cistrone, L., Agnelli, P., De Pasquale, P., Martinoli, A., Scaravelli, D., Spilinga, C. y Bosso, L. 2014. What Story Does Geographic Separation of Insular Bats Tell? A Case Study on Sardinian Rhinolophids. *PlosOne* 9: e110894

- Russo, D., Jones, G. y Mucedda, M. 2001. Influence of age, sex and body size on echolocation calls of Mediterranean and Mehely's horseshoe bats, *Rhinolophus euryale* and *R. mehelyi* (Chiroptera: Rhinolophidae). *Mammalia* 65: 429-436.
- Seibert, A. M., Koblitz, J. C., Denzinger, A. y Schnitzler, H. U. 2015. Bidirectional Echolocation in the Bat *Barbastella barbastellus*: Different Signals of Low Source Level Are Emitted Upward through the Nose and Downward through the Mouth. *PLoS ONE* 10: 1-17.
- Simmons, N. B. 2005. Order Chiroptera. In: D. E. Wilson and D. M. Reeder (eds.). *Mammal species of the World: a taxonomic and geographic reference*. 3rd. edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore. pp. 312–529.
- Stahlschmidt, P. y Brül, C. A. 2012. Bats as bioindicators – the need of a standardized method for acoustic bat activity surveys. *Methods in Ecology and Evolution* 3: 503-508.
- Titley Scientific. 2016. <http://www.titley-scientific.com/us/index.php/products/anabat-systems>
- Trejo O., A. 2011. Caracterización acústica de los murciélagos insectívoros del Parque Nacional Huatulco, Oaxaca. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. 84 pp.
- Valiente-Banuet A., Arizmendi M. C., Martínez-Rojas A. y Domínguez-Canesco L. 1996. Geographical and ecological correlates between columnar cacti and nectar-feeding bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 12: 103–119.
- Walters, C. L., Freeman, R., Collen, A., Dietz, C., Fenton, M. B., Jones, G., Obrist, M. K., Puechmaille, S., Sattler, T., Siemers, B. M., Parsons, S. y Jones, K. E. 2012. A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology* 49: 1064-1074.

Washington, S. D. y Tillinghast, J. S. 2015. Conjugating time and frequency: hemispheric specialization, acoustic uncertainty, and the mustached bat. *Frontiers in Neuroscience* 9: 1-14.

Wildlife Acoustics. 2016. <https://www.wildlifeacoustics.com/products/echo-meter-touch>

Williams G., K. y Perfecto, I. 2011. Ensemble Composition and Activity Levels of Insectivorous Bats in Response to Management Intensification in Coffee Agroforestry Systems. *PLoS ONE* 6: e16502. doi:10.1371/journal.pone.016502

CAPÍTULO I. DETECCIÓN ULTRASÓNICA DE MURCIÉLAGOS, AVANCES Y PERSPECTIVAS EN MÉXICO: DOS DÉCADAS DE INVESTIGACIÓN

Manuscrito enviado a la Revista de Biología Tropical

País: Costa Rica

Factor de impacto 0.38

SJR: Si

Detección ultrasónica de murciélagos, avances y perspectivas en México: dos décadas de investigación

Margarita García-Luis¹, M. Cristina MacSwiney G.² y Miguel Ángel Briones-Salas¹

¹ Laboratorio de Vertebrados Terrestres (Mastozoología), Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-Oaxaca), Instituto Politécnico Nacional. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C. P. 71230;

² Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO), Universidad Veracruzana. Calle José María Morelos y Pavón No. 44 y 46. Colonia Centro. C.P. 91000. Xalapa, Veracruz. Correos electrónicos: margarita@garcialuis.net, cmacswiney@uv.mx, mbriones@ipn.mx

Detección ultrasónica de murciélagos, avances y perspectivas en México: dos décadas de investigación

Ultrasonic detection in bats, advances and prospects in México: two decades of research

Resumen. El interés en el uso de detectores ultrasónicos en México para estudiar murciélagos se ha incrementado, sin embargo, hasta ahora no existe una revisión sobre investigaciones llevadas a

cabo con ellos, a pesar de ser uno de los países más biodiversos del mundo y albergar cerca de 80 especies insectívoras de murciélagos. Se presenta una lista de especies de murciélagos con detalles de temáticas abordadas y zonas de México en las que se ha realizado investigación con detectores. Se realizó una revisión de bases de datos, a través de palabras clave en inglés/español relacionadas con detección ultrasónica. Se registraron 55 documentos que se dividieron en siete temas, en los que destacó la caracterización y clasificación de llamados. Se describieron llamados de 59 especies, siendo *Pteronotus davyi*, *Mormoops megalophylla*, *Pteronotus parnellii* y *Tadarida brasiliensis* las más estudiadas. En 16 estados del país se ha realizado al menos un estudio con detectores ultrasónicos, Yucatán es el estado con mayor número de publicaciones (diez registros). Durango y Sonora tienen el menor número de registros con cuatro y tres, respectivamente. Temas como estrategias de captura de presas o localización de alimento, uso estratificado de recursos, efectos de variables ambientales en la efectividad de detección de llamados e identificación de llamados sociales han sido poco estudiados o no han sido abordados.

Palabras clave: actividad, Chiroptera, ecolocación, ecolocalización, llamados, ultrasonidos.

Abstract. Interest in the use of ultrasonic detectors for the study of bats has increased in Mexico: however, despite the status of the country as one of the most biologically diverse in the world and the fact that it hosts around 80 insectivorous bat species, there has been no review of the studies conducted to date using this equipment. A list of the bat species is presented, along with details of the research themes and zones of Mexico in which studies have been conducted into ultrasonic detection. A review of databases was conducted using keywords related to ultrasonic detection, in English and Spanish. A total of 55 documents were recorded, which were divided into seven research themes, most notable among which was the characterization and classification of calls.

The calls of 59 species were described, with *Pteronotus davyi*, *Mormoops megalophylla*, *Pteronotus parnellii* and *Tadarida brasiliensis* the most commonly studied species. Of the 16 Mexican States where least one study has been conducted using ultrasonic detectors, Yucatán State features in the greatest number of publications (ten records). Durango and Sonora have the low records eight four and three, respectively. Issues such as strategies for capturing bats or locating food, stratified use of resources, effects of environmental variables on the effectiveness of call detection and identification of social calls have been little studied or have not been addressed.

Key words: activity, calls, Chiroptera, echolocation, ultrasound.

Introducción

Los estudios sobre murciélagos son abundantes y en regiones como la Neotropical se han realizado desde hace más de 100 años; en la mayoría de estos estudios se ha utilizado las redes de niebla como el método más frecuente de colecta (Barnett et al. 2006, O'Farrell & Miller 1999). Este método está sesgado en el tipo de especies que captura, debido a que las especies hematófagas, frugívoras, polinívoras y nectarívoras son más susceptibles de ser capturadas en las redes. En contraste, se ha documentado que los murciélagos insectívoros, se registran muy poco en los inventarios realizados únicamente con redes (MacSwiney et al. 2008, Pech-Canché et al. 2010); además, muchas especies se alimentan a mayor altura (1000 m o más) aunque algunas especies de murciélagos insectívoros capturan presas sobre el sustrato y el follaje (Kalko et al. 2008, McCracken et al. 2008, Schnitzler & Kalko 2001).

El sesgo en el registro de especies se ha minimizado con el uso de detectores ultrasónicos,

los cuales detectan y permiten la grabación de los sonidos de ecolocalización (también conocido como ecolocación, sonidos de alta frecuencia, >20 kHz en muchas especies) que emiten los murciélagos para ubicarse en el ambiente, buscar presas o sitios de refugio y para comunicarse entre ellos (Kalko et al. 2008, Schnitzler & Kalko 2001, Grafe et al. 2011). La visualización de patrones de sonidos emitidos por los murciélagos, permite la identificación incluso a nivel de especie e incrementar el registro de especies (Barclay et al. 1999, Murray et al. 2001, O'Farrell et al. 2000). Por lo anterior, los detectores son considerados una herramienta complementaria para el seguimiento de murciélagos, debido a que su uso puede incrementar de un 30 a 40% el número de especies registradas sólo por redes (Kuenzi & Morrison 1998, MacSwiney 2008, Pech-Canché et al. 2010).

El uso de los detectores ultrasónicos para registrar los sonidos de ecolocalización en murciélagos, se impulsó a finales de la década de los 1950's (Fenton 2004); a partir de entonces se han empleado tres sistemas diferentes de análisis de sonido. Los primeros detectores, utilizaron el sistema heterodino, que es una técnica de análisis de sonido de banda angosta (se analiza un intervalo corto de frecuencias). Consiste en determinar el centro del intervalo de frecuencia de interés, así, se puede establecer 25 kHz como centro del intervalo, el cual hará audibles ultrasonidos que se detecten entre ± 5 kHz (20-30 kHz, Pettersson 2004). Posteriormente, se desarrollaron los sistemas de expansión de tiempo y de división de frecuencia, en los cuales se registran los sonidos en banda ancha (4-150kHz, 0-200kHz) y tiempo real, para después extraer información de las llamadas detectadas. Las grabaciones realizadas en dichos sistemas, generaban una gran cantidad de cintas de grabación para un número reducido de grabaciones, por lo que era una técnica muy costosa en los estudios de campo (Pettersson 2004). Consecutivamente, el desarrollo de las computadoras personales y la miniaturización de los componentes electrónicos, permitieron fabricar detectores de menor tamaño y cintas de grabación con mayor capacidad. Sin

embargo, no fue sino hasta a finales de los 1990's, que los detectores empezaron a incluir puertos para la adición de memorias de almacenamiento masivo para la grabación de sonidos, con la consecuente ampliación de los periodos de grabación en campo. En la actualidad, aunque los costos de los detectores han disminuido dependiendo del modelo y marca, su uso en muchos países es aún reducido.

A la fecha, el estudio de murciélagos con detectores de ultrasonidos se ha desarrollado de manera importante en Europa y algunos países como Estados Unidos, Canadá y Australia. Estos países cuentan con bibliotecas de sonidos de murciélagos insectívoros (e. g. batcalls.com, British Library Sound Archives, Cornell Lab of Ornithology-Macaulay Library, Echobank). En Inglaterra e Irlanda se han desarrollado programas de monitoreo anuales de poblaciones de murciélagos, a través de iniciativas como iBats (BCT 2015, Collen 2012, Walters et al. 2012).

De manera general, se han abordado temáticas como la descripción de firmas vocales (e.g. Orozco-Lugo et al. 2013, Parsons & Jones 2000), actividad y uso de hábitat (e.g. Hein et al. 2013, Kraker-Castañeda et al. 2013, Russo & Jones 2003), actividad relacionada con variables ambientales (e.g. Ciechanowski et al. 2008, Frick et al. 2012, Lawrence & Simmons 1982), variación geográfica (e.g. Jiang et al. 2013, Lin et al. 2015), variación inter e intra individual (e.g. Russo et al. 2001), llamados sociales (e.g. Behr & Von Helversen 2004), y comportamiento de ecolocalización (e. g. Gillam et al. 2010), por mencionar algunos. El estudio de la ecolocalización se ha expandido a la neurofisiología con el fin de describir los mecanismos que permiten a los murciélagos ubicarse a través del procesamiento de información acústica (Geberl et al. 2015, Washington & Tillinghast 2015).

El uso de detectores de ultrasonidos para el estudio de los murciélagos en México se ha incrementado en los últimos años. Sin embargo, hasta el momento no existe una revisión de los trabajos llevados a cabo con esta herramienta, a pesar de que es uno de los países más biodiversos

del mundo y alberga 139 especies de murciélagos (Ramírez-Pulido et al. 2014), de las cuales, poco más de 80 especies son insectívoras. Por ello, los objetivos del presente trabajo son 1) analizar las temáticas que se han abordado en el estudio de ultrasonidos de murciélagos en México, 2) elaborar un listado de las especies de murciélagos con las que se ha trabajado y de las que se han descrito sus llamadas de ecolocalización, 3) identificar los temas y zonas del país con poca información disponible. El análisis de esta información permitirá determinar los avances y realizar recomendaciones sobre el uso de detectores ultrasónicos en México.

Materiales y Métodos

Se realizó una revisión en las principales bases de datos de artículos científicos, reportes y tesis (JSTOR, Journal Storage; BioONE; SciVerse Scopus; SciELO, Scientific Electronic Library Online; Springer link; Elsevier Science Direct Journals; Web of Science); bibliotecas en línea de instituciones de educación superior, tales como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Instituto Politécnico Nacional (IPN), El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) e Instituto de Ecología A. C. (INECOL). Algunos documentos, como tesis de licenciatura y posgrado, fueron solicitados directamente a los autores o directores de tesis.

Se usaron las siguientes palabras clave en inglés y español para localizar los documentos antes mencionados: Insectívoros, detección acústica, ecolocación, ecolocalización, identificación acústica, murciélagos, actividad de murciélagos, llamados, firmas vocales, llamadas sociales, comportamiento de vocalización, ultrasonidos, Anabat, Pettersson, Echometer, Dodotronick, Ultramick, Ultrasound Advice, Avisoft, Batbox Baton, detectores ultrasónicos y México.

Una vez obtenidos los documentos, se registraron en una base de datos (Mendeley Desktop Ver. 1.11, 2008-2015 Mendeley Ltd.) para no duplicar referencias. Cada referencia se consideró un registro, el cual fue revisado para ser clasificado de acuerdo a la temática abordada,

tipo de publicación, estado (departamento/provincia) en el que se condujo el estudio, autores del estudio, detector y método de grabación usado. Las categorías para las temáticas fueron: 1) Caracterización y clasificación de llamadas. En esta categoría se incluyeron los estudios que describen llamados de ecolocalización y los que determinan a través de análisis estadísticos el porcentaje correcto de clasificación de las especies; 2) Actividad/uso hábitat. En esta categoría se consideraron trabajos de sonidos ultrasónicos relacionados con elementos del paisaje, factores ambientales y temporales; 3) Generalidades sobre ecolocalización. Incluye trabajos que revisan aspectos generales de la biología y evolución de la ecolocalización. 4) Inventarios. En esta categoría se consideraron aquellos trabajos donde se usa la detección ultrasónica como herramienta para determinar el número de especies de murciélagos registradas; 5) Comportamiento de ecolocalización. Categoría que contiene aspectos de la variación de las llamadas entre individuos en presencia de conspecíficos y aspectos conductuales; 6) Técnicas. Trabajos en los que se evalúa la efectividad de los detectores ultrasónicos y evaluación de la precisión de los detectores para registrar llamados y 7) Biogeografía. Uso de los detectores para observar los patrones de riqueza de especies de murciélagos.

Para determinar los trabajos por estado se consideraron las localidades de colecta mencionadas en las investigaciones. En algunos casos, un mismo trabajo incluyó sitios de muestreo en dos o más estados y cada uno fue considerado como un registro independiente para la base de datos. En la lista de especies, los datos de sus llamadas fueron obtenidos principalmente de los artículos, aunque si el artículo se originó de una tesis con datos más completos sobre las especies, esta fue la fuente de la que se tomaron los datos de las mediciones de sus llamadas.

Resultados

Se obtuvieron registros de 63 trabajos: 32 artículos arbitrados, 28 tesis, un reporte técnico, una revisión sobre monitoreo acústico y una clave de identificación de ultrasonidos. Ocho artículos presentaron información incluida previamente en tesis a nivel de pregrado y posgrado, por lo que sólo se consideraron 55 documentos en total para el análisis de la información. La temática más estudiada fue la de caracterización y clasificación de llamados, seguida por la actividad/uso de hábitat. Ambas categorías, en conjunto, representaron el 60% del total de las publicaciones (Fig. 1).

En México, la detección acústica se inició hace aproximadamente 24 años. El primer estudio realizado en México con detección ultrasónica fue el de Audet et al. (1993) que publicaron sobre la morfología, cariología y llamados de ecolocalización de *Rhogeessa aeneus* en la Península de Yucatán. Cinco años después se publicó un estudio sobre la biología de *Eumops bonariensis* (actualmente *Eumops nanus*), que incluyó la grabación de llamados de ecolocalización de la especie (Arita 1998). A partir de 2002, se han registrada publicaciones cada año hasta abril de 2017; durante el 2013 se registraron la mayor cantidad de trabajos con el 20% del total registrado (11), seguido del 2016 con el 14.54% (8) y 2008 con 10.90 % (6).

La distribución de los sitios estudiados no es homogénea y se concentran principalmente, en 1) Áreas Naturales Protegidas, como el Parque Nacional Huatulco en Oaxaca y Dzibilchaltún en Yucatán, las Reservas de la Biosfera del Triunfo en Chiapas, la Sierra de Huautla en Morelos, Ría Lagartos en Yucatán y la Michilía en Durango; en, 2) zonas urbanas como la Ciudad de México, San Francisco Campeche, Santa Cruz Xoxocotlán en Oaxaca, ciudad de Durango, Municipio centro de Tabasco, entre otras; y en 3) zonas con cuerpos de agua como lagunas, ríos y cenotes (Fig. 2).

El detector más empleado para la grabación de llamadas fue el Pettersson D980x, utilizado en el 30.90% de las publicaciones (17), seguido del Anabat con 20% (once) y

Pettersson 240X con el 12.72% (siete). Se utilizaron principalmente tres formas de grabación: a) pasiva, que consiste en grabar en un punto fijo con el dispositivo, la cual se realizó en 24 trabajos; b) activa, en la que a lo largo de transectos o un área determinada, se hacen periodos de grabación en diferentes puntos, usado en nueve publicaciones, y c) de referencia, cuando se capturaron individuos, para hacer la correspondencia entre el ejemplar y la llamada producida, este tipo de grabación se siguió en once estudios. Se identificó en cuatro trabajos una combinación de grabación activa/semiactiva/pasiva/ y en siete no se obtuvo información del método empleado.

Caracterización y clasificación de llamadas

Se han descrito las firmas vocales de 59 especies pertenecientes a siete familias, que representan el 42.45% de murciélagos en México (139 especies en total para el país, Ramírez-Pulido et al. 2014). Los sistemas de análisis de ultrasonidos con los que se grabaron a las especies y sonotipos (agrupación de especies con llamados similares o patrones de sonidos variables, Szewczak 2000, Walters et al. 2012) de murciélagos fueron: a) espectro completo, 56 especies, nueve sonotipos y b) división de frecuencia, 32 especies, 13 sonotipos. Las especies que han sido reportadas con mayor frecuencia en los trabajos fueron *Pteronotus davyi* en 15 trabajos (28.30%), *Mormoops megalophylla* en 13 (24.53%), seguidos de *Pteronotus parnellii* y *Tadarida brasiliensis* en 11 referencias respectivamente (20.75%, cada uno). En cuanto a familias, se registró que para la Mormoopidae se han descrito el 100% de las especies presentes en México; para los sonotipos, los molósidos y vespertiliónidos tienen el mayor número de estos con diez y seis, respectivamente (Cuadro 1).

En las publicaciones referidas en este trabajo, han participado 120 investigadores, de los cuales, tres son los más frecuentes como autor principal o coautor. M. B. Fenton del Departamento de Biología de Western University, Canadá, con seis referencias (Audet et al. 1993,

Ávila-Flores & Fenton 2005, Biscardi et al. 2004, Fenton et al. 1998, Ratcliffe et al. 2004, Zamora-Gutierrez et al. 2016), seguido de R. López-Wilchis del Departamento de Biología de la UAM-Iztapalapa (Ibáñez et al. 2000, 2002, 2008, López-González et al. 2015, López-González et al. 2016) y C. MacSwiney del Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana (CITRO –UV, MacSwiney et al. 2006, 2008, 2009, Pech-Canché et al. 2010, Zamora-Gutierrez et al. 2016) con cinco referencias cada uno.

Vacíos de información

El 96.36% de los trabajos se concentró en los temas de caracterización de llamadas, actividad, inventarios, comportamiento y generalidades, por lo que los temas restantes están poco representados (técnicas y biogeografía, 3.36% del total de trabajos analizados). Sin embargo, entre los temas poco estudiados o que no han sido abordados se encuentra: estrategias de captura de presas o localización de alimento, uso estratificado de recursos, efectos de variables ambientales en la efectividad de detección de llamados, identificación de llamados sociales, percepción del eco de estructuras florales.

A nivel nacional se han realizado trabajos de ecolocación en la mitad del territorio. El estado de Yucatán presentó el mayor número de publicaciones (diez registros), seguido de Oaxaca (ocho registros) y Veracruz (siete registros, Fig. 3). En contraposición, en los estados del norte sólo se han conducido investigaciones con detectores en Durango y Sonora (12.72% del total, cuatro y tres registros, respectivamente); en dos trabajos se abarca información de todo el país (Stathopoulos et al. 2017, Zamora-Gutierrez et al., 2016).

Se han descrito en una ocasión 17 especies (28.81%), y de estas, 11 pertenecen a la familia Vespertilionidae (64.70%), seguida de la familia Phyllostomidae, con cuatro especies y para la familia Molossidae y Emballonuridae, una especie respectivamente. De la familia

Thyropteridae, no se han descrito los parámetros de las llamadas de la especie que se agrupa en ella; para los filostómidos sólo se han descrito las llamadas del 9.09% de sus especies (5 especies de 55 registradas para México), seguidos de los noctiliónidos y natálidos con el 50% de sus especies descritas, cada uno (una especie de las dos registradas para México, respectivamente).

Discusión

En México, es evidente la escasez de información producida con el uso de detectores ultrasónicos a pesar de albergar ocho de las nueve familias de murciélagos que viven en América (Ramírez-Pulido et al., 2016). Lo anterior, si se considera la búsqueda de estudios generados para mamíferos en el país de Guevara-Chumacero et al. (2001), que registraron 2129 referencias durante 1890 a 1995; de las cuales, en el lustro 1990-1995 (n=187) se registró el primer estudio con detección ultrasónica (Audet et al. 1993), este trabajo representa sólo el 0.54% en ese periodo (n=1). Esto hace necesario ampliar el número de investigaciones y temas estudiados a través de la detección ultrasónica.

Aunque el número de trabajos con detectores ultrasónicos es escaso, se ha mantenido presente el uso de estos dispositivos en los estudios a partir de 1998. Lo anterior, muestra que existe interés de la comunidad de investigadores de la mastozoología en el uso potencial y aplicaciones de la detección acústica, para el estudio de los murciélagos. Lo anterior contribuyó a que el año 2013, se publicara un número especial sobre ecolocación en la revista *Therya*. Una práctica recurrente para la identificación de especies en el país, es la comparación con espectrogramas de especies de otros países o regiones cercanas; debido a la dificultad e inversión de tiempo para obtener grabaciones de calidad que puedan servir de referencia para listados

regionales. Es imprescindible contar con bibliotecas de referencia regionales, debido a que se considera que los llamados de las especies están sujetos a factores de variación (e. g. geográfica, ambiental, Barclay et al. 1999, Barclay & Brigham, 2004, Lin et al. 2015, Luo et al. 2014) que pueden complicar la identificación mediante comparación con otras regiones del país u otros países.

Cabe destacar el caso de la familia Mormoopidae, de la que existen grabaciones de referencia y de campo del total de especies de la familia presentes en el país. Esto, puede atribuirse a que en estas especies es posible obtener grabaciones de referencia útiles, incluso de individuos en mano y se refugian en cuevas, lo que representa una ventaja en la localización de sitios para realizar grabaciones. Caso contrario es el que se presenta para los molósidos y vespertiliónidos, en los cuales, su captura es complicada ya que vuelan a gran altura y algunos se refugian en árboles altos (e.g. *Lasiurus* sp.); lo que causa bajas tasas de captura y dificulta la obtención de grabaciones de referencia. A lo que se suma, que técnicas como liberación en mano y tirolesa (“zip line”) pueden resultar complicadas, dado que los individuos requieren alcanzar cierta altura para emitir sonidos de manera habitual (Guillén-Servent com. pers., Szewczak 2000, Walters et al. 2012). Una vez obtenidas las grabaciones de especies de la Familia Molossidae y Vespertilionidae es también probable que se presenten dificultades para separar especies, debido a que poseen patrones de sonido variables o pulsos similares, que ocasionan un bajo porcentaje correcto de identificación. Por lo que se presume, estas sean algunas de las razones por las que en muchas de las investigaciones no pudieron ser identificados a nivel específico.

Debe considerarse también, que existen factores distintos a los de carácter técnico o académico que complican el desarrollo de estudios en el territorio mexicano, como las condiciones sociales que en muchos casos, impiden tener acceso a sitios de trabajo en todo el país, sobre todo en el norte (López-González com. pers.). A lo que se suma la variedad de climas,

rareza y abundancia de especies, la disponibilidad y diversidad de dispositivos ultrasónicos, métodos para la obtención de grabaciones y falta de personal capacitado, lo que dificultan tener una representación adecuada de cada una de las especies. Para lograrlo, se deberá incrementar el número de personas que trabajen con esta herramienta y sean capaces de generar preguntas de interés biológico, que contribuyan a la conservación y aprovechamiento de estos mamíferos.

Otro de los aspectos a considerar para obtener una adecuada representación de las llamadas de ecolocalización de las especies en México, debe ser la estandarización de métodos de muestreo y del registro de las características de las llamadas, para hacer comparaciones precisas. Debido a que aunque en este trabajo se pretendía realizar una comparación de la información generada al respecto de las llamadas, actividad y uso de hábitat de las especies de murciélagos insectívoros mexicanos; los trabajos revisados registran de diferentes formas estos parámetros, por mencionar algunas: 1) a través de la duración de archivos de grabación (3s, 15s, 5m; Ávila-Flores y Fenton 2005, Gómez 2006, MacSwiney et al. 2009) y secuencias de llamadas (Estrada et al. 2004, Rodríguez-Aguilar et al. 2016), 3) índice de actividad por bloques de un minuto (Kraker 2013, García 2013), lo que impidió realizar una comparación entre estudios. A esto se suman los diferentes métodos de obtención de grabaciones (pasivo, activo), tipo de detector, sistema de análisis de llamadas, parámetros medidos en las llamadas, entre otros, que complican realizar análisis de las llamadas de las especies que reportan.

El uso de detección ultrasónica para el estudio de murciélagos en México, ofrece un campo amplio de investigación; el cual puede aportar herramientas para el estudio y conservación de especies que han sido subestimadas mediante métodos de muestreo convencionales. Además, es importante realizar trabajos de una misma especie en diferentes regiones, para determinar la posible variación geográfica de sus llamados a lo largo de su distribución en el país. Esta información podría ofrecer la posibilidad de realizar estudios comparativos a diferentes escalas

en México, y a futuro establecer programas de monitoreo nacional, que incrementen el interés de la sociedad (como en el caso de algunos países europeos) para dar seguimiento a las poblaciones de murciélagos y conocer el estado de conservación que guardan.

En algunos países como Reino Unido, Bulgaria y Rusia, la estrategia para alcanzar una mejor representación y seguimiento de las poblaciones de murciélagos mediante este método ha sido la ciencia ciudadana, donde entrenan a público en general con interés o afición a la conservación a la naturaleza para que apoyen cada año en el registro de información sobre murciélagos con detectores proporcionados por instituciones de investigación (www.ibats.org.uk). Aunque también es necesario considerar que algunos de esos países no poseen un número de especies, climas y en algunos casos la diversidad fisiográfica que posee México; lo que complica el establecimiento de estrategias similares.

Agradecimientos

M. García-Luis agradece a CONACyT por el apoyo para realizar sus estudios de doctorado (becario número 351731) y a BEIFI del IPN. M. Briones-Salas agradece al SNI, a la COFAA y a la beca EDI del IPN. A todos los estudiantes y directores de tesis que compartieron sus trabajos para la realización de esta investigación. A M. Cortes y dos revisores anónimos que hicieron comentarios que sin duda mejoraron este manuscrito.

Literatura Citada

Arita, H. T. 1998. *Biología del murciélago mastín enano (Eumops bonarensis nanus) en Yucatán*.

Informe final del Proyecto H180. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 33 p.

Audet, D., Engstrom, M. D. & Fenton, M. B. 1993. Morphology, karyology and echolocation

calls of *Rhogeessa* (Chiroptera: Vespertilionidae) from the Yucatan Peninsula. *Journal of Mammalogy*, 74: 498-502.

Ávila-Flores, R. 2003. *Habitat use by foraging insectivorous bats in a large urban mosaic*. Tesis de maestría. York University, Toronto, Ontario, 104 p.

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

Barclay, R. M. R. & Brigham, M. 2004. Geographic variation in echolocation calls of bats: A complication for identifying species by their calls. Pp. 144-149. In: R. M. Brigham, E. K. W. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. J. G. A. Limpens (Eds.). *Bat echolocation research: tools techniques and analysis*. Bat Conservation International, Austin, Texas, EE UU.

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

Barnett, A., Sampaio, E., Kalko, E. K. V., Shapley, R. L., Fischer, E., Camargo, G., & Rodríguez-Herrera, B. 2006. Bats of Jaú National Park, central Amazônia, Brazil. *Acta Chiropterologica*, 8: 103-128.

BCT, Bat Conservation Trust. 2015. iBats, Inglaterra. Disponible en: http://www.bats.org.uk/pages/ibats_program.html (acceso en agosto 2015).

Behr, O. & Von Helversen, O. 2004. Bat serenades-complex courtship songs of the sac-winged bat (*Saccopteryx bilineata*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 56: 106-115.

Biscardi, S., Orprecio, J., Fenton, M. B., Tsoar, A. & Ratcliffe, J. M. 2004. Data, sample sizes and statistics affect the recognition of species of bats by their echolocation calls. *Acta Chiropterologica*, 6: 347-363.

Briones-Salas, M., Peralta-Pérez, M. & García-Luis, M. 2013. Acoustic characterization of new

- species of bats for the State of Oaxaca, Mexico. *Therya*, 4:15-32.
- Calva Z., E. V. 2015. *Riqueza de murciélagos insectívoros en la zona arqueológica de Uxmal, Yucatán*. Tesis de licenciatura. Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, 47 p.
- Ciechanowski, M., Zając, T., Biłas, A. & Dunajski, R. 2008. Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics: effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Canadian Journal of Zoology*, 86: 1249-1263.
- Collen, A. 2012. *The evolution of echolocation in bats: a comparative approach*. Tesis doctoral. Department of Genetics, Evolution and Environment, University College London, Londres, Inglaterra, 432 p.
- Corado N., N. A. 2003. *Caracterización de los grupos funcionales de la comunidad de murciélagos insectívoros de Mérida, Yucatán*. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 74 p.
- Cú, V., J. D. 2009. *Efectos de la luz en la actividad de los murciélagos insectívoros en la ciudad de San Francisco de Campeche, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche, San Francisco, Campeche, 77 p.
- Estrada, A., Jiménez, C., Rivera, A., & Fuentes, E. 2004. General bat activity measured with an ultrasound detector in a fragmented tropical landscape in Los Tuxtlas, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation*, 2: 5-13.
- Fenton, M. B. 2004. Bat Natural History and Echolocation. Pp. 2-6. In: R. M. Brigham, E. K. W. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. J. G. A. Limpens (Eds.). *Bat echolocation research: tools techniques and analysis*. Bat Conservation International, Austin, Texas, EE UU.
- Fenton, M. B., Rautenbach, I. L., Rydell, J., Arita, H. W., Ortega, J., Bouchard, S., Hovorka, M. D., Lim, B. K., Odgren, E., Portfors-Yeomans, C.V., Scully, W., Syme, D. M. & Vonhof,

- M. J. 1998. Emergence, echolocation, diet and foraging of *Molossus ater*. *Biotropica*, 30: 314-320.
- Flores-Martínez, J. J. 2009. *Aspectos ecológicos y filogeografía de Myotis vivesi una especie de murciélago endémico del Golfo de California, México*. Tesis doctoral. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, 93 p.
- Frick, W. F., Stepanian, P. M., Kelly, J. F., Howard, K. W., Kuster, C. M., Kunz, T. H. & Chilson, P. B. 2012. Climate and weather impact timing of emergence of bats. *PLoS ONE*, 7: 1-8. doi:10.1371/journal.pone.0042737.
- Fuentes-Moreno, H. 2010. *Estructura del ensamble de murciélagos de La Venta, Oaxaca, México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, Oaxaca, 77 p.
- García L., M. 2013. *Monitoreo acústico de murciélagos insectívoros en los Valles Centrales de Oaxaca*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, Oaxaca, 67 p.
- Geberl, C., Brinkløv, S., Wiegrebe, L. & Surlykke, A. 2015. Fast sensory–motor reactions in echolocating bats to sudden changes during the final buzz and prey intercept. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112: 4122-4127.
- Gillam, E. H., Hristov, N. I., Kunz, T. H. & McCracken, G. F. 2010. Echolocation behavior of Brazilian free-tailed bats during dense emergence flights. *Journal of Mammalogy*, 91: 967-975.
- Gómez R., E. P. 2006. *Actividad de murciélagos (Chiroptera) en cuerpos de agua y su relación con variables ambientales en la reserva de la biosfera La Michilía, Durango*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Durango, Durango, 84 p.

- González-Terrazas, T. P., Viquez, L. R., Ibarra-Macías, A., Ruíz, A. T., Torres-Knoop, L., Jung, K., Tschapka, M. & Medellín, R. A. 2016b. New records and range extension of *Promops centralis* (Chiroptera: Molossidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 1407-1411.
- Gonzalez-Terrazas, T. P., Koblitz, J. C., Fleming, T. H., Medellín, R. A., Kalko, E. K. V., Schnitzler, H. U. & Tschapka, M. 2016a. How Nectar-Feeding Bats Localize their Food: Echolocation Behavior of *Leptonycteris yerbabuena* Approaching Cactus Flowers. *Plos One* 11:1-18.
- Granados H., J. 2001. *Caracterización de los llamados de ecolocalización de los murciélagos insectívoros del estado de Yucatán, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 93 p.
- Grafe, T. U., Schöner, C. R., Kerth, G., Junaidi, A. y Schöner, M. G. 2011. A novel resource – service mutualism between bats and pitcher plants. *Biology letters*, 7: 436-439.
- Guevara-Carrizales, A., Zamora-Gutiérrez, V., Gonzáles-Gómez, R. & Martínez-Gallardo, R. 2013. Catálogo de los murciélagos de la región del delta del Río Colorado, México. *Therya*, 4: 47-60.
- Guevara-Chumacero, L. M., López-Wilchis, R. & Sánchez-Cordero, V. 2001. 105 años de investigación mastozoológica en México (1890-1995): una revisión de sus enfoques y tendencias. *Acta Zoológica Mexicana*, 83: 35-72.
- Hein, C. D., Gruver, J. C. & Arnett, E. B. 2013. *Relating Pre-Construction Bat Activity and Post-Construction Bat Fatality To Predict Risk At Wind Energy Facilities: a Synthesis*. Reporte. National Renewable Energy Laboratory, 22 p.
- Ibáñez, C., Juste, J., López-Wilchis, R. & Núñez-Garduño, A. 2004. Habitat variation and jamming avoidance in echolocation calls of the sac-winged bat (*Balantiopteryx plicata*). *Journal of Mammalogy*, 85: 38-42.

- Ibáñez, C., Juste, J., López-Wilchis, R., Albuja V., L. & Núñez-Garduño, A. 2002. Echolocation of three species of sac-winged bats (*Balantiopteryx*). *Journal of Mammalogy*, 83: 1049-1057.
- Ibáñez, C., López-Wilchis, R., Juste, J. & León-Galván, M. A. 2000. Echolocation Calls and a Noteworthy Record of *Pteronotus gymnonotus* (Chiroptera, Mormoopidae) from Tabasco, México. *Southwestern Association of Naturalist*, 45: 345-347.
- Ibarra-Alvarado, C. 2006. *La conducta de ecolocación del murciélago Pteronotus davyi (Chiroptera: Mormoopidae)*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 72 p.
- Jiang, T., You, Y., Liu, S., Lu, G., Wang, L., Wu, H., Berquist, S., Ho, J., Puechmaille, S. J. & Feng, S. J. 2013. Factors affecting geographic variation in echolocation calls of the endemic *Myotis davidii* in China. *Ethology*, 119: 881-890.
- Kalko, E. K. V., Estrada-Villegas, S., Schmidt, M., Wegmann, M. & Meyer, C. F. J. 2008. Flying high-assessing the use of the aerosphere by bats. *Integrative and Comparative Biology*, 48: 60-73.
- Kraker-Castañeda, C. 2013. *Uso de hábitat por murciélagos insectívoros en Santa María Chimalapa, Oaxaca*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, Oaxaca, 56 p.
- Kraker-Castañeda, C., Santos-Moreno, A. & García-García, J. L. 2013. Riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros aéreos en una selva tropical y pastizales en Oaxaca, México. *Mastozoología Neotropical*, 20: 255-267.
- Kuenzi, A. J. & Morrison, M. L. 1998. Detection of bats by mist-nets and ultrasonic sensors. *Wildlife Society Bulletin*, 26: 307-311.
- Lawrence, B. D. & Simmons, J. A. 1982. Measurements of atmospheric attenuation at ultrasonic

- frequencies and the significance for echolocation by bats. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 71: 585-590.
- Lin, A., Jiang, T., Kanwal, J. S., Lu, G., Luo, J., Wei, X., Luo, B. & Feng, J. 2015. Geographical variation in echolocation vocalizations of the Himalayan leaf-nosed bat: contribution of morphological variation and cultural drift. *Oikos*, 124: 364-371.
- López-González, C., Gómez-Ruiz, E. P., Lozano, A. & López-Wilchis, R. 2015. Activity of Insectivorous Bats Associated with Cattle Ponds at La Michilía Biosphere Reserve, Durango, Mexico: Implications for Conservation. *Acta Chiropterologica*, 17: 117-129.
- López-González, C., Lozano, A., Gómez-Ruiz, E. P. & López-Wilchis, R. 2016. Activity of insectivorous bats is related to water availability in a highly modified Mexican temperate forest. *Acta Chiropterologica*, 18: 409-421.
- Luo, J., Koselj, K., Zsebok, S., Siemers, B. M. & Goerlitz, H. R. 2014. Global warming alters sound transmission: differential impact on the prey detection ability of echolocating bats. *Journal of the Royal Society, Interface*, 11: 20130961.
- León-Tapia, M. Á. & Hortelano-Moncada, Y. 2016. Richness of insectivorous bats in a chaparral area in the municipality of Tecate, Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 1055-1061.
- MacSwiney G., M. C. 2007. *Ecology and conservation of bat assemblages associated with water-filled sinkholes (cenotes) in the Yucatan Peninsula, Mexico*. Tesis doctoral. University of Aberdeen, Aberdeen, Escocia, 161 p.
- MacSwiney G., M. C., Bolívar C., B., Clarke, F. M. & Racey, P. A. 2006. Nuevos registros de *Pteronotus personatus* y *Cynomops mexicanus* (Chiroptera) en el estado de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 10: 80-87.
- MacSwiney G., M. C., Bolívar C., B., Clarke, F. M. & Racey, P. A. 2009. Insectivorous bat

- activity at cenotes in the Yucatan peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica*, 11: 139-147.
- MacSwiney G., M. C., Clarke, F. M. & Racey, P. A. 2008. What you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors at maximizing inventory completeness in neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology*, 45: 1364-1371.
- McCracken, G. F., Gillam, E. H., Westbrook, J. K., Lee, Y., Jensen, M. L. & Balsley, B. B. 2008. Brazilian free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*: Molossidae, Chiroptera) at high altitude: links to migratory insect populations. *Integrative and Comparative Biology*, 48: 107-118.
- Mendeley Desktop. 2008-2015. Versión 1.15.2. Disponible en: <http://www.mendeley.com/?desktop=1.15.2-Windows-x86-HelpMenuAction> (acceso en septiembre 2013)
- Murray, K. L., Britzke, E. R. & Robbins, L. W. 2001. Variation in search-phase calls of bats. *Journal of Mammalogy*, 82: 728-737.
- O'Farrell, M. J. & Miller, B. W. 1999. Use of vocal signatures for the inventory of free-flying Neotropical bats. *Biotropica*, 31: 507-516.
- O'Farrell, M. J., Corben, C. & Gannon, W. L. 2000. Geographic variation in the echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*). *Acta Chiropterologica*, 2: 185-196.
- Orozco-Lugo, L. 2007. *Efecto de la perturbación del hábitat en la comunidad de murciélagos insectívoros de selva baja caducifolia*. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 118 p.
- Orozco-Lugo, L., Guillén-Servent, A., Valenzuela-Galván, D. & Arita, H. T. 2013. Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya*, 4: 33-46.
- Osorio-Chablé, N. del R. 2014. *Inventario acústico de murciélagos insectívoros en un paisaje urbanizado del municipio de Centro, Tabasco*. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, Tabasco, 43 p.

- Parsons, S. & Jones, G. 2000. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *The Journal of Experimental Biology*, 20: 2641-2656.
- Pech-Canché, J. M., MacSwiney G., M. C. & Estrella, E. 2010. Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya*, 1: 221-228.
- Pettersson, L. 2004. The properties of sound and bat detectors. Pp. 9-12. In: R. M. Brigham, E. K. W. Kalko, G. Jones, S. Parsons & H. J. G. A. Limpens (Eds.). *Bat echolocation research: tools techniques and analysis*. Bat Conservation International, Austin, Texas, EE UU.
- Ramírez-Pulido, J., González-Ruiz, N., Gardner, A. L. & Arroyo-Cabrales, J. 2014. *List of recent land mammals of México*. Special Publications of the Museum of Texas Tech University. Texas, EE UU, 76 p.
- Rascón, J. A. 2010. *Uso del hábitat por los murciélagos (Chiroptera) en la cuenca baja del río Nazas, Durango*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Durango, Durango, 82 p.
- Ratcliffe, J. M., Hofstede, H. M., Ávila-Flores, R., Fenton, M. B., McCracken, G. F., Biscardi, S., Blasko, J., Gillam, E., Orprecio, J. & Spanjer, G. 2004. Conspecifics influence call design in the Brazilian free-tailed bat, *Tadarida brasiliensis*. *Canadian Journal of Zoology*, 971: 966-971.
- Rizo A., A. 2008. *Descripción y análisis de los pulsos de ecolocación de 14 especies de murciélagos insectívoros aéreos del estado de Morelos*. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz, 102 p.
- Rodríguez-Aguilar, G., Orozco-Lugo, C. L., Vleut, I. & Vazquez, L. B. 2016. Influence of urbanization on the occurrence and activity of aerial insectivorous bats. *Urban Ecosystems*,

10.1007/s11252-016-0608-3.

- Russo, D. & Jones, G. 2003. Use of foraging habitats by bats in a Mediterranean area determined by acoustic surveys: conservation implications. *Ecography*, 2: 197-209.
- Russo, D., Jones, G. & Mucedda, M. 2001. Influence of age, sex and body size on echolocation calls of Mediterranean and Mehely's horseshoe bats, *Rhinolophus euryale* and *R. mehelyi* (Chiroptera: Rhinolophidae). *Mammalia*, 65: 429-436.
- Rydell, J., Arita, H. T., Santos, M. & Granados H., J. 2002. Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico. *Journal of Zoology*, 257: 27-36.
- Schnitzler, H. U. & Kalko, E. K. V. 2001. Echolocation by insect-eating bats. *BioScience*, 51: 557-569.
- Smotherman, M. & Guillén-Servent, A. 2008. Doppler-shift compensation behavior by Wagner's mustached bat, *Pteronotus personatus*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123: 4331-4339.
- Szewczak, J. M. 2000. A tethered zip-line arrangement for reliably collecting bat echolocation reference calls. *Bat Research News*, 41: 142.
- Stathopoulos, V., Zamora-Gutierrez, V., Jones, K. E. & Girolami, M. 2017. Bat echolocation call identification for biodiversity monitoring: a probabilistic approach. *Applied Statistics*, 1-19.
- Tapia A., B. D. 2013. *Identificación acústica de los murciélagos insectívoros de la reserva de la Biosfera Ria Lagartos, Yucatán, México*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, 51 p.
- Trejo O., A. 2011. *Caracterización acústica de los murciélagos insectívoros del Parque Nacional Huatulco, Oaxaca*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, Oaxaca, 84 p.

- Walters, C. L., Freeman, R., Collen, A., Dietz, C., Fenton, M. B., Jones, G., Obrist, M. K., Puechmaille, S., Sattler, T., Siemers, B. M., Parsons, S. & Jones, K. E. 2012. A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology*, 49: 1064-1074.
- Washington, S. D. & Tillinghast, J. S. 2015. Conjugating time and frequency: hemispheric specialization, acoustic uncertainty, and the mustached bat. *Frontiers in Neuroscience*, 9, 1-14.
- Zamora-Gutierrez, V., López-Gonzalez, C., Macswiney G., M. C., Fenton, B., Jones, G., Kalko, E. K. V., Puechmaille, S. J., Stathopoulos, V. & Jones, K. E. 2016. Acoustic identification of Mexican bats based on taxonomic and ecological constraints on call design. *Methods in Ecology and Evolution*, doi: 10.1111/2041-210X.12556.

Cuadro 1. Especies de murciélagos en las que se han medido llamados en México. ET: Expansión de tiempo, DF: División de frecuencia. Los números corresponden al número de publicación en que se describe la especie (véase final de la tabla).

Especie	ET	DF
Familia Emballonuridae		
<i>Balantiopteryx io</i>	4, 26, 30	24
<i>Balantiopteryx plicata</i>	8, 12	19, 24, 21
<i>Centronycteris centralis</i>		19
<i>Peropteryx macrotis</i>	3, 5, 14, 27	19
<i>Saccopteryx bilineata</i>	14, 25, 27	21, 24
Familia Molossidae		
<i>Cynomops mexicanus</i>	11, 26	19, 21
<i>Eumops glaucinus</i>	17, 27	
<i>Eumops perotis</i>	6, 30	29
<i>Eumops underwoodi</i>	12, 15, 17, 25, 26, 27, 30	
<i>Molossus molossus</i>	26	19
<i>Molossus rufus</i>	2, 3, 14, 17, 25, 26, 27	19, 21
<i>Molossus sinaloe</i>	3, 12, 14, 15, 17, 30	19
<i>Nyctinomops femorosaccus</i>		29
<i>Nyctinomops laticaudatus</i>	3, 14, 25, 27, 30	19
<i>Nyctinomops macrotis</i>	6, 7, 15, 20, 30	
<i>Promops centralis</i>	25, 27, 30, 31	22
<i>Tadarida brasiliensis</i>	6, 7, 9, 12, 15, 20	19, 21, 22, 23, 29
Familia Natalidae		
<i>Natalus stramineus</i>	3, 5	
Familia Mormoopidae		
<i>Mormoops megalophylla</i>	3, 5, 12, 14, 16, 17, 20, 26, 27, 30	19, 21, 22,
<i>Pteronotus davyi</i>	3, 5, 7, 10, 12, 14, 16, 17, 25, 26, 27	19, 21, 22, 24
<i>Pteronotus gymnonotus</i>	13, 30	
<i>Pteronotus parnellii</i>	3, 5, 12, 14, 16, 17, 25	19, 21, 22, 24
<i>Pteronotus personatus</i>	11, 12, 14, 16, 30	19
Familia Noctilionidae		
<i>Noctilio leporinus</i>		19, 21
Familia Phyllostomidae		
<i>Carollia sowelli</i>	30	
<i>Hylonycteris underwoodi</i>	30	
<i>Leptonycteris curasoae</i>	28	
<i>Macrotus californicus</i>		23, 29
<i>Mimon cozumelae</i>	30	

Especie	ET	DF
Familia Vespertilionidae		
<i>Antrozous pallidus</i>	20	23, 29
<i>Bauerus dubiaquercus</i>	30	
<i>Myotis auriculus</i>	20	
<i>Myotis californicus</i>	20, 15	22, 23, 29
<i>Myotis ciliolabrum</i>	20	
<i>Myotis keaysi</i>	3, 5, 14	
<i>Myotis melanorhinus</i>	30	29
<i>Myotis occultus</i>	20	
<i>Myotis planiceps</i>	30	
<i>Myotis thysanodes</i>	20	
<i>Myotis velifer</i>	12, 15, 20	
<i>Myotis vivesi</i>	18	
<i>Myotis volans</i>	20	
<i>Myotis yumanensis</i>	12, 15, 20, 30	23
<i>Nycticeius humeralis</i>	30	
<i>Parastrellus hesperus</i>	15	23, 29
<i>Eptesicus furinalis</i>	3, 5, 14, 17, 25, 26, 27	24
<i>Eptesicus fuscus</i>	6, 20, 26	19, 22, 23, 29
<i>Lasiurus blossevillii</i>	15, 26, 30	19, 21, 29
<i>Lasiurus cinereus</i>	15, 20	
<i>Lasiurus ega</i>	3, 5, 14, 17, 25, 26, 27, 30	24
<i>Lasiurus intermedius</i>	3, 5, 14, 15, 25, 26, 27, 30	19, 21
<i>Lasiurus xanthinus</i>	30	19, 21, 29
<i>Rhogeessa aeneus</i>	1, 3, 5, 14, 25, 27, 30	
<i>Rhogeessa gracilis</i>	15	
<i>Rhogeessa parvula</i>	12, 15, 30	
<i>Rhogeessa tumida</i>	30	
<i>Corynorhinus mexicanus</i>	20, 30	
<i>Corynorhinus townsendii</i>	15, 20	29
<i>Idionycteris phyllotis</i>	20	
Sonotipos		
Molósido 1	17	
Molósido 2	17	
Molossid 1	14	
Molossid 2	14	
Molossid 3	14	
Molossid 4	14	
Molossid 5	14	
<i>Eumops</i> sp	3, 25	
<i>Eumops</i> 12kHz		19, 22

Especie	ET	DF
Sonotipos		
<i>Eumops</i> 16kHz		19, 22
<i>Myotis</i> 40kHz		19, 22
<i>Myotis</i> 50kHz		22
<i>Myotis</i> 60kHz		19
<i>Myotis</i> species	6	
Vespertiliónido 45kHz		19
Vespertiliónido desconocido	6	
Sonotipo 1		22
Sonotipo 2		22
Sonotipo 3		22
Sonotipo 4		22
Sonotipo 5		22
Sonotipo 6		22
Sonotipo 7		22

1. Audet et al. 1993; 2. Fenton et al. 1998; 3*. Granados 2001/Arita 1998/Corado 2003; 4. Ibáñez et al. 2002; 5. Rydell et al. 2002; 6*. Ávila-Flores 2003/Ávila-Flores et al. 2005; 7. Biscardi et al. 2004; 8. Ibáñez et al. 2004; 9. Ratcliffe et al. 2004; 10. Ibarra-Alvarado 2006; 11. MacSwiney et al. 2006; 12*. Orozco 2007/Orozco-Lugo et al. 2013; 13. Ibáñez et al. 2000; 14. Macswiney et al. 2008/Macswiney 2007; 15. Rizo 2008; 16. Smotherman et al. 2008; 17. Cú V. 2009; 18. Flores-Martínez 2009; 19. Fuentes-Moreno 2010/Briones-Salas et al. 2013; 20. Rascón 2010; 21. Trejo 2011; 22. García 2013; 23. Guevara-Carrizalez et al. 2013; 24. Kraker 2013/Kraker-Castañeda et al. 2013; 25. Tapia A. 2013; 26. Osorio-Chablé 2014; 27. Calva 2015; 28. Gonzalez-Terrazas et al. 2016a; 29. León-Tapia et al. 2016; 30. Zamora-Gutierrez et al., 2016; 31. Gonzalez-Terrazas et al. 2016b.

Figura 1. Temas abordados a través de detección ultrasónica en México.

Figura 2. Distribución de las localidades de grabación en trabajos relacionados con detección ultrasónica en México.

Figura 3. Número de estudios realizados con detectores ultrasónicos por estado en México.

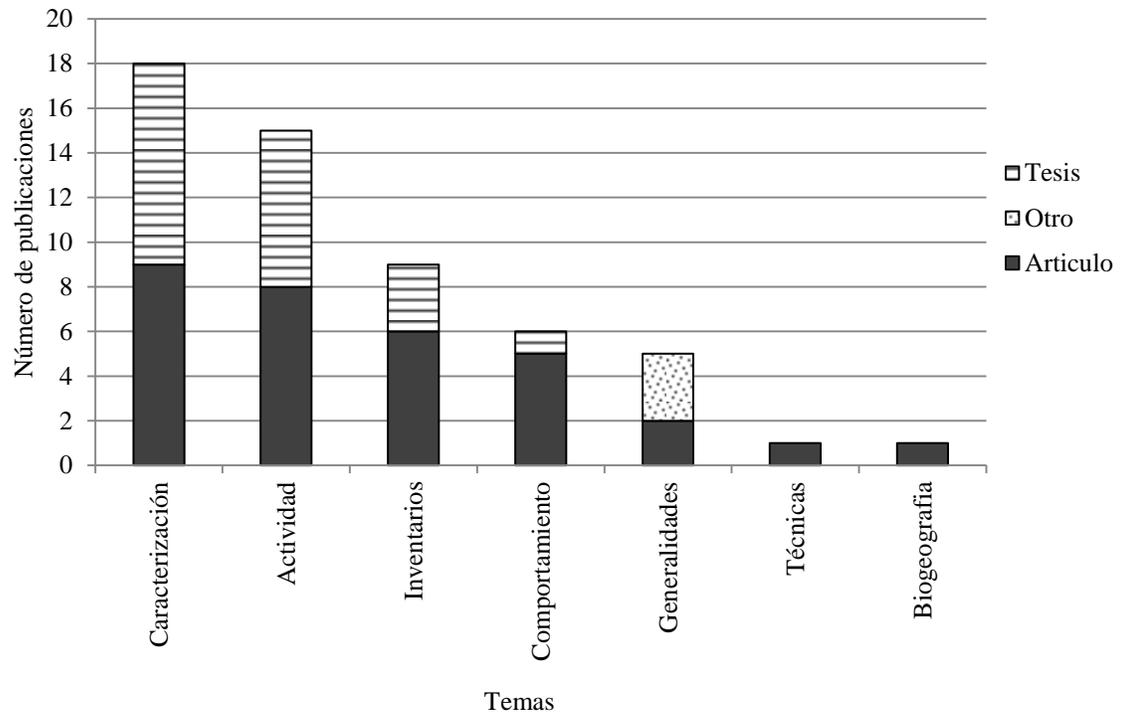


Figura 1.

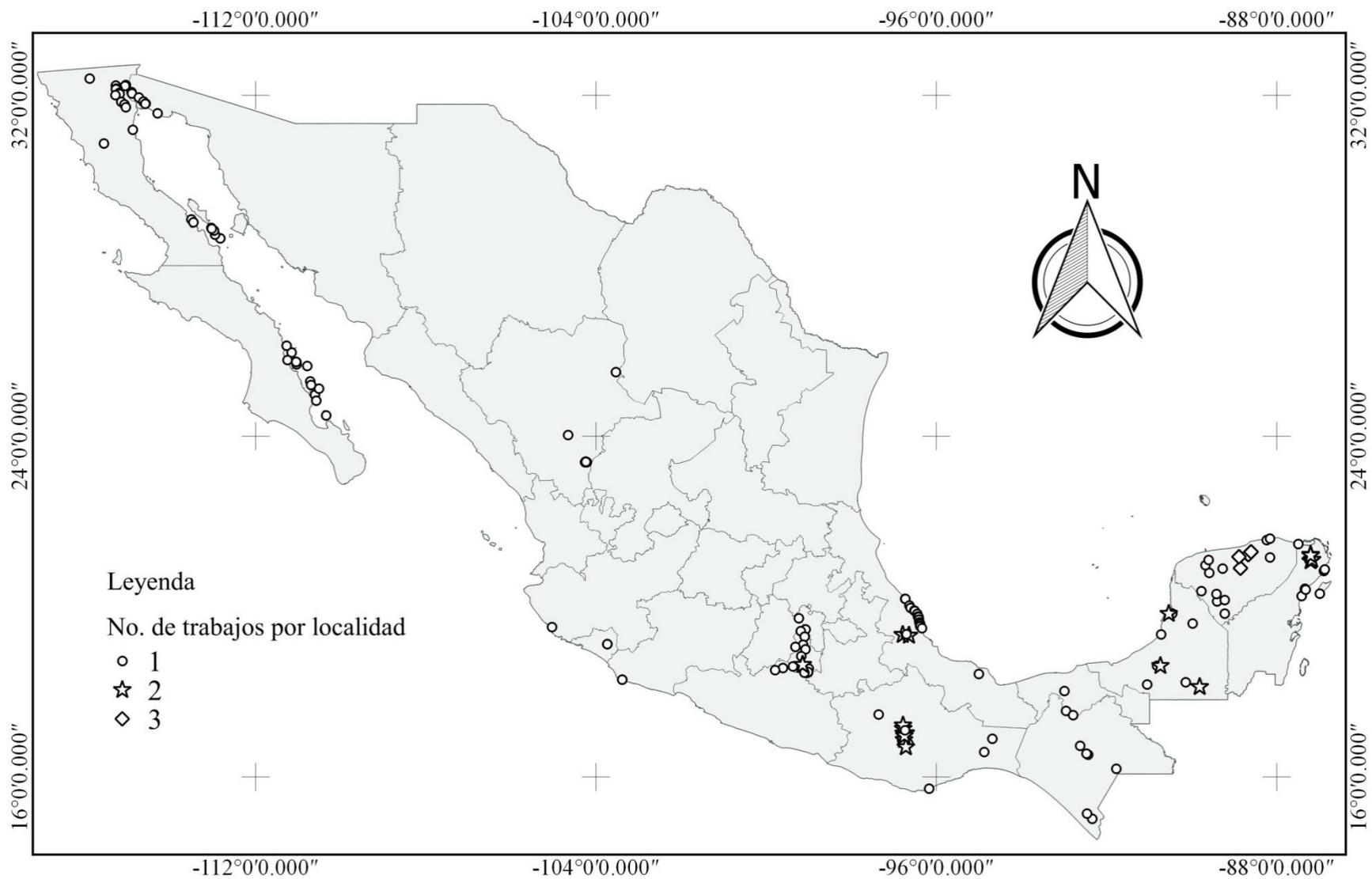


Figura 2.

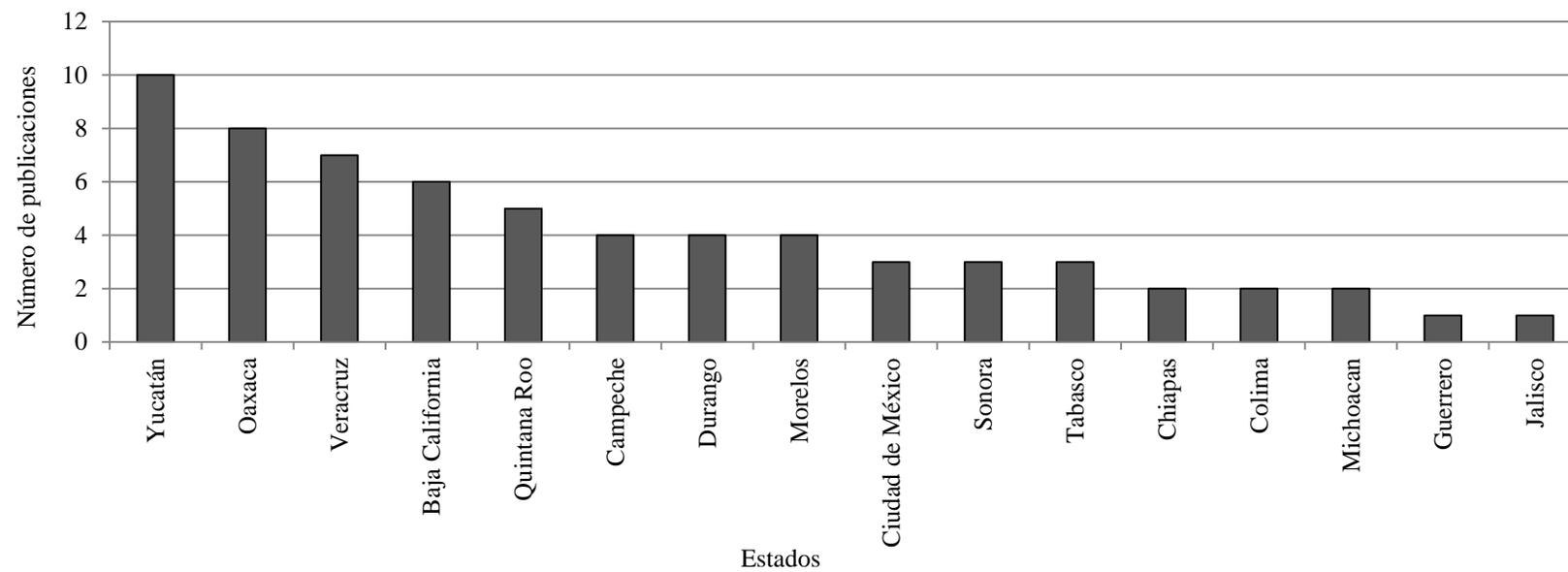


Figura 3.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE FIRMAS VOCALES DE MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS DE OAXACA

Manuscrito por enviar a la revista Acta Chiropterologica

País: Polonia

Factor de impacto: 1.53

ISI: Si, 73/160

Caracterización de firmas vocales de murciélagos insectívoros de Oaxaca

García-Luis Margarita¹, Miguel Ángel Briones-Salas¹, Cristina MacSwiney^{2*} y Jorge Albino
Vargas Contreras³

¹Laboratorio de Vertebrados Terrestres (Mastozoología), Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-Oaxaca), Instituto Politécnico Nacional. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C. P. 71230.

margarita@garcialuis.net, mbriones@ipn.mx*.

² Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO), Universidad Veracruzana. Calle José María Morelos y Pavón No. 44 y 46. Colonia Centro. C.P. 91000. Xalapa, Veracruz.

³ Laboratorio de investigación y Colecciones Biológicas, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n. Colonia Buena Vista, C. P. 24039. San Francisco de Campeche, Campeche.

Correos electrónicos: margarita@garcialuis.net, mbriones@ipn.mx, cmacswiney@uv.mx, javargas@uacam.mx

Resumen

Las grabaciones de los ultrasonidos emitidos por murciélagos, son útiles para registrar la presencia de estos en el ambiente y puedan contribuir a que sean consideradas adecuadamente en las estrategias de conservación. En este trabajo se midieron parámetros de las llamadas de

ecolocalización de especies de murciélagos, se realizó un análisis de componentes principales para determinar los parámetros que explican mejor la variación de estos y se analizó el porcentaje de clasificación correcta de especies. Se realizaron grabaciones en 22 sitios del estado de Oaxaca, con el detector ultrasónico Anabat SD2. Se midieron parámetros en 9913 pulsos de 23 especies insectívoras; la especie con mayor número de pulsos registrados fue *Balantiopteryx plicata* (20.35%). Para las especies en general, la duración de la llamada fue el parámetro con mayor desviación y error estándar; la frecuencia máxima lo fue para las especies de la familia Vespertilionidae. El primer componente del análisis de componentes principales explico el 68.20% de la variación, y está relacionado con variables de frecuencia. El segundo componente explico el 27.00% de la variación y se relacionó con variables de tiempo. En el análisis de función discriminante, las especies mejor clasificadas fueron los molósidos *Eumops underwodi*, *Nyctinomops laticaudatus* con el 100%, seguidos de *Pteronotus davyi* y *Pteronotus parnellii* con 99.43% y 99.03% respectivamente. En contraposición, los molósidos *Molossus rufus*, *Promops centralis* y el vespertiliónido *Eptesicus fuscus* tuvieron el menor porcentaje de clasificación. Los resultados de esta investigación, son una aportación importante para apoyar la identificación de especies a través de detección ultrasónica en el estado. Lo anterior, permitirá en primera instancia incrementar la completitud de los inventarios; los cuales son uno de los primeros pasos para generar estrategias de conservación de biodiversidad, que son urgentes debido a la actual y vertiginosa pérdida de biodiversidad.

Palabra clave: Anabat, caracterización, ecolocalización, grabación pasiva, llamadas

Abstract

Recordings of ultrasounds emitted by bats are useful to record the presence of these in the environment and may contribute to their adequacy consideration in conservation strategies. Therefore, a Principal Components Analysis (PCA) was carried out to determine the parameters that better explain the variation of parameters and analyzed the percentage of correct classification of species withna Discriminant Function Analysis (DFA). Recordings were made in 21 sites of the state of Oaxaca, with the Anabat SD2 ultrasonic detector. Parameters were measured in 9913 pulses of 23 insectivorous species; the species with the highest number of recorded pulses was *Balantiopteryx plicata* (20.35%). For species in general, the duration of the

call was the parameter with the greatest deviation and standard error; the maximum frequency was for the species of the Vespertilionidae family. The first component of the principal component analysis explained 68.20% of the variation, and is related to frequency variables. The second component explained 27.00% of the variation and was related to time variables. In the analysis of discriminant function, the best classified species were the molosids *Eumops underwodi*, *Nyctinomops laticaudatus* with 100%, followed by *Pteronotus davyi* and *Pteronotus parnellii* with 99.43% and 99.03% respectively. In contrast, the molosid *Molossus rufus*, *Promops centralis* and the Vespertilionid *Eptesicus fuscus* had the lowest classification percentage. The results of this research are an important contribution to support the identification of species through ultrasonic detection in the state. The above will allow, in the first instance, to increase the completeness of inventories; which are one of the first steps to generate biodiversity conservation strategies, which are urgent due to the current and loss of biodiversity.

Key words: anabat, calls, characterization, echolocation, passive recording

Introducción

Las grabaciones de los ultrasonidos emitidos por murciélagos insectívoros, son especialmente útiles para registrar la presencia de estos en el ambiente, sin tener que realizar captura y manipulación de individuos (O'Farrell *et al.* 1999b). Lo anterior, representa un importante apoyo en el trabajo de campo, debido a que el uso de redes de niebla subestima a los individuos de este gremio; lo que provoca que estas especies no sean consideradas de manera adecuada en las estrategias de conservación (Barclay and Brigham 2004, MacSwiney *et al.* 2009).

En México, la detección acústica se ha utilizado para complementar los listados de especies, caracterizar ultrasonidos, observar la composición de los ensambles y los patrones de actividad temporal y espacial, entre otros (Rydell *et al.* 2002, Estrada *et al.* 2004, Ibañez *et al.* 2004, Ávila-Flores and Fenton 2005, MacSwiney *et al.* 2006, Williams and Perfecto 2011, Kraker *et al.* 2013, Briones-Salas *et al.* 2013). Y, aunque en algunos casos se han utilizado análisis de función discriminante y algoritmos como random forest (MacSwiney *et al.*, 2008; Zamora *et al.*, 2016), para evaluar la clasificación correcta de las especies en la que se describen los llamados de ecolocalización; en 29 especies de insectívoros del país no se han descrito sus

llamadas y en un número mayor de estas, aún se conoce poco del repertorio vocal que pueden exhibir, sobre todo en miembros de la familia Vespertilionidae y Molossidae (García-Luis et al., capítulo 1). Las especies de estas familias, poseen patrones de sonido similares y en muchos casos se traslapan las medidas de sus características. En contraposición, en los mormópidos y embalonúridos, la asignación de especie a través de sus patrones de ecolocalización es “sencilla”, debido a que las características de sus llamadas son fácilmente reconocibles (Szewczak 2000; Walters *et al.* 2012).

Debe considerarse también, que las llamadas de una especie pueden presentar variación intraespecífica (individuos de la misma especie) e interespecífica (entre especies). La variación intraespecífica incluye aspectos como, cambios de los llamados en las hembras al acercarse a sus crías, para identificar individuos (Betts 1998, Collins et al. 2005) o para distinguir si los individuos que se encuentran en el mismo espacio pertenecen a la colonia (Fallow *et al.* 2011, Kastein *et al.* 2013). De igual forma, la variación geográfica refiere a cambios en las llamadas a nivel de especie, en diferentes sitios de su distribución; y aunque este tipo de variación ha sido abordada por algunas investigaciones los resultados obtenidos no han sido consistentes (Barclay *et al.* 1999, O'Farrell *et al.* 2000, Gillam and McCracken 2007).

En Oaxaca, a pesar de ser uno de los estados con mayor diversidad de murciélagos insectívoros de México (Briones-Salas et al., 2015), se han realizado escasos estudios utilizando los detectores ultrasónicos (García-Luis, datos no publicados, Capítulo I). En estos trabajos se ha realizado la caracterización de llamados (Briones Salas et al., 2013), para identificar las especies de murciélagos y su actividad en la selva tropical de los Chimalapas (Kraker-Castañeda *et al.*, 2013) y en parques eólicos en el Istmo de Tehuantepec (Bolívar-Cimé et al., 2016). En estos trabajos, se han descrito al menos 15 especies y varios sonotipos (Briones-Salas et al., 2013, Kraker-Castañeda et al., 2013), así mismo, Briones et al. (2013) a través de la detección ultrasónica han contribuido al listado de especies insectívoras del estado con el reporte de *Molossus sinaloae*. Por lo anterior, se hace necesario estimar los valores de los parámetros de las firmas vocales de murciélagos insectívoros de Oaxaca, determinar los parámetros más importantes en la identificación de especies y cuantificar el porcentaje correcto de clasificación de estas. Prevemos que se encontrarán diferencias significativas en los parámetros medidos entre especies, lo que permitirá la discriminación entre ellas; y donde las especies de vespertiliónidos y molósidos obtendrán los porcentajes más bajos de clasificación correcta.

Materiales y método

Área de estudio

El limita al norte con los estados de Veracruz y Puebla, al sur con el océano Pacífico, al este con el estado de Chiapas y al oeste con Guerrero. Por su extensión, es el quinto estado más grande del país y ocupa el 4,8% de su superficie total. Es uno de los estados más montañosos del país, pues en la región se cruzan la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y la Sierra atravesada. El clima es variado en sus diferentes regiones, las regiones montañosas se caracterizan por sus bajas temperaturas, la región del istmo, la cañada y la costa poseen un clima cálido. El río más importante del estado es el Papaloapan (Álvarez, 1997).

Se realizaron grabaciones en 21 sitios del estado (Fig. 1), 1) Nueve sitios se ubican en el centro del estado; donde cerca del 60% de la superficie del área está por debajo de los 1600 msnm. Su suelo está muy desgastado por el continuo uso agrícola a que ha sido sometido, aún quedan pequeños remanentes de vegetación original como selva baja caducifolia y bosque de pino encino. En esta región se encuentran la capital del estado, Oaxaca de Juárez y el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, que se encuentra entre los municipios más densamente poblados del estado (Álvarez, 1997, INEGI, 2013). 2) Seis sitios se ubican en la región conocida como Istmo de Tehuantepec. El clima es cálido subhúmedo (22-26 °C, Trejo, 2004), la elevación del terreno va de los 20 hasta 100 msnm, el terreno tiene alto grado de fragmentación y es utilizado para agricultura de riego, de temporal y cría de ganado bovino. Posee escasos corredores de vegetación arbórea con huizaches (*Acacia* sp.), huamúchiles (*Phithecellobium dulce*), con pequeños remanentes de bosque tropical caducifolio y vegetación de galería (INEGI, 2013). 3) Siete sitios forman parte de la región conocida como Costa. El clima es cálido subhúmedo (>28°, Trejo, 2004), con elevaciones desde 0 hasta 200 msnm. El tipo de vegetación predominante en el área es la selva baja caducifolia que se caracteriza por tener especies arborescentes de entre 5 y 15 metros; en este lugar se ubica el Parque Nacional Huatulco, que es un área natural protegida que también posee ecosistemas marinos en su área de influencia (CONANP, 2003).

Grabaciones. Se realizaron grabaciones de campo de marzo de 2013 a agosto de 2016, con un detector Anabat SD2 (4kHz-200kHz, Tittley electronics, Australia) por el método de grabación pasivo, modificado del propuesto por O Farrell *et al.* (1999b) y Weller y Zabel (2002). El detector estuvo activo entre 5 y 10 horas cada noche a partir del crepúsculo vespertino, se

posicionó con una inclinación de 45° a una altura de 1.4 m del suelo, con la sensibilidad ajustada a un nivel intermedio (cinco) y una división de frecuencia de 16. Las grabaciones se realizaron en fechas con condiciones ambientales favorables, principalmente noches sin o con poca luz de luna y sin lluvia (Estrada *et al.* 2004). Para los sitios ubicados en el área central del estado se obtuvieron 226 horas de grabación (52 noches), en los del Istmo de Tehuantepec 345 horas (62 noches) y en los de la costa se grabó durante 216 horas (27 noches); lo que resultó en un esfuerzo de muestreo general de 141 noches o 787 horas de grabación.

Depuración y medición de llamados. Las grabaciones obtenidas, se extrajeron de una memoria CF (card flash, 2 Gb) de almacenamiento masivo con el programa CFCread Storage a una computadora. Se utilizó el programa AnalookW versión 3.8s para el análisis de las secuencias y llamadas. La visualización de llamadas se realizó con el eje x dividido cada 10 milisegundos.

Se separaron los archivos útiles, se consideró un archivo útil a un archivo grabado de Anabat de hasta 15 s que contuviera llamados. Se eliminaron los que tuvieran secuencias fragmentadas, estática o menos de dos llamadas por archivo y ruido ambiental (Thomas 1988, Gannon *et al.* 2004). Posteriormente, se extrajeron los parámetros duración (dur), frecuencia máxima (Fmax), frecuencia mínima (Fmin), frecuencia media (Fmean), frecuencia de la inflexión (Fk), y tiempo del inicio del llamado a la inflexión (Tk, O'Farrell and Corben 2003), mediante la opción medidas del menú vista del programa. Este procedimiento se realizó para cada secuencia de llamadas y los datos fueron guardados en un archivo *.txt. Una vez obtenidos todos los datos se transfirieron a una tabla en el programa Infostat (Di Rienzo *et al.* 2016), para obtener los valores máximos y mínimos, media, mediana, desviación estándar y error estándar.

Análisis estadístico. Para encontrar los parámetros de mayor importancia en la identificación de las especies se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Para obtener el porcentaje correcto de clasificación de las mismas, se llevó a cabo un análisis discriminante (AFC, e. g. MacSwiney *et al.*, 2008). Todas las pruebas se realizaron en el programa Infostat (Di Rienzo *et al.* 2016).

Resultados

Se midieron parámetros en 9913 pulsos, en los que se identificaron 23 especies insectívoras de 5 familias (42.59% del total para Oaxaca de insectívoros no filostómidos, n=54,

Fig. 1a, b, c y d); se contabilizó un esfuerzo de muestreo total de 787 horas de grabación (Istmo de Tehuantepec=345 horas, área centro del estado=226 horas, costa=216 horas). Los sitios de grabación de la costa, fueron los que mayor número de llamadas aportaron para la descripción de parámetros con el 58.39%, seguido de los sitios de los del área centro de Oaxaca con el 30.80% y finalmente los sitios del Istmo de Tehuantepec con el 10.81%.

La especie con mayor número de pulsos registrados fue *Balantiopteryx plicata* con 2017 (20.35%), seguida de *Tadarida brasiliensis* con 1523 (15.36%). La familia con el mayor número de especies registradas fue la Molossidae, con ocho especies y la de menor número de registros fue la familia Noctilionidae, con una especie (Cuadro 1).

En general, la duración y Tk (Tiempo de inicio del llamado a la inflexión o rodilla) de la llamada fueron los parámetros con mayor desviación (D.E.) y coeficiente de variación (CV), a excepción de la frecuencia máxima (Fmax) de las especies de la familia Vespertilionidae que también registraron altos valores de D.E. y C.V. (5.03-10.04 de D.E. y 10.30 -16.43 de CV). Para *Centronycteris centralis* las llamadas tuvieron los parámetros con menor D. E y C.V (Cuadro 1). A continuación se describen los pulsos de las especies registradas en los sitios de estudio:

Familia Emballonuridae

Balantiopteryx plicata. Se midieron los parámetros de esta especie en 2017 pulsos, los cuales se componen principalmente por una frecuencia constante (FC) ubicada en una frecuencia máxima promedio (Fmax) de 44.66 kHz. La parte final del pulso es un segmento de frecuencia modulada (FM) descendente, ubicado en una frecuencia mínima (Fmin) de 40.75 kHz. Es posible encontrar pulsos con un pequeño segmento de frecuencia modulada ascendente (de hasta 0.50 ms) al inicio del pulso. La duración de los pulsos se encuentra en promedio en 7.52 ms (Tabla 1, Fig. 2a. Bpli).

Centronycteris centralis. Se describen las medidas en 39 pulsos, que se componen por una FC que inicia en una Fmax promedio de 41.69 kHz. La parte final del pulso, es un segmento de frecuencia modulada (FM) descendente, con una Fmin promedio de 39.15 kHz. Es posible encontrar algunos pulsos que inician con un pequeño segmento de frecuencia modulada descendente (de hasta 0.40 ms). La duración promedio se encuentra en 7.09 ms (Tabla 1, Fig. 2a. Ccen).

Peropteryx macrotis. Se midieron los parámetros de este emballonúrido en 80 pulsos, los cuales inician con un fragmento de FC con Fmax promedio de 38.72 kHz. La parte final del pulso

es un segmento de FM descendente, con una Fmin de 36.50 kHz. Es posible encontrar pulsos con un pequeño segmento de frecuencia modulada ascendente (de hasta 0.50 ms) al inicio del pulso. La duración de los pulsos se encuentra en 6.26 ms en promedio (Tabla 1, Fig. 2a. Pmac).

Saccopteryx bilineata. Los pulsos de esta especie están alternados, es decir, tiene un pulso alto y otro bajo (ambos en forma de grapa ligeramente inclinada) por lo que se describen las características de ambos. Se midieron parámetros en 1292 pulsos altos y 711 pulsos bajos. Ambos pulsos inician con un pequeño fragmento de FM ascendente, seguido de un fragmento de frecuencia cuasiconstante (FQC) y finalizan con un pequeño fragmento de FM descendente. El pulso alto tiene en una Fmax promedio, Fmin promedio y duración de 49.97 kHz, 46.88 kHz y 7.62 ms, respectivamente. El pulso bajo tiene en una Fmax promedio, Fmin promedio y duración de 47.98 kHz, 44.62 kHz y 7.90 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 2a. Sbil).

Familia Molossidae

Eumops underwoodi. Se describen las medidas en 33 pulsos; se componen por una FC con valores promedio de Fmax de 14.59 kHz, Fmin de 11.81 kHz, la duración se encuentra en 9.82 ms (Tabla 1, Fig. 2a. Eund).

Eumops16kHz. Se midieron los parámetros de este molósido en 42 pulsos; los cuales inician con un fragmento de FC con las siguientes medidas promedio, Fmax de 19.30 kHz, Fmin de 16.11 kHz y duración 15.46 ms (Tabla 1, Fig. 2a. E16k).

Molossus molossus. Los pulsos de esta especie están alternados, es decir, tiene un pulso alto y otro bajo (ambos en forma de grapa inclinada; e.g. MacSwiney et al., 2009; Williams-Guillén y Perfecto, 2011), es posible que después de esta alternancia de pulsos se encuentren pulsos de FM. Se midieron parámetros en 66 pulsos bajos, los cuales inician con un pequeño fragmento de FM ascendente, seguido de un fragmento de frecuencia cuasiconstante (FQC) descendente y finalizan con un pequeño fragmento de FM descendente. Tiene valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 38.27 kHz, 33.50 kHz y 9.15 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 2b. Mmol).

Molossus rufus. Se describen las medidas en 37 pulsos; se componen por un fragmento de FQC con valores promedio que inician en una Fmax de 27.49 kHz, Fmin de 22.27 kHz, la duración se encuentra en 13.11 ms (Tabla 1, Fig. 2a. Mruf).

Molossus sinaloae. Los pulsos de esta especie están alternados, es decir, tiene un pulso alto y otro bajo (ambos en forma de grapa inclinada). Se midieron parámetros en 106 pulsos altos, los cuales inician con un pequeño fragmento de FM ascendente, seguido de un fragmento de frecuencia cuasiconstante (FQC) descendente y finalizan con un pequeño fragmento de FM descendente. Tiene valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 40.76 kHz, 37.30 kHz y 6.57 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 2b. Msin).

Nyctinomops laticaudatus. Se midieron los parámetros de este molósido en 21 pulsos; los cuales inician con un fragmento de FC con las siguientes medidas promedio, Fmax de 19.86 kHz, Fmin de 17.71 kHz y duración 14.44 ms (Tabla 1, Fig. 2b. Nlat).

Promops centralis. Los pulsos de esta especie pueden presentar alternancia, es decir, tiene un pulso alto (de FQC) y otro bajo (en forma de S alargada). Se describen las características de ambos, se midieron parámetros en 21 pulsos altos y 98 pulsos bajos. El pulso alto es de FQC y tiene valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 34.84 kHz, 27.78.80 kHz y 14.29 ms, respectivamente. El pulso bajo inicia con un fragmento de FM, seguido de un pequeño fragmento de frecuencia cuasiconstante (FQC) ascendente, finaliza con un fragmento de FM. Tiene valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 25.85 kHz, 19.80 kHz y 57.67 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 2b. Pcen).

Tadarida brasiliensis. Se midieron los parámetros de este molósido en 21 pulsos; los cuales inician con un fragmento de FC con las siguientes medidas promedio, Fmax de 27.71 kHz, Fmin de 24.37 kHz y duración 11.33 ms (Tabla 1, Fig. 3a. Tbra).

Familia Mormoopidae

Mormoops megalophylla. Se describen las medidas en 408 pulsos. El pulso inicia con un segmento de FQC, le sigue una inflexión que da paso a un fragmento de FM. Al principio de los pulsos, en algunas ocasiones es posible encontrar un pequeño segmento de FQC de corta duración (0.38 ms). Posee valores promedio de Fmax de 52.79, Fmin de 45.33 y duración de 3.57 (Tabla 1, Fig. 2b. Mmeg).

Pteronotus davyi. Se midieron parámetros de esta especie en 1027 pulsos que tienen forma de S inversa. El pulso inicia con un fragmento de FC, seguido de un fragmento de FQC descendente y finaliza con un fragmento de FC. En algunos casos, es posible que el primer segmento del pulso esté ausente, aunque esto es más común en los llamados de *Pteronotus*

personatus. Tiene valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 72.00 kHz, 59.31 kHz y 5.51 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 2b. Pdav).

Pteronotus parnellii. Se midieron parámetros de esta especie en 706 pulsos. El pulso inicia con un fragmento de FC y finaliza con un fragmento de FQC. Tiene valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 64.87 kHz, 55.36 kHz y 22.69 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 3a. Ppar).

Pteronotus personatus. Se midieron parámetros de esta especie en 12 pulsos que tienen forma de S inversa, tiene forma similar a la *Pteronotus davyi* pero se encuentra regularmente 10 kHz más arriba en los espectrogramas. El pulso inicia con un fragmento de FC, seguido de un fragmento de FQC descendente y finaliza con un fragmento de FC. En algunos casos, es posible que el primer segmento del pulso esté ausente. Tiene valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 84.20 kHz, 67.11 kHz y 4.39 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 3a. Pper).

Familia Noctilionidae

Noctilio leporinus. Se midieron parámetros de esta especie en 650 pulsos. El pulso inicia con un fragmento corto (0.64 ms) de FC, seguido de un fragmento de FM descendente. Tiene valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 56.55 kHz, 34.94 kHz y 7.70 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 3a. Nlep).

Familia Vespertilionidae

Eptesicus fuscus. Se midieron parámetros de esta especie en 26 pulsos. El pulso se caracteriza por tener FQC con valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 48.48 kHz, 29.13 kHz y 5.51 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 3a. Efus).

Lasiurus blossevillii. Se midieron parámetros de esta especie en 194 pulsos. El pulso se caracteriza por tener FQC con valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 62.51 kHz, 45.45 kHz y 5.25 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 3a. Lblo)

Lasiurus intermedius. Se midieron parámetros de esta especie en 24 pulsos. El pulso se caracteriza por tener FQC con valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 53.58 kHz, 31.73 kHz y 8.24 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 3b. Lint)

Lasiurus xanthinus. Se midieron parámetros de esta especie en 26 pulsos. El pulso se caracteriza por tener FQC con valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 39.30 kHz, 29.97 kHz y 7.35 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 3b. Lxan).

Myotis californicus. Se midieron parámetros de esta especie en 557 pulsos. El pulso se caracteriza por tener FQC con valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 66.56 kHz, 51.51 kHz y 4.05 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 3b. Mcal).

Myotis velifer. Se midieron parámetros de esta especie en 30 pulsos. El pulso se caracteriza por tener FQC con valores promedio de Fmax, Fmin y duración de 71.99 kHz, 40.72 kHz y 3.87 ms, respectivamente (Tabla 1, Fig. 3b. Mvel).

Análisis estadísticos. El primer componente del ACP explicó el 68.20% de la variación de los pulsos, en este componente cuatro variables relacionadas con la frecuencia (Fmax, Fmin, Fmean, Fk) fueron las que estuvieron altamente correlacionadas de manera positiva con él. Mientras tanto, el segundo componente explicó el 27.00% de la variación, con las variables de tiempo (Dur y Tk) altamente correlacionadas de manera positiva. Ambos componentes en conjunto, explican el 95.20% de la variación de los pulsos medidos (Cuadro 2).

En el análisis de función discriminante (AFD), las especies mejor clasificadas fueron los molósidos *Eumops underwodi*, *Nyctinomops laticaudatus* y *Pteronotus personatus* con el 100%, seguidos de *Pteronotus davyi* y *Pteronotus parnellii* con 99.43% y 99.03% respectivamente. En contraposición, los molósidos *Molossus rufus*, *Promops centralis* y el vespertiliónido *Eptesicus fuscus* tuvieron el menor porcentaje de clasificación (51.35%, 57.69%, 57.69%, Cuadro 3).

Discusión

Las medidas de los parámetros de las 23 especies aquí reportadas, coinciden de manera general con lo que otros autores han descrito con Anabat en otras regiones del país y en el estado de Oaxaca (Briones-Salas *et al.* 2013, Guevara-Carrizales *et al.* 2013, Kraker-Castañeda *et al.*, 2013; León-Tapia y Hortelano 2016). Para la familia Emballonuridae, las medidas de *Balantiopteryx plicata* (si se consideran el mínimo y máximo de este trabajo), *Saccopteryx bilineata* (pulso bajo), *Centronycteris centralis* y *Peropteryx macrotis* concuerdan con lo reportado para estas especies en el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca (Briones-Salas *et al.*, 2013; Kraker *et al.*, 2013). Aunque, para el pulso alto de *Saccopteryx bilineata*, no se encontraron datos publicados al respecto en el país.

Del molósido *Tadarida brasiliensis*, las medidas de las llamadas están dentro de lo reportado para grabaciones realizadas en el delta del Río Colorado, en Tecate Baja California

(Guevara-Carrizales et al. 2013; León-Tapia y Hortelano-Moncada 2016) y en el Istmo de Tehuantepec (Briones-Salas et al., 2013). Para *Molossus molossus*, *M. rufus*, *M. sinaloe* y *Nyctinomops laticaudatus* sólo han sido reportadas medidas de la región del Istmo de Tehuantepec, las cuales están dentro de los intervalos de máximos y mínimos de reportados en este trabajo (Briones-Salas et al., 2013). De las especies restantes de molósidos (*Eumops underwoodi*, *Eumops 16kHz* y *Promops centralis*), no se han medido los parámetros de sus llamadas con el sistema de división de frecuencia. Cabe señalar que, para *Molossus molossus* y *Molossus sinaloe*. Sólo se presentaron datos de uno de los dos pulsos alternados de las especies, esto datos son el pulso bajo de *Molossus molossus* y el pulso alto de *M. sinaloe* en los que puede haber traslape entre las frecuencias en las que son emitidos. Por lo que nos interesó medir la clasificación correcta de estas especies, en caso de que sólo se tuvieran esos pulsos, los cuales están en un intervalo de frecuencias similar.

Las llamadas de los mormópidos *Pteronotus parnellii* y *P. davyi*, han sido descritas por Kraker-Castañeda et al. (2013) en los Chimalapas en Oaxaca, y están dentro del intervalo de valores reportado en este trabajo. Para *Pteronotus personatus* y *Mormoops megalophylla* los datos están dentro del intervalo de las medidas reportadas por Briones et al. (2013).

Para *Noctilio leporinus* (familia Noctilionidae), las medidas presentadas están dentro del intervalo de estimaciones realizado por Briones-Salas et al. (2013; Dur 13.95 ms, Fmax 57.14 kHz, Fmin 29.63). Por lo anterior, los datos registrados en este trabajo son el segundo reporte al respecto en el estado de Oaxaca y en el país, para esta especie con el sistema de división de frecuencia.

De las especies de la familia Vespertilionidae, *Lasiurus blossevillii* tiene medidas en este trabajo que están dentro de las estimaciones reportadas por Kraker-Castañeda et al. (2013) y Briones-Salas et al. (2013). *Eptesicus fuscus*, *L. xanthinus*, *L. intermedius* y *Myotis californicus* sólo han sido reportadas previamente por Briones-Salas et al. (2013) y sus mediciones son similares a las presentadas en esta investigación. Para *Myotis velifer*, no se han reportado las medidas de sus parámetros en el sistema de división de frecuencia.

Si se revisan las medidas de las especies reportadas en este estudio, con detectores que graban el espectro completo de las llamadas, no es posible comparar en cuanto a las medidas de frecuencia, dado que en este sistema de análisis se reporta habitualmente la frecuencia inicial y la

frecuencia final (e. g. Orozco et al., 2013; Zamora-Gutierrez et al., 2016). Estos parámetros, pueden ser diferentes de la frecuencia máxima y frecuencia mínima dependiendo del tipo de llamada, los cuales son parámetros reportados en los sistemas de división de frecuencia (e. g. Monadjem et al., 2017; Kraker-Castañeda et al., 2013). Por lo anterior, se considera que la comparación con trabajos que usen un detector con el mismo sistema de análisis de información es más válido, dado que se ha expuesto que existen diferencias importantes entre detectores con diferentes sistemas de análisis de información, lo que puede afectar la calidad y cantidad de grabaciones (O'Farrell et al. 1999a, Barclay 1999). Sin embargo, dada la escasez de información, se retoma principalmente la duración para comparación entre los dos sistemas.

Para *Balantiopteryx plicata*, se ha reportado una duración promedio de 12.8 ms y 14.9 ms (Ibañez et al., 2004; Orozco Lugo et al. 2013, respectivamente). Lo anterior, señala una diferencia importante en la duración (de 5 a 7 ms) con las medidas reportadas en este trabajo para la especie (Cuadro 1). Si se consideran los valores máximos de las llamadas medidas (12.66 ms), la diferencia disminuye hasta 2 ms con el valor máximo reportado. Para *Peropteryx macrotis* se ha reportado una duración promedio de 5.2-7.6 ms y 8.8 ms (Macswiney et al. 2008; Rydell et al., 2002; respectivamente), por lo que se considera dentro del intervalo de duración reportado por otros autores. Las medidas de duración registradas para *Saccopetyx bilineata* en su pulso alto son de 8.8 ms y 9.2 ms para el pulso bajo (Macswiney et al. 2008), en este trabajo la duración promedio del pulso alto y bajo son similares (7.62 y 7.9 respectivamente), lo que representa una diferencia de 1 a 2 ms con lo obtenido anteriormente. No se encontró información publicada en artículos con el sistema de expansión de tiempo para *Centronycteris centralis*.

En los molósidos, *Tadarida brasiliensis* tiene reportada una duración promedio de sus llamadas de entre 6 y 14 ms (Ávila-Flores et al. 2005; Biscardi et al. 2004, Ratcliffe et al. 2004, Orozco-Lugo et al. 2013). Para *Molossus rufus* se ha registrado una duración promedio de 13.22 ms para su llamada de frecuencia baja (Macswiney et al. 2008). Las medidas de duración promedio de ambas especies, se ubican dentro del intervalo reportado por otros autores. A *Molossus sinaloe* se le ha registrado con una duración promedio de 9.54 a 12 ms para su llamada de frecuencia alta (Orozco-Lugo et al. 2013, Macswiney et al. 2008, Zamora-Gutierrez 2016), este intervalo de medidas se encuentra 3 ms sobre del promedio obtenido en esta investigación. *Nyctinomops laticaudatus* posee reportes de duración de llamadas de 4.85 ms-12.5 ms (Macswiney et al. 2008, Zamora-Gutierrez 2016), este intervalo esta 2 ms por debajo de las

mediciones obtenidas. Para *Eumops underwoodi* se encontró reportada una duración de entre 19 y 20 ms (Orozco-Lugo et al. 2013, Zamora-Gutierrez 2016), estas estimaciones están 10 ms sobre el promedio de esta investigación. Para *Promops centralis*, se encontraron reportadas mediciones de duración del pulso de frecuencia baja en 24.7 ms y para el pulso de frecuencia alta de 38.3 ms (MacSwiney et al., 2006); adicionalmente, para esta especie se reporta un tercer tipo de pulso. Este pulso, es similar a los de otros molósididos (forma de grapa ligeramente inclinada), el cual no fue registrado durante las grabaciones de este trabajo (Gonzalez-Terrazas et al., 2016, MacSwiney et al., 2006). Para *Molossus molossus*, no se encontraron estimaciones de sus parámetros con el sistema de expansión de tiempo.

En la familia Mormoopidae, *Mormoops megalophylla* ha registrado una duración promedio de 3.70 ms a 6.90 ms (Rydell et al., 2002, Orozco-Lugo et al., 2013; MacSwiney et al., 2008; Smotherman and Guillén-Servent, 2008; Zamora-Gutierrez et al., 2016), los datos presentados en este trabajo, son cercanos a las medidas más bajas registradas (3.57 ms) por otros autores, las diferencias van desde 0.13 ms hasta 2.3 ms. En el caso de *Pteronotus davyi* (4.9 ms a 8.3 ms: Rydell et al., 2002; Biscardi et al. 2004; Macswiney et al. 2008, Smotherman and Guillén-Servent, 2008) y *Pteronotus parnellii* (19.7-27.1 ms: Rydell et al., 2002; Orozco-Lugo et al., 2013; Macswiney et al. 2008; Smotherman and Guillén-Servent, 2008) las medidas reportadas en este trabajo están dentro de los intervalos reportados por otros autores. Con *Pteronotus personatus*, se han obtenido medidas de duración desde 4.8 ms-7.1 ms (MacSwiney et al. 2006, Orozco-Lugo et al. 2013, Macswiney et al. 2008; Smotherman and Guillén-Servent, 2008; Zamora-Gutierrez et al., 2016), con una diferencia de algunos milisegundos menos con lo reportado en este trabajo (4.39 ms).

Para *Noctilio leporinus* (familia Noctilionidae), la duración promedio registrada es de 8.41 ms. Sin embargo, las medidas no son sólo para secuencias de México y exhiben una diferencia de al menos 1 ms con las reportadas en esta investigación (7.70 ms: Zamora-Gutierrez et al., 2016).

En la familia Vespertilionidae, se han obtenido registros de duración promedio para *Lasiurus intermedius* (6.3-9.8 ms: Rydell et al. 2002; Macswiney et al. 2008) y *Myotis velifer* (4 ms: Orozco-Lugo et al. 2013); los cuales son similares a los que se obtuvieron de las mediciones realizadas en este trabajo (8.4 ms y 3.87 ms, respectivamente). Para *Eptesicus fuscus* (6.1 ms: Ávila-Flores et al. 2005); *Lasiurus blossevillii* (3.29 ms: Zamora-Gutierrez et al., 2016)

y *Lasiurus xanthinus* (5.52 ms: Zamora-Gutierrez et al., 2016), las medidas difieren de 1 o 2 ms con lo que se presentó (5.51 ms, 5.25 ms y 7.36 ms). En el caso de *Myotis californicus*, no se han publicado información al respecto.

Las diferencias en duración para las especies que no se encontraron dentro de los intervalos reportados por otros autores, pueden atribuirse al menos a dos factores. Es posible que las estimaciones en este trabajo se realizaran sobre secuencias que contuvieran algunas llamadas en fase de aproximación. Esta fase, se caracteriza por la disminución de la duración de las llamadas (e.g. Smotherman y Guillén-Servent, 2008; Schnitzler y Kalko 2001), sobre todo para el caso de *Balantiopteryx plicata* y *Eumops underwoodi* que tiene la mayor diferencia con lo reportado anteriormente. Asimismo, la grabación de sonidos ultrasónicos en distintos sistemas de análisis, puede generar diferencias importantes entre los parámetros medidos.

En la mayoría de las especies reportadas previamente por otros autores con detectores de división de frecuencia, regularmente sólo se reportan medidas de duración, frecuencia máxima, frecuencia mínima y frecuencia característica. En este trabajo se reportan seis parámetros para las llamadas de ecolocalización descritas, de los cuales el ACP (análisis de componentes principales) sugiere que son al menos necesarias cuatro medidas para explicar el 68.20% de la variación de las llamadas (Fmax, Fmin, Fmean, Fk). Lo que indica, que medir tres parámetros no es suficiente para caracterizar las llamadas de las especies de murciélagos insectívoros, sobre todo en el caso de los vespertiliónidos y molósidos con patrones de sonido variables o similares entre géneros (Szewczak 2000, Walters et al. 2012).

En México, no se han realizado análisis de los porcentajes de clasificación correcta de especies con detectores que usan el sistema de división de frecuencia. Con detectores del sistema de espectro completo (full spectrum), se encontró que coinciden parcialmente con lo obtenido en este trabajo; en un análisis de escala nacional Zamora-Gutierrez *et al.* 2016, señalan que los mormópidos y emballonúridos obtienen porcentajes de clasificación correcta >90% a diferencia de los molósidos y vespertiliónidos con 30-70%. En contraste, con un análisis de escala regional MacSwiney *et al.* (2008) obtuvieron altos porcentajes de clasificación correcta para algunos vespertilionidos (excepto *Lasiurus intermedius*) y bajo porcentaje correcto de clasificación para molósidos. Aunque ambos trabajos coinciden en la baja clasificación correcta de los molósidos, las diferencias entre la clasificación de vespertiliónidos, se atribuyen a la escala, es decir, mientras la descripción de medidas de las llamadas sean de un área o región cada vez más

pequeña, la variación intraespecífica es menor y disminuye de manera proporcional. Asimismo, también incide de manera importante el tamaño de la muestra, hipótesis que ha sido usada por otros autores para explicar la variación entre llamadas de la misma especie (Barclay et al., 1999, O'Farrell et al., 2000).

En el caso de esta investigación, fueron los molósid *Eumops underwodi*, *Nyctinomops laticaudatus*, y el mormópido *Pteronotus personatus* los mejor clasificados con el 100%, este resultado con los molósid se puede deberse al tamaño de la muestra analizada (n=33 llamadas, 21, 12, respectivamente; e. g. O'Farrell et al., 2000) y a que se trabajó con llamadas a escala regional, lo que hace que la variación intraespecífica sea menor y permite una mayor clasificación correcta. Para *Pteronotus personatus*, es un resultado consistente con lo que se ha obtenido para especies de la misma familia (Zamora-Gutierrez et al. 2016, MacSwiney et al. 2008), a lo que se suma el tamaño de muestra analizado (12 llamadas).

Los resultados de esta investigación, son una aportación importante para apoyar la identificación de especies a través de detección ultrasónica en el estado. Lo anterior, permitirá en primera instancia incrementar la completitud de los inventarios; los cuales son uno de los primeros pasos para generar estrategias de conservación de biodiversidad, que son urgentes debido a la actual y vertiginosa pérdida de biodiversidad.

Literatura citada

- ÁLVAREZ, L. R. 1997. Geografía General del Estado de Oaxaca. 3ra. Edición. Carteles Editores, Oaxaca, 456 pp.
- ÁVILA-FLORES, R. AND FENTON, M. B. 2005. Use of spatial feature by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of mammalogy*, 86:1193-1204.
- BARCLAY, R. M. R. AND BRIGHAM, R. M. 2004. Geographic variation in the echolocation calls of bats: A complication for identifying species by their calls. Pp.144 -149, *in* Bat echolocation research. Tools, techniques and analysis (R. M. R. Brigham, E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons and H. J. G. A. Limpens, eds.). Bat Conservation international, Austin, Texas, 167 pp.
- BARCLAY, R. M. R. 1999. Bats are no birds-a cautionary note on using echolocation calls to identify bats: a complement. *Journal of mammalogy*, 80: 290-296.
- BARCLAY, R. M. R., FULLARD, J. H. AND JACOBS, D. S. 1999. Variation in the echolocation calls

- of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*): influence of body size, habitat structure, and geographic location. *Canadian Journal of Zoology*, 77: 530-534.
- BETTS, B. J. 1998. Effects of interindividual variation in echolocation calls on identification of big brown and silver-haired bats. *Journal of Wildlife Management*, 62: 1003 – 1010.
- BRIONES-SALAS, M., CORTÉS-MARCIAL, M. AND LAVARIEGA, M. C. 2015. Diversidad y distribución geográfica de los mamíferos terrestres del estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86: 685-710.
- BRIONES-SALAS, M., PERALTA-PÉREZ, M. AND GARCÍA-LUIS, M. 2013. Acoustic characterization of new species of bats for the State of Oaxaca, Mexico. *Therya*, 4:15-32.
- BOLÍVAR-CIMÉ, B., BOLÍVAR-CIMÉ, A., CABRERA-CRUZ, S. A., MUÑOZ-JIMÉNEZ, Ó. AND VILLEGAS-PATRACA, R. 2016. Bats in a tropical wind farm: species composition and importance of the spatial attributes of vegetation cover on bat fatalities. *Journal of Mammalogy*, 97: 1197-1208.
- BISCARDI, S., ORPRECIO, J., FENTON, M. B., TSOAR, A. AND RATCLIFFE, J. M. 2004. Data, sample sizes and statistics affect the recognition of species of bats by their echolocation calls. *Acta Chiropterologica*, 6: 347-363.
- CLARE, E. L., ADAMS, A. M., MAYA-SIMÕES, A. Z., EGER, J. L., HEBERT, P. D. N. AND FENTON, M. B. 2013. Diversification and reproductive isolation: cryptic species in the only New World high-duty cycle bat, *Pteronotus parnellii*. *BMC evolutionary biology*, 13:1-18.
- COLLINS, K. T., ROGERS, T. L., TERHUNE, J. M., MCGREEVY, P. D., WHEATLEY, K. E. AND HARCOURT, R. G. 2005. Individual Variation of In-Air Female 'Pup Contact' Calls in Weddell Seals, *Leptonychotes weddellii*. *Behaviour*, 142: 167.
- CONANP. 2003. Programa de Manejo Parque Nacional Huatulco, México. Comisión de Áreas Naturales Protegidas. Oaxaca, México. 205 p.
- DI RIENZO, J.A., CASANOVES, F., BALZARINI, M. G., GONZALEZ, L., TABLADA, M. AND ROBLEDO, C. W. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- ESCALANTE, T., RODRÍGUEZ, G. AND MORRONE, J. J. 2005. Las provincias biogeográficas del Componente Mexicano de Montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 72:199-205.
- ESTRADA, A., JIMÉNEZ, C., RIVERA, A. AND FUENTES, E. 2004. General bat activity measured

- with an ultrasound detector in a fragmented tropical landscape in Los Tuxtlas, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation*, 2:5-13.
- FALLOW, P., GARDNER, J. L. AND MAGRATH, R. D. 2011. Sound familiar?: Acoustic similarity provokes responses to unfamiliar heterospecific alarm calls. *Behavioral Ecology*, 22: 401-410.
- FENTON, M. B., MERRIAM, H. G. AND HOLROYD, G. L. 1983. Bats of Kootenay, Glacier and Mount Revelstoke national parks in Canada identification by echolocation calls, distribution and biology. *Canadian Journal of Zoology*, 61:2503-2508.
- GANNON, W. L., O'FARRELL, M. J., CORBEN, C. AND BEDRICK, E. J. 2004. Call character lexicon and analysis of field recorded bat Echolocation calls. Pp: 478-484, *in* Echolocation in bats and dolphins (J. A. Thomas, C. F. Moss, and M. Vater, eds.). University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- GILLAM, E. H. AND MCCrackEN, G. F. 2007. Variability in the echolocation of *Tadarida brasiliensis*: effects of geography and local acoustic environment. *Animal Behaviour*, 74: 277–86.
- GONZÁLEZ-TERRAZAS, T. P., VÍQUEZ, L. R., IBARRA-MACÍAS, A., RUÍZ, A. T., TORRES-KNOOP, L., JUNG, K., TSCHAPKA, M. AND MEDELLÍN, R. A. 2016. New records and range extension of *Promops centralis* (Chiroptera: Molossidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 1407-1411.
- GUEVARA-CARRIZALES, A., ZAMORA-GUTIÉRREZ, V., GONZÁLES-GÓMEZ, R. AND MARTÍNEZ-GALLARDO, R. 2013. Catálogo de los murciélagos de la región del delta del Río Colorado, México. *Therya*, 4: 47-60.
- IBAÑEZ, C., JUSTE, J., LÓPEZ W., R. AND NUÑEZ G., A. 2004. Habitat variation and jamming avoidance in echolocation calls of the sac-winged bat (*Balantiopteryx plicata*). *Journal of Mammalogy*, 85(1): 38-42.
- INEGI, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. 2013. Mapas de Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie V. México. Recuperado el 20 de enero de 2017 de: <http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/mapas-de-uso-del-suelo-y-vegetacion-escala-1-250-000-serie-v-mexico>
- KASTEIN, H. B., WINTER, R., KUMAR, A. K. V., KANDULA, V. AND SCHMIDT, S. 2013. Perception of individuality in bat vocal communication: discrimination between, or recognition of, interaction partners? *Animal Cognition*, 16: 945-959.

- KRAKER-CASTAÑEDA, C., SANTOS-MORENO, A. AND GARCÍA-GARCÍA, J. L. 2013. Riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros aéreos en una selva tropical y pastizales en Oaxaca, México. *Mastozoología Neotropical*, 20:255-267.
- KUNZ, T. H. AND KURTA, A. 1988. Capture methods and holding devices. Pp. 3-20, *in*: Ecological and behavioral methods for the study of bats (T. H. Kunz, ed.). Smithsonian Institution Press. E. U. A.
- LAWRENCE, B. D. AND SIMMONS, J. A. 1982. Measurements of atmospheric attenuation at ultrasonic frequencies and the significance for echolocation by bats. *Journal of the Acoustical Society of America*, 71: 585 - 590.
- LEÓN-TAPIA, M. Á. AND HORTELANO-MONCADA, Y. 2016. Richness of insectivorous bats in a chaparral area in the municipality of Tecate, Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 1055-1061.
- MACSWINEY G., M. C., CLARKE, F. M. AND RACEY, P. A. 2009. 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 G., M. C., B. BOLÍVAR C., F. M. CLARKE AND P. RACEY. 2006. Nuevos registros de *Pteronotus personatus* y *Cynomops mexicanus* (Chiroptera) en el estado de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 10: 80-87.
- MACSWINEY G., M. C., BOLÍVAR C., B., CLARKE, F. M. Y RACEY, P. A. 2008. Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica* 11: 139-147.
- MORRONE, J. J. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomologia* , 48:149-162.
- MONADJEM, A., SHAPIRO, J. T., MTSETFWA, F., RESIDE, A. E., MCCLEERY, R. A. 2017. Acoustic Call Library and Detection Distances for Bats of Swaziland. *Acta Chiropterologica*, 19: 175-187.
- O'FARRELL, M. J., MILLER, B. W. AND GANNON, W. L. 1999b. Qualitative identification of free-flying bats using the anabat detector. *Journal of Mammalogy*, 80:11-23.
- O'FARRELL, M. J., CORBEN, C. AND GANNON, W. L. 2000. Geographic variation in the echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*). *Acta Chiropterologica*, 2: 185-196.
- O'FARRELL, M. J., GANNON, W. L. AND MILLER, B. W. 1999a. Confronting the dogma: a reply. *Journal of Mammalogy*, 80: 297–302.

- O'FARRELL, M. J. AND CORBEN, C. 2003. Combined Software Documentation. Anabat Software. 77 pp.
- OROZCO-LUGO, L., GUILLÉN-SERVENT, A., VALENZUELA-GALVÁN, D. AND ARITA, H. T. 2013. Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya*, 4: 33-46.
- RATCLIFFE, J. M., HOFSTEDE, H. M., ÁVILA-FLORES, R., FENTON, M. B., MCCRACKEN, G. F., BISCARDI, S., BLASKO, J., GILLAM, E., ORPRECIO, J. AND SPANJER, G. 2004. Conspecifics influence call design in the Brazilian free-tailed bat, *Tadarida brasiliensis*. *Canadian Journal of Zoology*, 971: 966-971.
- RUSSO, D., JONES, G. AND MUCEDDA, M. 2001. Influence of age, sex and body size on echolocation calls of Mediterranean and Mehely's horseshoe bats, *Rhinolophus euryale* and *R. mehelyi* (Chiroptera: Rhinolophidae). *Mammalia*, 64: 429-436.
- RYDELL, J., ARITA, H. T., SANTOS, M. AND GRANADOS, J. 2002. Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico. *Journal of Zoology*, 257:27-36.
- SMOTHERMAN, M. AND GUILLÉN-SERVENT, A. 2008. Doppler-shift compensation behavior by Wagner's mustached bat, *Pteronotus personatus*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123: 4331-9.
- SCHNITZLER, H. U. AND KALKO, E. K. V. 2001. Echolocation by insect-eating bats. *BioScience*, 51: 557-569.
- SZEWCZAK, J. M. 2000. A tethered zip-line arrangement for reliably collecting bat echolocation reference calls. *Bat Research News*, 41:142.
- THOMAS, D. W. 1988. The distribution of bats in different ages of Douglas-fir forest. *Journal of Wildlife Management*, 52:619-626.
- TREJO, I. 2004. Clima. Pp. 68-85, *in*: Biodiversidad de Oaxaca (A. J. GARCÍA M., M. J. ORDOÑEZ AND M. A. BRIONES S., eds.). Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, Oaxaca, México.
- WALTERS, C. L., R. FREEMAN, A. COLLEN, C. DIETZ, M. B. FENTON, G. JONES, M. K. OBRIST, S. PUECHMAILLE, T. SATTTLER, B. M. SIEMERS, S. PARSONS, AND K. E. JONES. 2012. A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology*, 49:1064-1074.

WELLER, T. J. AND ZABEL, C. J. 2002. Variation in Bat Detections due to Detector Orientation in a Forest. *Wildlife Society Bulletin*, 30:922-930.

WILLIAMS G., K. AND PERFECTO, I. 2011. Ensemble Composition and Activity Levels of Insectivorous Bats in Response to Management Intensification in Coffee Agroforestry Systems. *PLoS ONE*, 6:e16502.

ZAMORA-GUTIERREZ, V., LÓPEZ-GONZALEZ, C., MACSWINEY G., M. C., FENTON, B., JONES, G., KALKO, E. K. V., PUECHMAILLE, S. J., STATHOPOULOS, V. AND JONES, K. E. 2016. Acoustic identification of Mexican bats based on taxonomic and ecological constraints on call design. *Methods in Ecology and Evolution*, doi: 10.1111/2041-210X.12556.

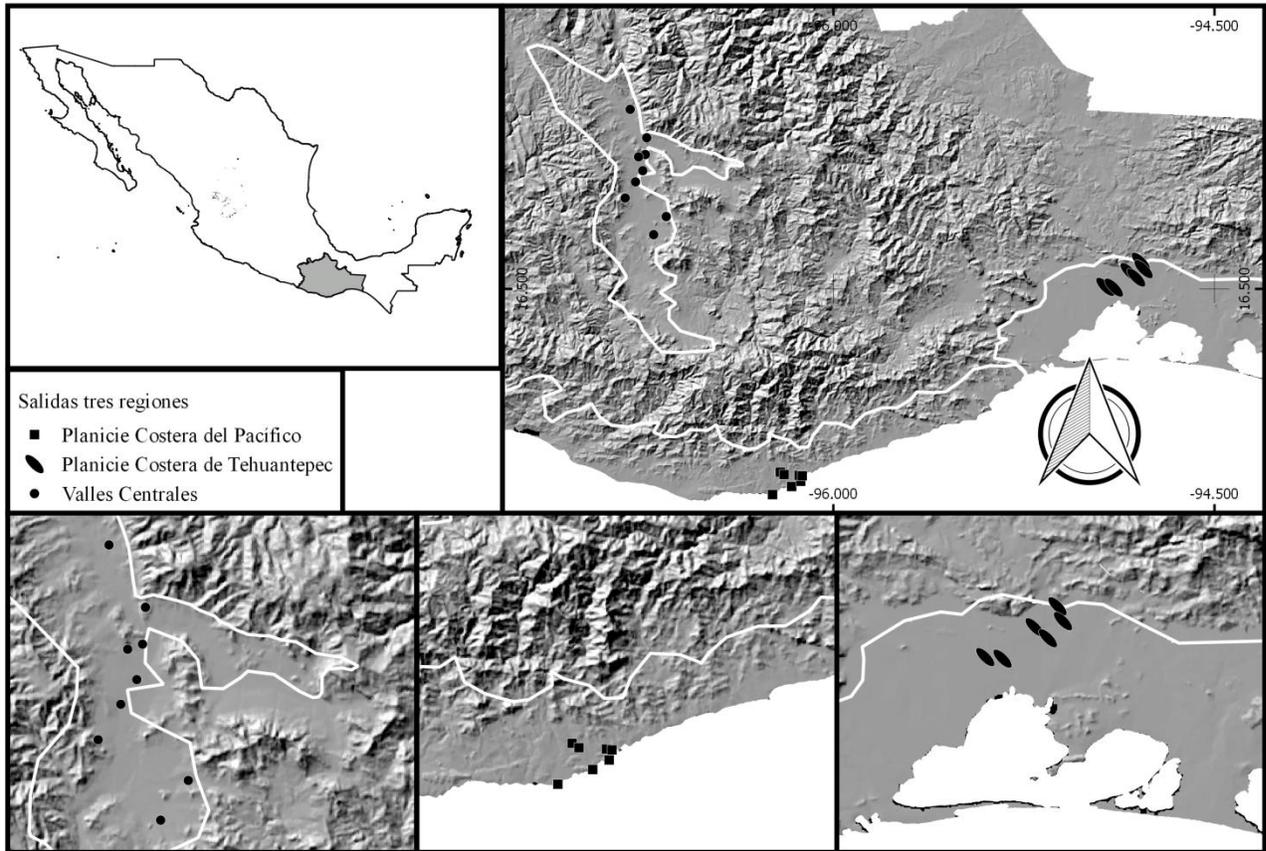
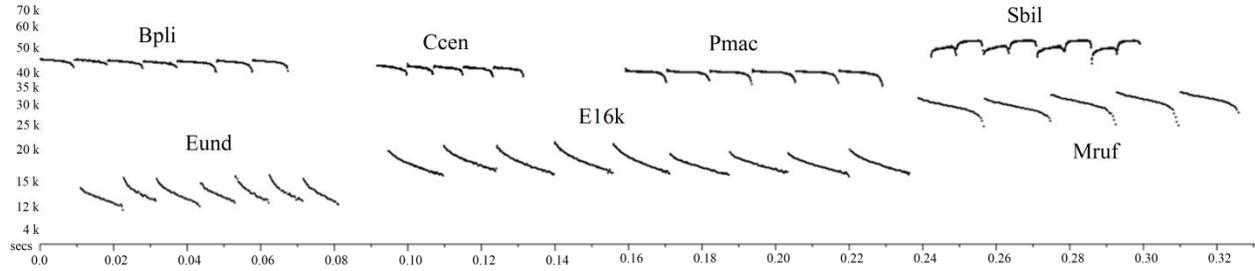


Figura 1. Sitios de grabaciones de llamadas de murciélagos insectívoros en tres provincias fisiográficas del estado de Oaxaca. Inferior izquierdo, sitios en la región de los Valles Centrales; Inferior centro, sitios en la región de la Planicie Costera del Pacífico; sitios de la región de la Planicie Costera de Tehuantepec.

a



b

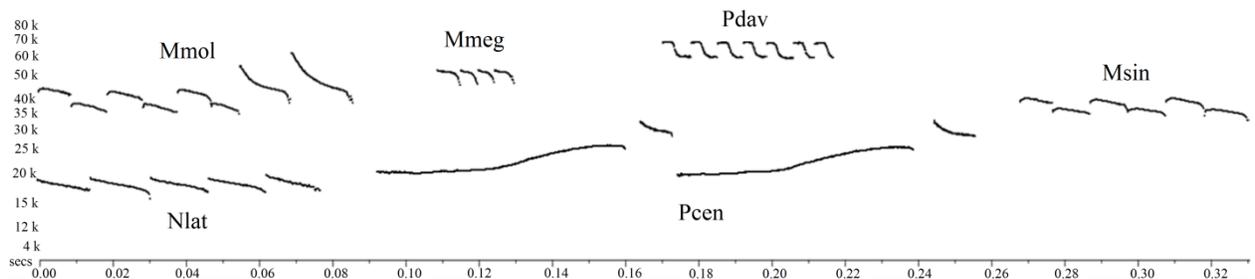
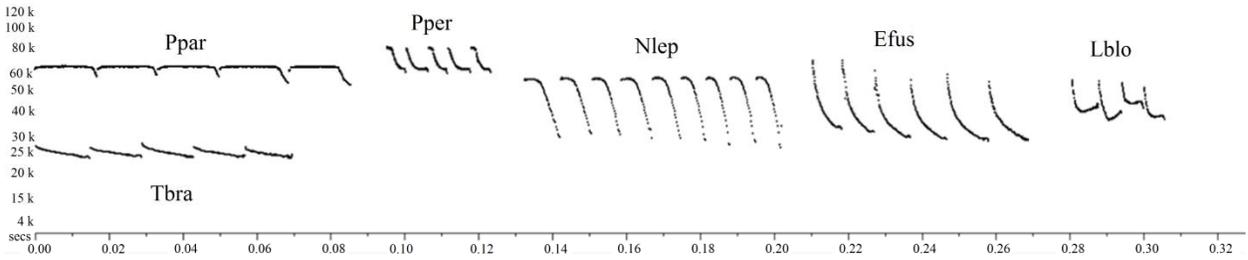


Figura 2. Espectrogramas de las especies registradas a través del detector ultrasónico Anabat SD2, en de 22 sitios de muestreo en el estado de Oaxaca, México. Visualización de espectrogramas, eje “y” en kiloHertz (kHz), eje “x” en tiempo (10ms). a) familia Emballonuridae, *Balantiopteryx plicata*: Bpli, *Centronycteris centralis*: Ccen, *Peropteryx macrotis*: Pmac, *Saccopteryx bilineata*: Sbil; familia Molossidae, *Eumops underwoodi*: Eund, *Eumops 16 kHz*: E16k, *Molossus rufus*: Mruf. b) familia Molossidae continua, *Molossus molossus*: Mmol, *Nyctinomops laticaudatus*: Nlat, *Promops centralis*: Pcen, *Molossus sinaloae*: Msin; familia Mormoopidae, *Mormoops megalophylla*: Mmeg, *Pteronotus davyi*: Pdav.

a



b

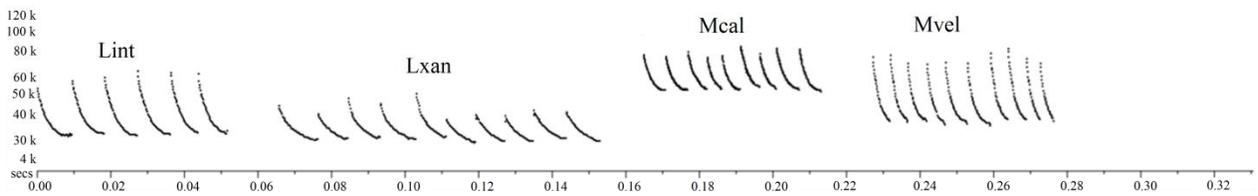


Figura 3. Espectrogramas de las especies registradas a través del detector ultrasónico Anabat SD2, en de 22 sitios de muestreo en el estado de Oaxaca, México. Visualización de espectrogramas, eje “y” en kiloHertz (kHz), eje “x” en tiempo (10ms). a) familia Molossidae, *Tadarida brasiliensis*: Tbra, familia Mormoopidae, *Pteronotus parnellii*: Ppar, *Pteronotus personatus*: Pper; familia Noctilionidae, *Noctilio leporinus*: Nlep; familia Vespertilionidae, *Eptesicus fuscus*: Efus, *Lasiurus blossevillii*: Lblo. b) *Lasiurus intermedius*: Lint, *Lasiurus xanthinus*: Lxan, *Myotis californicus*: Mcal, *Myotis velifer*, Mvel.

Cuadro 1. Parámetros medidos en llamadas de 23 especies de murciélagos insectívoros de tres provincias fisiográficas de Oaxaca. N: número de llamadas; Media: Promedio, D.E.: Desviación estándar, E.E. Error estándar, Mín: Mínimo, Máx.: Máximo, Dur: duración de la llamada; Fmax: Frecuencia máxima de la llamada; Fmin: Frecuencia mínima de la llamada; Fmean: Frecuencia media; Tk: Tiempo de inicio del llamado a la inflexión o rodilla; Fk: Frecuencia de la inclinación o rodilla.

Especie	Variable	N	Media	D.E.	CV	Mín	Máx	
Emballonuridae								
<i>Balantiopteryx plicata</i>	Dur	2017	7.52	1.68	22.31	2.17	12.66	
	Fmax	2017	44.66	1.33	2.97	39.02	48.01	
	Fmin	2017	40.75	1.57	3.85	35.81	45.94	
	Fmean	2017	43.57	1.18	2.71	38.47	46.6	
	Tk	2017	0.48	0.3	62.4	0.46	1.46	
	Fk	2017	44.46	1.46	3.29	38.93	48.42	
<i>Centronycteris centralis</i>	Dur	39	7.09	0.56	7.96	6.19	8.62	
	Fmax	39	41.69	0.35	0.84	40.99	42.75	
	Fmin	39	39.15	0.5	1.28	38.11	40.27	
	Fmean	39	40.11	0.86	2.14	38.72	41.97	
	Tk	39	0.25	0.08	30.49	0.07	0.46	
	Fk	39	41.42	0.96	2.32	39.58	43.75	
<i>Peropteryx macrotis</i>	Dur	80	6.26	1.84	29.48	2.11	10.6	
	Fmax	80	38.72	0.39	1.02	37.94	39.74	
	Fmin	80	36.50	0.89	2.44	34.21	39.02	
	Fmean	80	37.07	2.39	6.43	31.79	41.84	
	Tk	80	0.64	0.7	109.31	0.19	1.93	
	Fk	80	38.18	1.44	3.76	35.03	41.89	
<i>Saccopteryx bilineata</i>	pulso alto	Dur	1292	7.62	1.05	13.79	4.82	10.88
		Fmax	1292	49.97	0.05	0.09	49.79	50.12
		Fmin	1292	46.88	0.83	1.77	43.45	49.87
		Fmean	1292	49.33	5.35	10.84	29.72	68.14
		Tk	1292	1.08	0.61	56.05	0.85	2.85
		Fk	1292	48.95	0.63	1.28	47.03	50.91
	pulso bajo	Dur	711	7.9	1.04	13.13	4.72	11.29
		Fmax	711	47.98	0.58	1.21	46.53	50.11
		Fmin	711	44.62	1.38	3.08	40.51	49.06
		Fmean	711	47.22	0.6	1.28	45.44	49.51
		Tk	711	1.16	0.49	42.23	0.33	2.91
		Fk	711	46.91	0.66	1.41	44.95	48.99

Molossidae

<i>Eumops underwoodi</i>	Dur	33	9.82	1.72	17.5	6.13	13.41
	Fmax	33	14.59	1.64	11.22	12.8	18.48
	Fmin	33	11.81	0.44	3.72	11.19	12.82
	Fmean	33	12.88	0.8	6.24	11.89	15.05
	Tk	33	2.11	1.18	55.91	0.31	4.43
	Fk	33	13.41	0.81	6.01	12.54	15.44
<i>Eumops 16kHz</i>	Dur	42	15.46	2.5	16.16	6.87	19.85
	Fmax	42	19.30	1.53	7.94	16.95	21.92
	Fmin	42	16.11	0.47	2.93	15.12	17.24
	Fmean	42	17.39	0.71	4.06	16.15	18.55
	Tk	42	2.48	1.27	51.16	0.43	5.79
	Fk	42	18.11	0.96	5.3	16.36	20.25
<i>Molossus molossus</i>	Dur	66	9.15	2.01	21.99	4.71	13.72
	Fmax	66	38.27	2.98	7.78	30.7	44.4
	Fmin	66	33.50	2.83	8.45	27.19	42.3
	Fmean	66	36.08	1.26	3.49	33.06	38.93
	Tk	66	0.4	0.28	70.78	0.19	1.39
	Fk	66	36.66	1.49	4.07	33.84	40.97
<i>Molossus rufus</i>	Dur	37	13.11	2.96	22.57	5.57	18.14
	Fmax	37	27.49	7.40	26.91	3.16	32.19
	Fmin	37	22.27	7.39	33.18	1.39	28.07
	Fmean	37	25.7	7.07	27.52	2.21	30.59
	Tk	37	0.86	0.71	82.73	0	3.03
	Fk	37	27.13	7.59	27.98	2.15	32.19
<i>Molossus sinaloae</i>	Dur	106	6.57	2.43	37.03	0.22	11.68
	Fmax	106	40.76	2.99	7.33	33.76	46.44
	Fmin	106	37.30	2.75	7.37	30.24	45.42
	Fmean	106	40.04	1.99	4.96	35.5	44.87
	Tk	106	0.88	1.57	178.48	4.30	4.61
	Fk	106	39.53	0.37	0.93	38.65	40.45
<i>Nyctinomops laticaudatus</i>	Dur	21	14.44	0.97	6.70	12.49	15.9
	Fmax	21	19.86	0.80	4.19	17.78	20.47
	Fmin	21	17.71	0.63	3.53	16.76	19.03
	Fmean	21	18.33	0.63	3.46	17.04	19.17
	Tk	21	0.13	0.31	234.65	0.50	0.68
	Fk	21	18.76	0.29	1.55	18.14	19.21
<i>Promops centralis</i> pulso frecuencia baja	Dur	98	57.67	21.82	37.83	22.13	135.61
	Fmax	98	25.85	0.56	2.17	24.24	27.4
	Fmin	98	19.80	1.14	5.75	17.54	22.41
	Fmean	98	22.68	1.01	4.44	20.24	24.96
	Tk	98	27.15	22.47	82.75	0.20	102.55

	Fk	98	22.34	1.86	8.34	18.14	25.16
pulso frecuencia alta	Dur	21	14.29	4.74	33.22	6.94	24.86
	Fmax	21	34.84	3.73	10.71	29.96	43.24
	Fmin	21	27.78	0.86	3.10	26.4	29.74
	Fmean	21	29.99	1.61	5.36	28.27	33.71
	Tk	21	5.28	2.11	39.93	1.81	9.69
<i>Tadarida brasiliensis</i>	Fk	21	29.78	1.45	4.87	28.17	33.61
	Dur	1523	11.33	2.32	20.43	2.70	21.61
	Fmax	1523	27.71	2.23	8.04	23.81	36.04
	Fmin	1523	24.37	1.14	4.67	21.56	29.74
	Fmean	1523	25.77	1.32	5.11	22.86	31.14
	Tk	1523	1.55	1.41	91.28	0	12.19
	Fk	1523	26.55	1.53	5.75	23.05	32.39
Mormoopidae							
<i>Mormoops megalophylla</i>	Dur	408	3.57	1.59	44.47	0.74	9.81
	Fmax	408	52.79	1.24	2.35	49.84	56.74
	Fmin	408	45.33	2.01	4.43	37.74	50
	Fmean	408	50.54	0.79	1.56	47.97	52.45
	Tk	408	0.23	0.28	118.34	0	2.54
	Fk	408	52.34	1.12	2.13	49.38	54.79
<i>Pteronotus davyi</i>	Dur	1027	5.51	1.30	23.53	1.21	10.01
	Fmax	1027	72.00	1.51	2.10	65.84	76.45
	Fmin	1027	59.31	1.39	2.34	53.69	63.51
	Fmean	1027	66.28	1.73	2.61	61.24	71.36
	Tk	1027	2.12	1.80	84.55	3.37	7.79
	Fk	1027	66.01	4.61	6.98	51.69	81.19
<i>Pteronotus parnellii</i>	Dur	706	22.69	3.71	16.37	12.35	44.56
	Fmax	706	64.87	0.94	1.45	61.07	67.23
	Fmin	706	55.36	2.94	5.31	1.92	62.99
	Fmean	706	63.46	0.83	1.31	60.38	65.72
	Tk	706	7.10	7.67	108.07	12.05	30.71
	Fk	706	63.66	2.06	3.23	54.42	69.45
<i>Pteronotus personatus</i>	Dur	12	4.39	0.54	12.28	3.46	5.06
	Fmax	12	84.20	1.81	2.15	81.69	87.26
	Fmin	12	67.11	2.34	3.48	61.68	71.6
	Fmean	12	68.57	1.76	2.57	66.25	71.65
	Tk	12	2.27	0.92	40.50	0.92	3.30
	Fk	12	69.33	0.89	1.28	67.68	70.74
Noctilionidae							
<i>Noctilio leporinus</i>	Dur	650	7.70	2.86	37.09	0.38	15.78
	Fmax	650	56.55	1.33	2.36	52.59	61.19

	Fmin	650	34.94	3.96	11.32	24.31	48.31
	Fmean	650	49.62	3.35	6.75	39.45	58.61
	Tk	650	0.64	0.92	145.01	2.00	3.15
	Fk	650	55.67	2.94	5.28	48.00	67.51
Vespertilionidae							
<i>Eptesicus fuscus</i>	Dur	26	5.51	1.46	26.49	3.30	7.78
	Fmax	26	48.83	5.03	10.30	40.00	56.34
	Fmin	26	29.13	0.81	2.77	27.87	30.42
	Fmean	26	34.96	1.61	4.61	31.80	37.38
	Tk	26	3.35	1.08	32.3	1.52	5.86
	Fk	26	31.89	1.40	4.38	29.20	34.63
<i>Lasiurus blossevillii</i>	Dur	194	5.25	1.23	23.51	1.67	8.91
	Fmax	194	62.51	7.28	11.65	40.10	82.9
	Fmin	194	45.55	2.05	4.51	38.80	50.75
	Fmean	194	46.5	3.12	6.71	38.62	55.37
	Tk	194	2.21	0.70	31.73	0.52	4.31
	Fk	194	49.95	0.25	0.5	49.41	50.78
<i>Lasiurus intermedius</i>	Dur	24	8.24	1.22	14.8	6.56	11.09
	Fmax	24	53.58	6.49	12.11	33.76	64.26
	Fmin	24	31.73	1.17	3.68	28.12	33.06
	Fmean	24	36.44	2.12	5.82	29.59	38.88
	Tk	24	4.58	0.79	17.19	3.10	6.02
	Fk	24	33.96	1.60	4.70	29.47	36.36
<i>Lasiurus xanthinus</i>	Dur	26	7.35	1.77	24.12	3.01	9.98
	Fmax	26	39.30	6.46	16.43	21.16	51.18
	Fmin	26	29.97	2.20	7.33	26.48	35.98
	Fmean	26	32.68	1.78	5.44	29.76	36.01
	Tk	26	2.58	1.08	41.75	0.44	4.53
	Fk	26	33.17	1.68	5.07	29.69	36.99
<i>Myotis californicus</i>	Dur	557	4.05	1.60	39.36	0.47	10
	Fmax	557	66.56	8.87	13.33	46.24	101.27
	Fmin	557	51.51	3.56	6.91	40.82	66.67
	Fmean	557	55.88	4.45	7.96	43.18	68.23
	Tk	557	1.67	1.05	62.94	0	4.88
	Fk	557	55.67	4.70	8.45	42.33	72.07
<i>Myotis velifer</i>	Dur	30	3.87	0.55	14.3	3.01	5.09
	Fmax	30	71.99	10.04	13.94	55.17	94.12
	Fmin	30	40.72	1.19	2.93	38.10	43.01
	Fmean	30	50.44	2.32	4.61	46.05	54.96
	Tk	30	2.1	0.57	27.23	1.27	3.44
	Fk	30	48.01	1.70	3.54	43.96	53.33

Cuadro 2. Correlaciones de los componentes con las variables originales. Dur: duración de la llamada; Fmax: Frecuencia máxima de la llamada; Fmin: Frecuencia mínima de la llamada; Fmean: Frecuencia media; Tk: Tiempo de inicio del llamado a la inflexión o rodilla; Fk: Frecuencia de la inclinación o rodilla.

Variables	CP 1	CP 2
Dur	-0.54	0.79
Fmax	0.96	0.15
Fmin	0.97	0.15
Fmean	0.98	0.17
Tk	-0.18	0.95
Fk	0.97	0.15

Cuadro 3. Resultado del análisis de función discriminante en el que se indica el porcentaje de error en la clasificación correcta de 23 especies de murciélagos insectívoros en Oaxaca. En el análisis, se incluyeron las estimaciones de los seis parámetros medidos en los pulsos de las especies (Dur: duración de la llamada; Fmax: Frecuencia máxima de la llamada; Fmin: Frecuencia mínima de la llamada; Fmean: Frecuencia media; Tk: Tiempo de inicio del llamado a la inflexión o rodilla; Fk: Frecuencia de la inclinación o rodilla)

Bpl=*Balantiopteryx plicata*, Cce=*Centronycteris centralis*, Efu=*Eptesicus fuscus*, Eun=*Eumops underwoodi*, E16kHz=*Eumops 16kHz*, Lbl=*Lasiurus blosevillii*, Lin=*Lasiurus intermedius*, Lxa=*Lasiurus xanthinus*, Mmo=*Molossus molossus*, Mru=*Molossus rufus*, Msi=*Molossus sinaloe*, Mme=*Mormoops megalophylla*, Mca=*Myotis californicus*, Mve=*Myotis velifer*, Nle=*Noctilio leporinus*, Nla=*Nyctinomops laticaudatus*, Pma=*Pteropteryx macrotis*, Pce=*Promops centralis*, Pda=*Pteronotus davyi*, Ppa=*Pteronotus parnellii*, Ppe=*Pteronotus personatus*, Sbi=*Saccopteryx bilineata*, Tbr=*Tadarida brasiliensis*, %E=Porcentaje de error.

Clasificado como

	Grupo	Bpl	Cce	Efu	Eun	E16k	Lbl	Lin	Lxa	Mmo	Mru	MSi	Mme	Mca	Mve	Nle	Nla	Pma	Pce	Pda	Ppa	Ppe	Sbi	Tbr	%E	
Grupo real	Bpl	1909	76	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	5	0	5.35	
	Cce	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.13
	Efu	0	0	15	0	0	0	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.31
	Eun	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E16k	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4.76
	Lbl	2	0	0	0	0	138	0	0	0	0	0	20	2	21	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	28.87
	Lin	0	0	3	0	0	0	19	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.83
	Lxa	0	0	3	0	0	0	2	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	30.77
	Mmo	0	1	0	0	0	0	0	6	47	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	28.79
	Mru	0	0	0	3	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	48.65
	MSi	0	21	0	0	0	0	0	0	12	0	62	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	41.51
	Mme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	389	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	16	0	4.66
	Mca	5	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	61	341	26	0	0	0	0	0	64	0	2	27	0	38.78
	Mve	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.00
	Nle	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	36	0	0	609	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.31
	Nla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	63	0	0	0	0	0	0	21.25
	Pce	0	0	0	1	0	0	0	12	0	32	0	0	0	0	0	0	2	0	165	0	0	0	0	74	42.31
	Pda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	1017	0	0	0	0	0.97
	Ppa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	702	0	0	0	0.57
	Ppe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0
	Sbi	69	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1928	0	3.74
	Tbr	0	0	0	0	0	0	0	13	0	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1405	7.75

CAPÍTULO III. COMPOSICIÓN Y ACTIVIDAD DE LA COMUNIDAD DE MURCIÉLAGOS ARTROPODÍVOROS EN PARQUES EÓLICOS DEL TRÓPICO MEXICANO

Revista Mexicana de Biodiversidad Aceptado para publicación

País: México

Factor de impacto: 0.493

ISI: Si

Margarita García Luis
Instituto Politécnico Nacional

Cd. Universitaria, a 23 de mayo de 2017.

Estimada Dra. García:

Después de revisar la versión corregida de su trabajo RMB-2440: "Composición y actividad de la comunidad de murciélagos insectívoros en parques eólicos del Trópico Mexicano", le informo que ha sido aceptado para su publicación en nuestra revista y aparecerá en el próximo número disponible.

Con el fin de garantizar la adecuada reproducción de las figuras en la impresión final, es necesario que envíe las figuras en formato Tiff, a 300 dpi, a nuestra ed. Técnica, la maestra Ma. Antonieta Arizmendi Espinosa (aarizmen@ib.unam.mx).

En cuanto tengamos listas las pruebas de galeras se las haremos llegar para una última revisión. Le reitero nuestra invitación a enviar fotografías relacionadas con su trabajo para la selección de imágenes que aparecerán en la portada correspondiente.

Sin más por el momento, reciba saludos cordiales

Atentamente,



Dr. Fernando Álvarez
Editor responsable

Composición y actividad de la comunidad de murciélagos insectívoros en parques eólicos del Trópico Mexicano

Composition and activity of arthropodivorous bat community in wind farms in the Mexican Tropics

Margarita García-Luis* y Miguel Briones-Salas

Laboratorio de Vertebrados Terrestres (Mastozoología), Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-Oaxaca), Instituto Politécnico Nacional. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C. P. 71230.

Correos electrónicos: margarita@garcialuis.net*, mbriones@ipn.mx

Resumen

Se estudió la composición y actividad de murciélagos artropodívoros, durante las temporadas de lluvias y secas de 2013 y 2014, para evaluar el efecto de parques eólicos sobre estas especies. Se capturaron ejemplares con redes de niebla y se grabaron sonidos de ecolocación en vuelo libre, con un detector ultrasónico en 2 áreas: dentro de parques eólicos (DPE) y fuera de parques eólicos (FPE). Se registraron 13 especies y 4 géneros. En las redes se registraron 100 individuos de 8 especies (con un esfuerzo de muestreo de 120,600 m.red/hora); con el detector, se grabaron 4,518 pases de 9 especies y 4 géneros. En el área DPE se registraron 12 especies y 4 géneros; en el área FPE, 10 especies y 4 géneros. El análisis no mostró diferencias significativas para la actividad entre las áreas DPE y FPE; no obstante, por temporadas sí se encontraron diferencias. Durante las 19:00 y 20:00 horas en ambas condiciones se registraron el mayor número de pases. Es posible que variables ambientales y del paisaje, que han sido reportadas de importancia para la

actividad de murciélagos, intervengan en esta región al no encontrarse diferencias en el análisis realizado.

Palabras clave: Anabat, detección ultrasónica, eventos de caza, horarios de actividad, Istmo de Tehuantepec.

Abstract

We studied the bat arthropodivorous species composition and their activity during the rainy and dry seasons of 2013 and 2014, to evaluate the effect of wind farms on these species. We captured specimens using mist nets and we recorded echolocation sounds a free fly with an ultrasonic detector in two areas: with wind farms (DPE) and without it (FPE). We recorded 13 species and 4 genus. In mist nets we registered 100 individuals from 8 species (with a sampling effort of 120, 600 m.mist net/hr); using an ultrasonic detector, 4 518 passes of 9 species and 4 genus were recorded. In the DFE area, we recorded 12 species and 4 genus, in the FPE area, 10 species and 4 genus. The analysis did not show significant differences for the activity between DPE and FPE areas, however for seasons differences were found. The 19:00 and 20:00 hours in both conditions registered the greatest number of passes. It is possible that environmental and landscape variables, which have been reported of importance for bat activity, intervene in this region as no differences were found in the analysis performed.

Key words: activity times, Anabat, Chiroptera, feeding buzz, Tehuantepec Isthmus, ultrasonic detection.

Introducción

En los últimos años el desarrollo urbano se ha incrementado rápidamente, lo que provoca una creciente demanda de energía. En la actualidad, la energía es generada principalmente a través de combustibles fósiles, lo que conlleva la emisión de gases de efecto invernadero, principales causantes del calentamiento global (McKinney, 2002). Una de las alternativas, es la obtención de energía renovable, como la energía eólica, la cual ha tenido auge en los últimos años (Atienza et al., 2011; Henestroza, 2008; Moryarty y Honnery, 2012). No obstante, se han registrado algunas consecuencias negativas principalmente en ambientes templados por el establecimiento y funcionamiento de parques eólicos, entre las que destacan, la muerte de aves y murciélagos por colisiones, ruidos (audible y ultrasónico) y electromagnetismo (Cryan y Barclay, 2009; Henestroza, 2008; Kunz et al., 2007a).

Los estudios del impacto de los aerogeneradores sobre la fauna, se ha enfocado principalmente a las aves y recientemente a investigar las afectaciones a los murciélagos (Arnett et al., 2008). La metodología a nivel mundial se enfoca al conteo de cadáveres por aerogenerador por año o por mega watt generado (Hayes, 2013). La actividad de los murciélagos se ha evaluado a través de cámaras infrarrojas y detectores ultrasónicos; con estas técnicas se han determinado las diferencias de actividad por temporadas y su relación con la cantidad de cadáveres encontrados (Baerwald y Barclay, 2009; Horn et al., 2008; Johnson et al., 2004). Las investigaciones registran que las poblaciones de vespertiliónidos y molósidos que vuelan a grandes alturas tienen mayores impactos (Barros et al., 2015; Kunz et al., 2007b).

En regiones tropicales de Latinoamérica, sobre todo en México y Brasil, las evaluaciones en los impactos sobre murciélagos son escasos, a pesar del creciente desarrollo y aprobación de proyectos de parques eólicos (Barros et al., 2015; Bolívar-Cimé et al., 2016; Rodríguez et al., 2009; Rodríguez-Durán y Feliciano-Robles, 2015; Zolotoff, 2012). Debido a las

diferencias en diversidad de la región Neotropical con la región Neártica (mayor riqueza y menor abundancia; Jenkins et al., 2013), es necesaria la realización de estudios poblacionales, de diversidad, riqueza y patrones de actividad espacial y temporal, para evaluar de manera más precisa el efecto que tienen los parques eólicos sobre los murciélagos en ambientes tropicales.

En este estudio se analizan las diferencias en la riqueza de murciélagos insectívoros (Segura-Trujillo et al., 2016) y sus patrones de actividad en sitios dentro y fuera de parques eólicos por temporada. Se ha reportado que los murciélagos son sensibles a la perturbación y responden generalmente con la disminución de riqueza y abundancia (Jung y Kalko, 2010; Stahlschmidt y Brül, 2012; Williams y Perfecto, 2011). Por lo tanto, predecimos que la riqueza y abundancia de los murciélagos artropodívoros será menor en las áreas con presencia de aerogeneradores; mientras que la actividad será mayor en sitios sin aerogeneradores y estará acotada a las primeras horas del atardecer, debido a que en ese periodo hay una mayor disponibilidad de presas (Rydell et al., 1996). La información generada, podría ser utilizada para crear estrategias que disminuyan colisiones futuras de estos mamíferos en parques eólicos del Neotrópico y apoyar el establecimiento de una mejor política de manejo y conservación.

Materiales y métodos

Área de estudio. Se ubica al sureste de México en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Es una de las zonas de mayor potencial eólico del país y del mundo, con vientos promedio de 7.7- 8.5 m/s a 50 m sobre el suelo, calificados como excelentes para la producción de energía eólica y presentes durante todo el año (Elliott et al., 2004; Fig. 1). El clima es cálido subhúmedo (Aw) con una temperatura media anual de 22 – 26 °C. La precipitación media anual va de 1,000 a 1,200 mm (Trejo, 2004). En esta región existen grandes extensiones de terrenos con alto grado de fragmentación, utilizado para agricultura de riego y temporal y cría de ganado bovino. Posee

escasos corredores de vegetación arbórea con huizaches (*Acacia* sp.) y huamúchiles (*Phithecellobium dulce*), y con pequeños remanentes de bosque tropical caducifolio. El mayor afluente de la zona es el río Tehuantepec, además, existen canales de riego, para irrigar los pastizales y cultivos agrícolas principalmente de maíz y sorgo (INEGI, 2013).

Dentro de la zona de estudio se seleccionaron 2 áreas con diferente condición. La primera dentro de parques eólicos (DPE, 20 parques en la región, con un total de 1,882 aerogeneradores, SENER, 2016) y la segunda fuera de parques eólicos (FPE, Fig. 1).

Diseño de muestreo. Se establecieron 8 sitios de muestreo, 4 DPE (1 al 4) y 4 FPE (5 y 8).

Desafortunadamente, durante el estudio 2 de los sitios FPE fueron invadidos por un nuevo parque eólico, razón por la cual, sólo se pudieron considerar datos de dos sitios FPE (5 y 6). El trabajo se realizó en 2 ciclos de muestreo anuales durante la temporada seca (marzo a mayo) y la temporada lluviosa (junio a agosto) de 2013 y 2014, dando un total de 12 periodos de captura.

Captura en red. Para la recolecta de murciélagos con redes de niebla, se utilizaron 8 y 12 redes (12 x 2.6 m; Avinet ®, Inc) durante 2 noches por sitio por mes. Las redes se colocaron a partir del crepúsculo vespertino (18:00 hr) y permanecieron abiertas alrededor de 7 horas diarias en posibles rutas de vuelo y en fragmentos de vegetación. El número total de noches para los sitios DPE fue de 48, mientras que para los sitios FDP fue de 24.

Los murciélagos capturados fueron identificados utilizando claves especializadas (Álvarez et al., 1994; Medellín et al., 2007). Se obtuvieron datos de edad (joven o adulto de acuerdo al grado de fusión de las falanges; Anthony, 1988), sexo y condición reproductiva (testículos escrotados, testículos inguinales, inactivo/ preñada, lactante, pos lactante); posterior a ello, los organismos fueron liberados en el mismo sitio de su captura. Algunos especímenes fueron colectados y preparados como ejemplares de museo, principalmente molósidos y vespertiliónidos, de los cuales no se tuvo certeza de identificación al 100% en campo y de los que

se obtuvieron grabaciones vocales. Los ejemplares de museo se depositaron en la Colección Mastozoológica (OAX.MA.026.0497) del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA, IPN), la captura fue realizada bajo el permiso de colecta (SEMARNAT, FAUT-0037), otorgado a los autores por las autoridades correspondientes (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales).

Detección ultrasónica. La grabación de firmas vocales de murciélagos se llevó a cabo con el detector de ultrasonido Anabat SD2 (Tittley Electronics, Ballina, Australia; intervalo de frecuencia 4 - 200 kHz, sistema de división de frecuencia). El detector funcionó aproximadamente 8 horas al día a partir del crepúsculo (18:00 horas) hasta la 01:59 am, con una noche de grabación por sitio por mes. En algunos sitios, no se completaron las horas de grabación debido a condiciones ambientales, presencia de lluvia o vientos >30m/s. El método de grabación fue pasivo modificado del propuesto por O´Farrell et al. (1999) y Weller y Zabel (2002). El detector se colocó con una inclinación de 45° a una altura de 30 cm. Los archivos obtenidos con el Anabat SD fueron analizados con el programa AnalookW versión 3.8 (Tittley Scientific, Ballina, Australia).

El análisis consistió en la separación de los archivos útiles. Se consideró como archivo útil (un pase), aquel que tuviera al menos 2 llamados sucesivos de ecolocalización; de esta forma se eliminaron archivos con secuencias fragmentadas o con ruido ambiental (Fenton, 1970; Thomas, 1988). Por otro lado, los eventos de caza fueron determinados a partir de los trenes de alimentación (definidos como un aumento en la tasa de repetición de llamados; Griffin et al., 1960), que indican la posible captura de presas en cada sitio. Se consideró cada tren de alimentación como un evento independiente (MacSwiney et al., 2009). Finalmente, se determinaron los horarios y picos de actividad de las familias de murciélagos identificadas, los

horarios de actividad se determinaron a través del número de pases por noche agrupados en intervalos de una hora.

La identificación de especies se efectuó, en el caso de las especies de la familia Mormoopidae, con grabaciones de referencia de obtención propia. Las grabaciones se obtuvieron de individuos capturados en refugios cercanos a la zona de estudio (< 10 km de distancia), a través del método de liberación en mano (hand release) en áreas abiertas (e. g. William-Guillén y Perfecto, 2011; Frick, 2013). Las especies restantes, fueron identificadas por comparación de espectrogramas de regiones o estados del país y de localidades de Centroamérica (Gannon et al., 2001; 2004; Jung et al., 2007; O'Farrell, 1997; O'Farrell y Miller, 1997; Orozco-Lugo et al., 2013; Rydell et al., 2002). En algunos casos, no fue posible llegar a nivel de especie, por lo que se analizaron a nivel de género o también considerados como sonotipos (grupos de especies con llamados similares; Bader et al., 2015), particularmente para las familias Molossidae y Vespertilionidae, que poseen patrones de sonido variables o pulsos similares entre especies (Szewczak, 2000; Walters et al., 2012).

Para la determinación taxonómica de especies, o en su caso de los sonotipos, se midieron 6 parámetros de cada llamado (Dur = Duración, Fmax = Frecuencia máxima, Fmin = Frecuencia mínima, Fmean = Frecuencia media, Tk = Tiempo de inicio del llamado a la inflexión o rodilla y Fk = Frecuencia de la inclinación o rodilla, O'Farrell et al., 1999). La visualización de llamados se realizó en una división de frecuencia 16, con el eje de tiempo (x) en intervalos divididos cada 10 ms y eje de frecuencia (y) en escala logarítmica (kHz).

Análisis de datos. Se generaron curvas de acumulación de especies y se determinó la eficiencia del muestreo para la captura en redes de niebla y detección ultrasónica. Por cada método de recolecta, se realizaron matrices con los datos de presencia - ausencia, DPE y FPE y se ingresaron al programa EstimateS ver.9.1 (Colwell, 2009). Los datos se combinaron 1,000 veces

para obtener una distribución aleatoria, eliminar el efecto de orden de ingreso y suavizar la curva. La riqueza esperada se calculó a través de los estimadores no paramétricos Bootstrap y Chao 2. La completitud del inventario se obtuvo calculando el porcentaje de especies observadas respecto a las calculadas por los estimadores (Moreno y Halffter, 2000).

El esfuerzo de muestreo en redes de niebla se calculó por cada periodo para ambas temporadas (lluvias y secas) de 2013 y 2014. El total fue utilizado para estimar la abundancia relativa (AR), que se refiere al número de individuos colectados de cada especie, dividido por el número de m.red/hora total (Medellín, 1993). Para determinar diferencias en la captura de individuos con redes DPE y FPE y por temporadas, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskall-Wallis, por no cumplirse los supuestos de normalidad de los datos; a través del programa Infostat (Di Rienzo et al., 2016).

Para el análisis de los pases grabados y eventos de caza (EC), se realizó un Modelo Lineal Generalizado (MLG; programa SPSS ver. 22) con la función de enlace Poisson y el estadístico de Wald (Mangeaud y Videla, 2005); la variable explicativa fue el número de conteos por cada sitio con doce repeticiones (meses), es decir, 48 repeticiones para la condición DPE y 24 para FPE. Se compararon estos dos factores (DPE, FPE) y se realizó la selección de modelos mediante el criterio de información de Akaike (AIC) y de máxima verosimilitud.

Finalmente, se usó una prueba de Kruskall Wallis (Di Rienzo et al., 2016) para determinar diferencias entre los horarios de actividad con el programa Infostat. Para todos los casos se utilizó un nivel de significancia de $P= 0.05$.

Resultados

La riqueza general de especies de murciélagos insectívoros de la zona estuvo compuesta por 13 especies y 4 géneros, agrupados en 4 familias. Se capturaron o recolectaron 8

especies en redes de niebla y se registraron 9 especies y 4 géneros por medio de detección ultrasónica (Fig. 2, Tabla 1, 2). En el área DPE, se registraron 12 especies y 4 géneros, mientras que en el área FPE resultaron 10 especies y 4 géneros. *Pteronotus personatus* y *Eptesicus* sp. estuvieron sólo DPE, mientras que *Molossus rufus* sólo se registró en sitios FPE.

Muestreo con redes. Para las redes de niebla, se obtuvo un esfuerzo de muestreo total de 127, 872 m red/hr; para 2013 el esfuerzo fue de 55,296 m red/hr y 72, 576 m red/hr para 2014. Por condición, en el área DPE el esfuerzo de muestreo fue de 85,240 m red/hr., mientras que para el área FPE fue de 42,624 m red/hr. En el caso de las temporadas, se registraron 63, 936 m red/hr., para cada una.

Las curvas de acumulación de especies no alcanzaron la asíntota para ambas áreas. En el área DPE, la riqueza estimada fue 6.92 especies con Chao 2 y 6.78 especies con Bootstrap (Sobs = 6), por lo que se registró 86.71 y 88.50% de la riqueza de especies estimada respectivamente. Para el área FPE, con los estimadores Chao 2 (Sobs = 7 y Sest = 8.38) y Bootstrap (Sobs = 7 y Sest = 8.74) se registró 83.53 y 80.09% de la riqueza de especies esperada (Fig. 3b).

Se capturaron 100 individuos de 8 especies agrupados en 3 familias, la más capturada fue *Mormoops megalophylla* (n = 51). *Molossus rufus*, *Pteronotus personatus* y *Lasiurus intermedius* se capturaron sólo en una ocasión (Tabla 2). En el área DPE se registraron 34 individuos, *P. parnellii* y *M. megalophylla* tuvieron el mayor número de registros (70.6%). En el área FPE, se capturaron 66 individuos, *M. megalophylla* y *P. davyi* fueron las especies más capturadas (84.8%). Al analizar las capturas entre las 2 temporadas, la mayor se observó durante la seca (n = 76) respecto a las lluvias (n= 24). En el análisis entre años, en el 2013 se registró el mayor número de ejemplares (n = 78) a diferencia de 2014 (n = 22, Tabla 1). Sin embargo, no se

encontraron diferencias significativas por condición (DPE, FPE) ($H= 0.09$, g.l. = 1, $p= 0.75$), ni por temporadas ($H= 3.89$, g.l. = 2, $p= 0.23$).

Muestreo acústico. Para la detección ultrasónica, las curvas de acumulación de especies para ambas áreas alcanzaron la asíntota en el doceavo mes de recolecta. La riqueza estimada en el área DPE fue de 13 especies con Chao 2 y de 13.54 con Bootstrap (Sobs = 13), por lo que se registró el 100% y 96.01% respectivamente de la riqueza de especies estimada. En el área FPE la riqueza estimada fue de 9 con Chao 2 y 9.42 con Bootstrap (Sobs = 9) con registró de 100% y 95.54% respectivamente (Fig. 3a).

Debido a que la prueba de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas en el número de pases entre los sitios con aerogeneradores ($H= 4.37$, g.l.=3, $p= 0.22$) ni la prueba de Friedman entre los sitios sin ellos ($X^2= 1.60$, g.l. = 1, $p= 0.38$), se trataron como 2 áreas independientes: dentro de parques eólicos (DPE) y fuera de parques eólicos (FPE).

Se obtuvieron 345 horas de grabación, 221 para el área DPE y 124 para el área FPE, en ambas se registraron 4,518 pases, que sirvieron para identificar 9 especies y 4 géneros pertenecientes a 4 familias (Tabla 1). Para la familia Emballonuridae se identificaron 2 especies: (*Balantiopteryx io* y *Balantiopteryx plicata*). De la familia Molossidae se obtuvieron registros de 2 especies y 1 género (*Eumops underwoodi*, *Promops centralis* y *Molossus* sp.). Para la familia Mormoopidae se registraron 4 especies (*Mormoops megalophylla*, *Pteronotus davayi*, *P. parnellii* y *P. personatus*). En la familia Vespertilionidae se obtuvo 1 especie y 3 géneros (*Myotis californicus*, *Eptesicus* sp., *Lasiurus* sp. y *Myotis* sp.) (Fig. 2 a y b, Tabla 2).

Al analizar los datos del número de pases, utilizando los factores DPE y FPE/ temporada seca y temporada lluviosa, se generó solamente un modelo, por lo que no se reportan datos de Akaike (AIC) y devianza.

En el área DPE se identificaron 2,435 pases (54%), que corresponden a 9 especies, y 4 géneros. En el área FPE, se obtuvieron 2,083 pases (46%) de 6 especies y 3 géneros; no se observaron diferencias significativas de la actividad con el número de pases entre condiciones a través del MLG (X^2 de Wald =2.52, P = 0.11, Tabla 3). Seis especies y 3 géneros son compartidos en ambas áreas, mientras que 3 especies y 1 género son exclusivos de los sitios DPE; el género que estuvo presente en ambas áreas a lo largo de todos los meses fue *Molossus* sp. (Tabla 1).

Durante la temporada de lluvias 2013 se registró el 22.84% de pases y para secas 16.73%. Para lluvias del 2014, 44.27% de pases y para secas 16.16%. *Balantiopteryx plicata*, *Molossus* sp., *M. megalophylla*, *P. davyi*, *P. parnellii*, *P. personatus*, *Myotis* sp. y *Lasiurus* sp. estuvieron presentes en ambas temporadas de 2013 y 2014 (Tabla 1). Las diferencias en los porcentajes de pases registrados entre temporadas, tuvieron diferencias significativas de acuerdo al MLG (X^2 de Wald =4.50, P = 0.03, Tabla 3).

En cuanto a los eventos de caza (EC), se registraron 154 pases para 3 especies y 4 géneros, los cuales estuvieron presentes en el 3.4% de archivos del total. El género y la especie con más EC fue *Molossus* sp. (n = 103, 66.9%) y *Pteronotus davyi* (n = 8, 5.19%) respectivamente, en contraposición *Myotis californicus* y *Eptesicus* sp. con 1 y 11 (0.65% y 7.14%) tuvieron el menor número de EC; mientras que 6 especies, no registraron EC (Tabla 1).

Se registró el mayor porcentaje de EC en el área DPE (92.2%), en la temporada seca (88.96%) y en el año 2013 (93.50%). A partir del análisis con un MLG, se observaron diferencias significativas para condición (X^2 de Wald=28.49, gl = 1, P = 0.00) y temporadas (X^2 de Wald=56.77, gl=1, p=0.00; Tabla 4).

Horarios de actividad. La representación de la actividad de los murciélagos por horas se agrupó por familia y área dado que mostraba patrones similares por especies y por sitios (Fig. 4). Para el

área DPE, se registró actividad a las 19:00 h y entre las 22:00 y 23 h. En el área FPE, se observaron 2 picos de actividad, a las 19:00 y entre a las 24:00 y 01:00 h. La familia Emballonuridae tuvo escasa representación, por lo que no se observó un patrón definido. La Molossidae tuvo mayor actividad entre las 19:00 y 20:00 h en ambas áreas. La Mormoopidae mostró mayor actividad en el área DPE de las 19:00 a 20:00 horas y de las 22:00 a 23:00 h (Fig. 4a), de manera similar, en el área FPE se registraron 2 picos de actividad (Fig. 4b). La Vespertilionidae mostró actividad en el área DPE a lo largo de la noche, sin picos bien definidos; en contraste en los sitios FPE, se observó un pico a las 19:00 horas. En el análisis de los horarios de actividad, se observó que el área DPE, las 19:00 y 20:00 h acumularon el 18.88 y 11.04% (n=853, 499) de pases respectivamente, mientras que en el área FPE, las 19:00 h acumuló el 17.66% de pases (n=798). A través del análisis de los intervalos de actividad, se encontró que hay diferencias significativas entre los pases registrados por hora ($H = 48.78$, $gl = 7$, $P = 0.0001$).

Discusión

La fauna de murciélagos en esta región está constituida por al menos 70 especies (Briones-Salas et al., 2015), de las cuales aproximadamente el 51 % pertenecen al gremio insectívoro. Las especies y géneros registrados de este gremio en el estudio (n= 17) representan el 36% para la región. Bolívar-Cimé et al. (2016) registraron 20 especies de murciélagos insectívoros en una zona con presencia de parques eólicos colindante a la zona de estudio; de estas, 10 coinciden con este estudio, 3 de nuestros registros no aparecen en sus listas y las especies restantes no se registraron. Esto posiblemente se deba a que el sitio de estudio de los autores antes mencionados, se encuentra con una mayor cobertura vegetal, relativamente más cerca de un bosque tropical caducifolio en buen estado de conservación (Pérez-García et al., 2010).

En sitios con parques eólicos para EE. UU. y Europa, el número de especies registrados mediante detección ultrasónica, es menor que las reportadas aquí (Amorim, 2012, 3 especies; Baerwald y Barclay, 2009, 5 especies; Fiedler, 2002, 6 especies; Minderman et al., 2012, 4 especies). Lo anterior es de esperarse dada la mayor riqueza de especies de la región Neotropical, donde se ubica la zona con parques eólicos estudiada (Jenkins et al., 2013). No obstante, coincide con el número de registros obtenidos en los Chimalapas, Oaxaca, a 35 km al norte del área de estudio (13, 9 especies y 4 géneros; Kraker-Castañeda et al., 2013).

En estudios de la región Neotropical, mediante el método de redes en Brasil, identificaron 10 especies, 7 insectívoras (Barros et al., 2015), mientras que en Puerto Rico se registraron 11 especies, 5 insectívoras (Rodríguez-Durán y Feliciano-Robles, 2015); en ambos estudios el número de especies identificadas es menor a las registradas en este trabajo. Lo anterior se atribuye al sesgo que tienen las redes en la captura de especies, se ha documentado que el uso de detectores de ultrasonido incrementa el registro de especies un 30 a 40 % (MacSwiney et al., 2008; Pech-Canché et al., 2010). Esto resulta importante, si se considera que la mayoría de las especies en las que se han registrado altas tasas de mortalidad por choque con las aspas de los aerogeneradores, pertenecen a especies insectívoras (Bolívar-Cimé et al., 2016; Kunz et al., 2007b). De la misma manera, se han realizado otros trabajos con mamíferos en la región del Istmo de Tehuantepec, como el de Cervantes y Yépez (1995, 26 especies de murciélagos, 8 artropodívoros); y el de López et al. (2009, 28 especies, 9 artropodívoros), que reportan más especies que las de este trabajo, debido a que no sólo consideran registros resultado de trabajo de campo sino también registros de colecciones.

Destaca la presencia de *Pteronotus davyi* y el género *Molossus* como las especies más registradas en este trabajo. *P. davyi*, se ha relacionado a vegetación de bosque (Jung y Kalko, 2011); sin embargo, el área de estudio posee escasa vegetación, la presencia de esta especie

puede atribuirse, a la cercanía (10 km) con un área comunal protegida (Ojo de agua Cerro del Tolistoque), con remanentes de bosque tropical caducifolio en buen estado de conservación y que tiene una cueva que funciona como refugio de mormópidos y embalonúridos (Briones-Salas et al., 2013). Para el caso del género *Molossus*, esto coincide con lo encontrado por otros autores (Jung y Kalko 2010, 2011, Kraker-Castañeda et al. 2013 y Bolívar-Cimé et al. 2016), quienes mencionan que en sitios urbanos, pastizales y con parques eólicos en Gamboa Panamá, Santa María Chimalapas y Juchitán México la actividad de molósidos es alta. Lo anterior se debe a que algunas especies de este género, poseen cierta plasticidad adaptativa a condiciones de perturbación (Jung y Kalko 2011). Además, es posible, que la presencia de parques eólicos permita que se mantengan en la zona, debido a que los miembros de esta familia habitualmente forrajean en áreas abiertas, necesarias para el óptimo funcionamiento de los aerogeneradores (Schnitzler y Kalko, 2001).

La mayor cantidad de registros de especies de las familias Mormoopidae y Molossidae, en los sitios con parques eólicos coincide con lo reportado por otros autores en Brasil y Puerto Rico (Barros et al., 2015; Rodríguez-Durán y Feliciano-Robles, 2015), debido a la afinidad Neotropical de las especies de esas familias; por otro lado, se contrapone con lo encontrado en parques eólicos de la región Neártica donde Vespertilionidae tiene mayor presencia (Amorim et al., 2012; Arnett et al., 2008).

La actividad de los murciélagos medida a través de pases, no mostró diferencias significativas entre áreas, lo que se contrapone con lo esperado al inicio del trabajo. En otros estudios, tampoco se han observado diferencias entre sitios con ciertos niveles de perturbación, como es el caso de lo observado (Kraker-Castañeda et al. 2013) en sitios con selva y pastizales y lo encontrado en áreas con fragmentos de bosque, bosque continuo y huertos con asentamientos humanos, en Veracruz, México (Estrada et al., (2004)

El no encontrar diferencias significativas en la actividad entre condiciones, podría responder a que ambas zonas de estudio (DPE y FPE) se ubican en una matriz de paisaje con agricultura y ganadería con procesos significativos de fragmentación y pérdida en la cobertura vegetal. Estas condiciones se han mantenido desde hace más de 30 años, por lo que actualmente la vegetación nativa representa menos del 50% en la zona (Velázquez et al., 2003; Muñoz et al., 2016). Es posible que estas perturbaciones afectaran de manera importante la composición original de especies y sólo sobrevivan aquellas que se adaptaron a estos cambios. Debido a lo anterior, la presencia de parques eólicos podría no tener grandes repercusiones en la actividad de los murciélagos a diferencia de los cambios en la vegetación (e.g. Jung y Kalko, 2010; 2011). Adicionalmente los resultados del análisis de actividad entre condiciones, sugieren que el paisaje es usado de manera similar para el movimiento y alimentación por las poblaciones de artropodívoros. Sin embargo, no se descarta que exista mortandad debido a choques con turbinas, y aunque en este estudio no se realizó búsqueda de cadáveres de murciélagos, en un parque eólico cercano al área de este estudio se registró una tasa de mortandad de 2.18-20.20 individuos por turbina por año (Bolívar-Cimé et al., 2016).

En el caso de las temporadas, la mayor actividad se presentó durante la temporada de lluvias, es posible que esto se deba a que durante la temporada lluviosa existe una mayor cantidad de alimento. Lo que se contrapone con lo encontrado en otros estudios (MacSwiney et al. 2009; López-González et al, 2016), donde registraron una mayor actividad durante la temporada seca, pero en sitios con presencia de cuerpos de agua, que puede atribuirse a la necesidad de hidratación de los murciélagos y disponibilidad de alimento.

Por otro lado, se obtuvo un alto porcentaje de eventos de caza ($n= 154$), comparado con lo obtenido en granjas del Reino Unido (1,747 pases, 47 eventos de caza, Wickramasinghe et al., 2003) y en la Isla de Gotland en el mar Báltico (6 pases, 0 eventos de caza, Rydell y

Wickman, 2015). En contraposición, se obtuvo un bajo porcentaje de eventos de caza, si se compara con lo obtenido en sitios con cenotes y sin ellos en la región Neotropical (2111 pases, 665 eventos de caza en total, MacSwiney et al., 2009). A pesar de que el área DPE, registró casi la totalidad de eventos de caza y que la diferencia entre condiciones es significativa, el bajo número de estos en relación con otras regiones, sugiere que la zona es usada en mayor medida como un área de paso de las especies hacia otros sitios con mayores recursos, como canales y/o ríos. Esto, porque los sitios de grabación, no estuvieron cercanos o en cuerpos de agua, condición, que ha sido reportada de importancia para los murciélagos, por la presencia de insectos de algunos de los cuales se alimentan (Fiedler, 2002).

Los horarios de actividad de los murciélagos en zonas con parques eólicos, no han sido medidos anteriormente en el Neotrópico. Los horarios de la familia Vespertilionidae y Molossidae estuvieron acotados a las primeras horas de la noche, lo que coincide con lo reportado por Agosta et al. (2005), en refugios en Maryland y Pennsylvania en E.U.A. En cuanto a la familia Mormoopidae, se observaron dos picos de actividad, entre 22:00 y 23:00 h y entre 12:00 y 01:00 h. Es probable que un análisis detallado de la composición de la dieta de estas familias, pudiera mostrar alguna relación con este comportamiento. Las diferencias de actividad entre horas, coinciden con lo que se ha encontrado para la actividad de algunos insectos de los cuales se alimentan los murciélagos de estas familias (Rydell et al., 1996). Por tanto, y al considerar que existe mortalidad DPE de acuerdo a lo encontrado en la región (Bolívar-Cimé et al., 2016) y que la actividad de murciélagos en el área de estudio se concentra en las primeras horas del atardecer y la noche (19:00 a 20:00 h y de 22:00 a 23:00 h), se sugiere la programación de altos al funcionamiento de los aerogeneradores en estos horarios, lo que podría beneficiar a las poblaciones de murciélagos estudiadas.

Finalmente, se considera que otros factores pueden influir sobre la actividad y eventos de caza, por mencionar algunos: variables ambientales (viento, humedad y temperatura; Erickson y West, 2002; Lewis, 1993) y configuración del paisaje (presencia de caminos, cuerpos de agua, fragmentos de bosque, cultivos; Ávila-Flores y Fenton, 2005; Burles et al., 2009). Lo que muestra futuras líneas de investigación en la zona, para descartar los posibles efectos de los aerogeneradores sobre las especies de murciélagos insectívoros.

Agradecimientos

A las autoridades de los municipios de Juchitán de Zaragoza, Santo Domingo y Unión Hidalgo por permitirnos el acceso a sus terrenos. S. Peláez, Y. Santiago, M. Gómez, G. Medina, W. Juárez, O. Velasco, apoyaron el trabajo de campo y procesamiento de archivos. M. Lavariega, C. MacSwiney, R. Ávila-Flores y dos revisores anónimos realizaron comentarios y sugerencias sobre las primeras versiones del documento. M. Lavariega y C. Mases apoyaron en las pruebas estadísticas. Se agradece el apoyo de C. MacSwiney en la identificación de los llamados de *Eumops underwoodi*. El estudio fue apoyado parcialmente por la Secretaría de Investigación y posgrado del IPN (SIP: 20140995) y por Acciona Energía México, S. de R.L. de C.V. MG-L agradece a CONACyT por la beca no. 351731, para la realización de sus estudios de doctorado y al IPN por la beca BEIFI. MB-S fue apoyado por la Comisión de Operación y Fomento a las Actividades Académicas (COFAA), por el Programa de Estímulos al Desempeño Académico (EDI) y por el Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

Referencias

Agosta, S. J., Morton, D., Marsh, B. D. y Kuhn, K. M. (2005). Nightly, seasonal, and yearly patterns of bat activity at night roosts in the Central Appalachians. *Journal of Mammalogy*, 86, 1210-1219.

- Álvarez, T., Álvarez C., S. T. y López V., J.C. (1994). *Claves para murciélagos mexicanos*. México, D. F.: Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S. C. y Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.
- Amorim, F., Rebelo, H. y Rodrigues, L. (2012). Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the mediterranean region. *Acta Chiropterologica* ,14, 439-457.
- Anthony, E. L. (1988). Age determination in bats. En T. H. Kunz (Ed.), *Ecological and behavioral methods for the study of bats* (47-58). Washington D. C.: Smithsonian Institution Press.
- Arnett, E. B., Brown, W. K., Erickson, W. P., Fiedler, J. K., Hamilton, B. L., Henry, T. H., Jain, A., Johnson, G. D., Kerns, J., Koford, R. R., Nicholson, C. P., O'Connell, T. J., Piorkowski, M. D. y Tankersley, R. D. (2008). Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management* ,72, 61-78.
- Atienza, J. C., Martín Fierro, I., Infante O., Valls J. y Domínguez, J. (2011). Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0). Reporte. SEO/BirdLife, Madrid.
- Ávila-Flores, R. y Fenton, M. B. (2005). Use of spatial feature by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of mammalogy* ,86, 1193-1204.
- Bader, E., Jung, K., Kalko, E. K. V., Page, R. A., Rodriguez, R. y Sattler, T. (2015). Mobility explains the response of aerial insectivorous bats to anthropogenic habitat change in the Neotropics. *Biological Conservation*,186, 97-106.

- Baerwald, E. F. y Barclay, R. M. R. (2009). Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *Journal of Mammalogy* ,90, 1341-1349.
- Barros, M. A. S., Gastal de M., R. y Rui, A. M. (2015). Species composition and mortality of bats at the Osório Wind Farm, southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* ,1, 1-9.
- Bolívar-Cimé, B., Bolívar-Cimé, A., Cabrera-Cruz, S. A., Muñoz-Jiménez, Ó. y Villegas-Patraca, R. (2016). Bats in a tropical wind farm: species composition and importance of the spatial attributes of vegetation cover on bat fatalities. *Journal of Mammalogy* ,97, 1197-1208.
- Briones-Salas, M., Cortés-Marcial, M. y Lavariega, M. C. (2015). Diversidad y distribución geográfica de los mamíferos terrestres del estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* ,86, 685-710.
- Briones-Salas, M., Peralta-Pérez, M y García-Luis, M. (2013). Acoustic characterization of new species of bats for the State of Oaxaca, Mexico. *Therya* ,4, 15-32.
- Burles, D. W., Brigham, R. M., Ring, R. A. y Reimchen, T. E. (2009). Influence of weather on two insectivorous bats in a temperate Pacific Northwest rainforest. *Canadian Journal of Zoology* ,87, 132-138.
- Cervantes, F. A. y Yopez L., L. (1995). Species richness of mammals from the vicinity of Salina Cruz, coastal Oaxaca, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* ,66, 113-122.
- Colwell, R. K. 2009. EstimateS ver. 8.2. Recuperado el 15 de noviembre, 2015 de: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS/EstimateSPages/AboutEstimateS.htm>

- Cryan, P. M. y Barclay, R. M. R. (2009). Causes of Bats Fatalities at Wind Turbines: Hypotheses and Predictions. *Journal of Mammalogy* ,90, 1330-1340.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2016). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado el 21 de noviembre, 2015 de: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia52/HTML/Articulo06.htm>
- Duffy, A. M., Lumsden, L. F., Caddle, C. R., Chick, R. R. y Newell G. R. (2000). The efficacy of Anabat ultrasonic detectors and harp traps for surveying microchiropterans in south-eastern Australia. *Acta Chiropterologica* ,2, 127-144.
- Erickson, J. L. y West, S. D. (2002). The influence of regional climate and nightly weather conditions on activity patterns of insectivorous bats. *Acta Chiropterologica* ,4, 17-24.
- Elliott, D., Schwartz, M., Scott, G., Haymes, S., Heimiller, D. y George, R. (2004). Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca. Reporte. Laboratorio Nacional de Energía renovable. E. U. A.
- Escalante, T., Rodríguez, G. y Morrone, J. (2004). The diversification of Neartic mammals in the Mexican transition zone. *Biological Journal of the Linnean Society* ,83, 327-339.
- Estrada, A., Jiménez, C., Rivera, A., y Fuentes, E. (2004). General bat activity measured with an ultrasound detector in a fragmented tropical landscape in Los Tuxtlas, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation* ,2, 5-13.
- Fenton, M. B. (1970). A technique for monitoring bat activity with results obtained from different environments in southern Ontario. *Canadian Journal of Zoology* ,48, 847-851.

- Fiedler, J. K. (2002). Bat activity and mortality at Buffalo Mountain Windfarm, eastern Tennessee. Tesis doctoral. University of Tennessee. Knoxville, E.U.A.
- Frick, W. F. (2013). Acoustic monitoring of bats, considerations of options for long-term monitoring. *Therya* ,4, 69-78.
- Gannon, W. L., O'Farrell, M. J., Corben, C. y Bedrick, E. J. (2004). Call character lexicon and analysis of field recorded bat Echolocation calls. En J. A. Thomas, C. F. Moss, y M. Vater (Eds.), *Echolocation in bats and dolphins* (478-484). Chicago, Illinois, USA: University of Chicago Press.
- Gannon, W. L., Sherwin, R. E., DeCarvalho, T. N. y O'Farrell, M. J. (2001). Pinnae and echolocation call differences between *Myotis californicus* and *M. ciliolabrum* (Chiroptera Vespertilionidae). *Acta Chiropterologica* ,3, 77-91.
- Griffin, D. R., Webster, F. A. y Michael, C. R. (1960). The echolocation of flying insects by bats. *Animal Behaviour* ,8, 141-154.
- Hayes, M. (2013). Bats killed in large numbers at United States wind energy facilities. *BioScience* ,63, 975-979.
- Henestroza, O. R. (2008). Desarrollo del proyecto eólico en la región del Istmo de Tehuantepec. *Investigación y Ciencia de la Universidad de Aguascalientes* ,42, 18-21.
- Horn, J. W., Arnett, E. B. y Kunz, T. H. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *Journal of Wildlife Management* ,72, 123-132.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). Mapas de Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie V. México. Recuperado el 15 de enero de 2016 de:

<http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/mapas-de-uso-del-suelo-y-vegetacion-escala-1-250-000-serie-v-mexico>

- Jenkins, C. N., Pimm, S. L. y Joppa, L. N. (2013). Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* ,110, E2602-E2610
- Johnson, G. D., Matthew, K. P., Wallace, P. E., y Dale, M. (2004). Bat activity, composition, and collision mortality at a large wind plant in Minnesota. *Wildlife Society Bulletin* ,32, 1278-1288.
- Jung, K. y Kalko, E. K. V. (2010). Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy* , 91, 144-153.
- Jung, K. y Kalko, E. K. V. (2011). Adaptability and vulnerability of high flying Neotropical aerial insectivorous bats to urbanization. *Diversity and Distributions* ,17, 262-274.
- Jung, K., Kalko, E. K. V. y Von Helversen, O. (2007). Echolocation calls in Central American emballonurid bats signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology* ,272, 125-137.
- Kraker-Castañeda, C., Santos-Moreno, A. y García-García, J. L. (2013). Riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros aéreos en una selva tropical y pastizales en Oaxaca, México. *Mastozoología Neotropical* ,20, 255-267.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Cooper, B. M., Erickson, W. P., Larkin, R. P., Mabee, T., Morrison, M. L., Strickland, M. D. y Szewczak, J. M. (2007a). Assessing Impacts of Wind-Energy

- Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document. *Journal of Wildlife Management* ,71, 2449-2486
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W. y Tuttle, M. D. (2007b). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment* ,5, 315-324.
- Lewis, S. E. (1993). Effect of climatic variation on reproduction by pallid bats (*Antrozous pallidus*). *Canadian Journal of Zoology* ,71, 1429-1433.
- López, J. A., Lorenzo, C., Barragán, F. y Bolaños, J. (2009). Mamíferos terrestres de la zona lagunar del istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* ,80, 491-505.
- López-González, C., Lozano, A., Gómez-Ruiz, E. P. y López-Wilchis, R. 2016. Activity of insectivorous bats is related to water availability in a highly modified Mexican temperate forest. *Acta Chiropterologica* ,18, 409-421.
- MacSwiney G., M. C., Clarke, F. M., Racey, P. A. (2009). 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 G., M.C., Bolívar C., B., Clarke, F. M. y Racey, P. A. (2008). Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica* ,11, 139-147.
- Mangeaud, A. y Videla, M. (2005). En busca de la independencia perdida: la utilización de Modelos Lineales Generalizados Mixtos en pruebas de preferencia. *Ecología austral* ,15, 199-206.

- McKinney, M. L. (2002). Urban, Biodiversity, and Conservation. *BioScience* ,52, 883-890.
- Medellín, R. A. (1993). Estructura y diversidad de una comunidad de murciélagos en el trópico húmedo mexicano. En R. A. Medellín, y G. Ceballos (Eds.), *Avances en el estudio de los mamíferos de México* (pp. 333-354). Ciudad de México, México: Asociación Mexicana de Mastozoología A. C.
- Medellín, R. A., Arita, H. T. y Sánchez, Ó. (2007). *Identificación de los murciélagos de México, Clave de campo*. México, D.F.: Instituto de Ecología, UNAM.
- Milne, D. J., Armstrong, M., Fisher, A., Flores, T. y Pavey, R. (2004). A comparison of three survey methods for collecting bat echolocation calls and species-accumulation rates from nightly Anabat recordings. *Wildlife Research* ,31, 57-63.
- Minderman, J., Pendlebury, C. J., Pearce-Higgins, J. W. y Park, K. J. (2012). Experimental evidence for the effect of small wind turbine proximity and operation on bird and bat activity. *PLoS ONE* ,7, e41177.
- Moreno, C. E. y Halfpeter, G. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* ,37, 149-158.
- Moryarty P., Honnery D. (2012). What is the global potential for renewable energy? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* ,16, 244-252.
- Muñoz J., O., Villegas P., R., MacSwiney G., M. C. y López-Acosta, J. C. (2016). Importancia de los elementos de un paisaje antropizado para la retención de diversidad de murciélagos en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. En A. Ramírez-Bautista y R. Pineda-López (Eds.), *Fauna Nativa en ambientes antropizados* (pp. 115-122). Querétaro: Red ambientes antropizados (REFAMA).

- O'Farrell, M. J. (1997). Use of echolocation calls for the identification of free-flying bats. *Transactions of the Western Section of the Wildlife Society* ,33, 1-8.
- O'Farrell, M. J. y Miller, B. W. (1997). A new examination of echolocation calls of some neotropical bats (Emballonuridae and Mormoopidae). *Journal of Mammalogy* ,78, 954-963.
- O'Farrell, M. J., Miller, B. W., y Gannon, W. L. (1999). Qualitative identification of free-flying bats using the anabat detector. *Journal of Mammalogy* ,80, 11-23.
- Orozco-Lugo, L., Guillén-Servent, A., Valenzuela-Galván, D. y Arita, H. T. (2013). Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya* ,4, 33-46.
- Pech-Canché, J. M., MacSwiney G., M. C. y Estrella, E. (2010). Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya* ,1, 221-228.
- Pérez-García, E., Meave, J. y Salas, S. (2010). Nizanda, Oaxaca. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dirzo. (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las Selvas secas del Pacífico de México* (pp. 538-542). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Ramírez-Pulido, J., González-Ruiz, N., Gardner, A. L., y Arroyo-Cabrales, J. (2014). *List of recent land mammals of México*. Lubbock, Texas: Museum of Texas Tech University.
- Rodríguez, E., Tiscornia, G. y Olivera, L. (2009). *Aves y mamíferos voladores de Sierra Caracoles*. Informe final. Uruguay.

- Rodríguez-Durán, A. y Feliciano-Robles, W. (2015). Impact of wind facilities on bats in the Neotropics. *Acta Chiropterologica* ,17, 365-370.
- Rydell, J. y Wickman, A. (2015). Bat Activity at a Small Wind Turbine in the Baltic Sea. *Acta Chiropterologica* ,17, 359-364.
- Rydell, J., Arita, H. T., Santos, M. y Granados, J. (2002). Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico. *Journal of Zoology* ,257, 27-36.
- Rydell, J., Entwistle, A. y Racey, P. (1996). Timing of Foraging Flights of Three Species of Bats in Relation to Insect Activity and Predation Risk. *Oikos* ,76, 243-252.
- Segura-Trujillo, C., W. Z. Lidicker, Jr., y Alvarez-Castañeda, S. T. 2016. New perspectives on trophic guilds of arthropodivorous bats in North and Central America. *Journal of Mammalogy* , 97, 644-654.
- SENER (Secretaría de Energía). (2016). Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE). Secretaría de Energía. Recuperado el 21 de marzo, 2016 de: <http://inere.energia.gob.mx>.
- Schnitzler, H. U. y Kalko, E. K. V. (2001). Echolocation by Insect-Eating Bats. *BioScience* ,51, 557-569.
- Stahlschmidt, P. y Brül, C. A. (2012). Bats as bioindicators – the need of a standardized method for acoustic bat activity surveys. *Methods in Ecology and Evolution* ,3, 503-508.
- Szewczak, J. M. (2000). A tethered zip-line arrangement for reliably collecting bat echolocation reference calls. *Bat Research News* ,41, 142.

- Thomas, D. W. (1988). The distribution of bats in different ages of Douglas-fir forest. *Journal of Wildlife Management* ,52, 619-626.
- Trejo, I. (2004). Clima. En A. J. García M., M. J. Ordoñez y M. A. Briones S. (Eds.), Biodiversidad de Oaxaca (pp. 68-85). Oaxaca, México: Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund.
- Velázquez, A., Duran. E., Ramírez, I. Masa, J.-F., Boccob, G., Ramírez G. y Palacio J-L. (2003). Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* ,13, 175–184.
- Walters, C. L., Freeman, R., Collen, A., Dietz, C., Fenton, M. B., Jones, G., Obrist, M. K., Puechmaille, S., Sattler, T., Siemers, B. M., Parsons, S. y Jones, K. E. (2012). A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology*, 49, 1064-1074.
- Weller, T. J. y Zabel, C. J. (2002). Variation in Bat Detections due to Detector Orientation in a Forest. *Wildlife Society Bulletin* ,30, 922-930.
- Wickramasinghe, L. P., Harris, S., Jones, G. y Vaughan, N. (2003). Bat activity and species richness on organic and conventional farms: Impact of agricultural intensification. *Journal of Applied Ecology*, 40, 984-993.
- Williams G., K. y Perfecto, I. (2011). Ensemble Composition and Activity Levels of Insectivorous Bats in Response to Management Intensification in Coffee Agroforestry Systems. *PLoS ONE* ,6, e16502.

Zolotoff, J. M., Cisneros, C., Medina, A. y Mendieta, R. (2012). Diagnóstico del estado de composición de las poblaciones de aves (residentes - migratorias) y murciélagos en el complejo eólico de Eolo de Nicaragua, al sur de la ciudad de Rivas, Nicaragua – II fase. Reporte. Fundación COSIBOLCA. Nicaragua.

Tabla 1. Registro de especies de murciélagos insectívoros, mediante detección acústica (A; número de archivos) y redes de niebla (RN; número de individuos), en sitios con presencia y ausencia de parques eólicos en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Los números entre paréntesis representan los eventos de caza (EC). LL = Temporada lluviosa; S = Temporada seca. El arreglo taxonómico siguió a Ramírez-Pulido et al. (2014).

	Método	Dentro de Parques Eólicos (DPE)				Fuera de Parques Eólicos (FPE)				Total
		Ll - 2013	S - 2013	Ll - 2014	S - 2014	Ll - 2013	S - 2013	Ll - 2014	S - 2014	
Familia Emballonuridae										
<i>Balantiopteryx io</i>	A	0	2 (2)	1	0	0	0	0	0	3 (2)
<i>Balantiopteryx plicata</i>	A	7	7	4	14	2	8	2	6	50
Familia Molossidae										
<i>Eumops underwoodi</i>	A	1	1	0	1	0	0	0	0	3
<i>Molossus</i> sp.	A	193 (3)	151 (88)	218 (2)	102 (1)	52 (4)	142(1)	215 (4)	146	1219 (103)
<i>Molossus molossus</i>	RN	0	1	1	2	0	2	0	1	7
<i>Molossus rufus</i>	RN	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Promops centralis</i>	A	2	0	0	3	0	0	0	2	7
Familia Mormoopidae										
<i>Mormoops megalophylla</i>	A	18	16	0	1	1	2	0	1	39
	RN	2	2	0	2	0	45	0	0	51
<i>Pteronotus davyi</i>	A	451(1)	143(5)	535	51	85	56	709(2)	178	2208 (8)

	RN	1	0	0	0	0	9	2	0	12
<i>Pteronotus parnellii</i>	A	16	4	35	7	1	44	1	10	118
	RN	11	0	5	2	0	1	0	0	19
<i>Pteronotus personatus</i>	A	11	1	1	1	0	0	0	0	14
	RN	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Familia Vespertilionidae										
<i>Eptesicus</i> sp.	A	0	11(11)	27	4	0	0	0	0	42 (11)
<i>Lasiurus</i> sp.	A	21	31(11)	15	34(1)	15	1	12	5	134(12)
<i>Lasiurus intermedius</i>	RN	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Myotis</i> sp.	A	61	116(17)	72	42	32	20	152	122	617(17)
<i>Myotis californicus</i>	A	3	0	0	0	60(1)	0	1	0	64(1)
<i>Rhogeessa parvula</i>	RN	2	0	0	2	0	1	0	3	8
Individuos RN	RN	16	3	6	9	0	59	2	5	100
Pases (EC)	A	784(4)	483(134)	908(2)	260(2)	248(5)	273(1)	1092(6)	470(0)	4518(154)

Tabla 2. Abundancia relativa (AR, individuos.redes/h) de murciélagos capturados en redes de niebla y el promedio ($\bar{X} \pm SD$) de 3 parámetros medidos en los llamados de ecolocalización de las especies y géneros identificados a través del detector ultrasónico Anabat SD2 en el trópico Mexicano. Dur = Duración, Fmax = Frecuencia máxima, Fmin = Frecuencia mínima, Fmean = Frecuencia media, Tk = Tiempo de inicio del llamado a la inflexión o rodilla y Fk = Frecuencia de la inclinación o rodilla. El arreglo taxonómico siguió a Ramírez-Pulido et al. (2014).

Espece	AR	Dur (ms)	Fmax (kHz)	Fmin (kHz)	Fmean (kHz)	Tk (kHz)	Fk (ms)
Familia Emballonuridae							
<i>Balantiopteryx io</i>	0	6.42±1.87	52.87±1.05	45.68±1.26	50.68±0.66	0.41±0.39	52.30±0.69
<i>Balantiopteryx plicata</i>	0	7.24± 1.52	39.64± 0.33	38.41±0.51	39.09±0.34	0.24±0.22	39.54±0.32
Familia Molossidae							
<i>Eumops underwoodi</i>	0	9.72±1.70	15.43±1.65	11.94±0.50	13.25±0.85	2.51±1.28	13.82±0.82
<i>Molossus</i> sp.	0	15.15±2.31	27.34±0.80	22.96±1.17	25.36±0.89	1.03±0.80	26.95±0.93
<i>Molossu molossus</i>	0.000058	0	0	0	0	0	0
<i>Molossus rufus</i>	0.000008	0	0	0	0	0	0
<i>Promops centralis</i>	0	64.96±2.24	25.95±0.34	19.83±0.23	22.43±0.09	47.59±5.24	24.56±0.84
Familia Mormoopidae							
<i>Mormoops megalophylla</i>	0.000423	3.39±1	55.86±1.24	49.79±1.42	53.23±1.8	0.22±0.1	55.18±0.81
<i>Pteronotus davyi</i>	0.000099	5.69±0.59	72.26±0.49	59.58±0.69	66.46±0.74	2.25±1.71	66.69±4.75
<i>Pteronotus parnellii</i>	0.000157	27.47±3.01	64.28±0.34	59.11±1.70	63.80±0.36	2.11±0.86	64.05±0.30

<i>Pteronotus personatus</i>	0.000008	2.01±1.37	80.62±3.90	72.69±7.61	76.14±5.90	0.51±0.63	76.86±7.04
Familia Vespertilionidae							
<i>Eptesicus</i> sp.	0	10.93±0.25	41.39±0.81	30.46±0.42	33.67±0.35	4.46±0.62	33.86±0.76
<i>Lasiurus</i> sp.	0	10.21±1.33	34.47±1.48	27.79±0.93	29.69±1.05	3.79±1.04	30.04±0.99
<i>Lasiurus intermedius</i>	0.000008	0	0	0	0	0	0
<i>Myotis</i> sp.	0	3.58±0.81	70.94±9.22	41.65±2.17	50.02±3.05	2.25±0.57	46.05±2.87
<i>Myotis californicus</i>	0	5.24±0.83	79.51±3.42	52.80±0.79	59.85±1.56	2.83±0.57	56.59±1.32
<i>Rhogeessa parvula</i>	0.000066	0	0	0	0	0	0

Tabla 3. Estimación de parámetros con un Modelo Lineal Generalizado de distribución Poisson.

Condición A: dentro de parques eólicos, Condición B: fuera de parques eólicos. 1) Temporada de lluvias, 2) Temporada de secas. a. Definido en cero porque este parámetro es redundante.

Parámetro	B	Error estándar	95% de intervalo de confianza de Wald		Contraste de hipótesis		
			Inferior	Superior	X ² de Wald	gl	Sig.
(Interceptación)	4.045	0.3017	3.453	4.636	179.771	1	0.000
[Condicion=A]	-0.537	0.3378	-1.199	0.125	2.527	1	0.112
[Condicion=B]	0 ^a						
[Temporada=1]	0.713	0.3361	0.054	1.372	4.503	1	0.034
[Temporada=2]	0 ^a						

Tabla 4. Estimación de parámetros con un Modelo Lineal Generalizado de distribución Poisson para eventos de caza (EC). Condición A: dentro de parques eólicos, Condición B: fuera de parques eólicos. 1) Temporada de lluvias, 2) Temporada de secas. a. Definido en cero porque este parámetro es redundante.

Parámetro	B	Error estándar	95% de intervalo de confianza de Wald		Contraste de hipótesis		
			Inferior	Superior	X ² de Wald	Gl	Sig.
(Interceptación)	0.831	0.1707	0.497	1.166	23.725	1	0.000
[Condición=A]	0.970	0.1818	0.614	1.327	28.498	1	0.000
[Condición=B]	0 ^a						
[Temporada=1]	-1.183	0.1570	-1.491	-0.875	56.778	1	0.000
[Temporada=2]	0 ^a						

Figura 1. Localización de las áreas de estudio dentro de parques eólicos (DPE) y fuera de parques eólicos (FPE) en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México.

Figura 2. Espectrogramas de las especies registradas a través del detector ultrasónico Anabat SD2 en el área DPE y FPE en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Visualización de espectrogramas, eje “y” en kiloHertz (kHz), eje “x” en tiempo (10ms). a) familia Emballonuridae, *Balantiopteryx io*: Bio, *Balantiopteryx plicata*: Bpli; familia Molossidae, *Eumops underwoodi*: Eund, *Molossus* sp: Msp, *Promops centralis*: Pcen. b) familia Mormoopidae, *Mormoops megalophylla*: Mmeg, *Pteronotus davyi*: Pdav, *Pteronotus parnellii*: Ppar, *Pteronotus personatus*: Pper; familia Vespertilionidae, *Eptesicus* sp: Esp, *Lasiurus* sp: Lsp, *Myotis* sp: Myosp, *Myotis californicus*: Mcal.

Figura 3. Curva de acumulación de especies por condición (DPE y FPE) en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. a) Muestreo a través de detección ultrasónica. b) Muestreo a través de redes de niebla. Singletons: especie registradas en 1 ocasión, Doubletons: especie registradas en 2 ocasiones.

Figura 4. Horarios de actividad de las familias de murciélagos insectívoros en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. a) sitios DPE y b) sitios FPE.

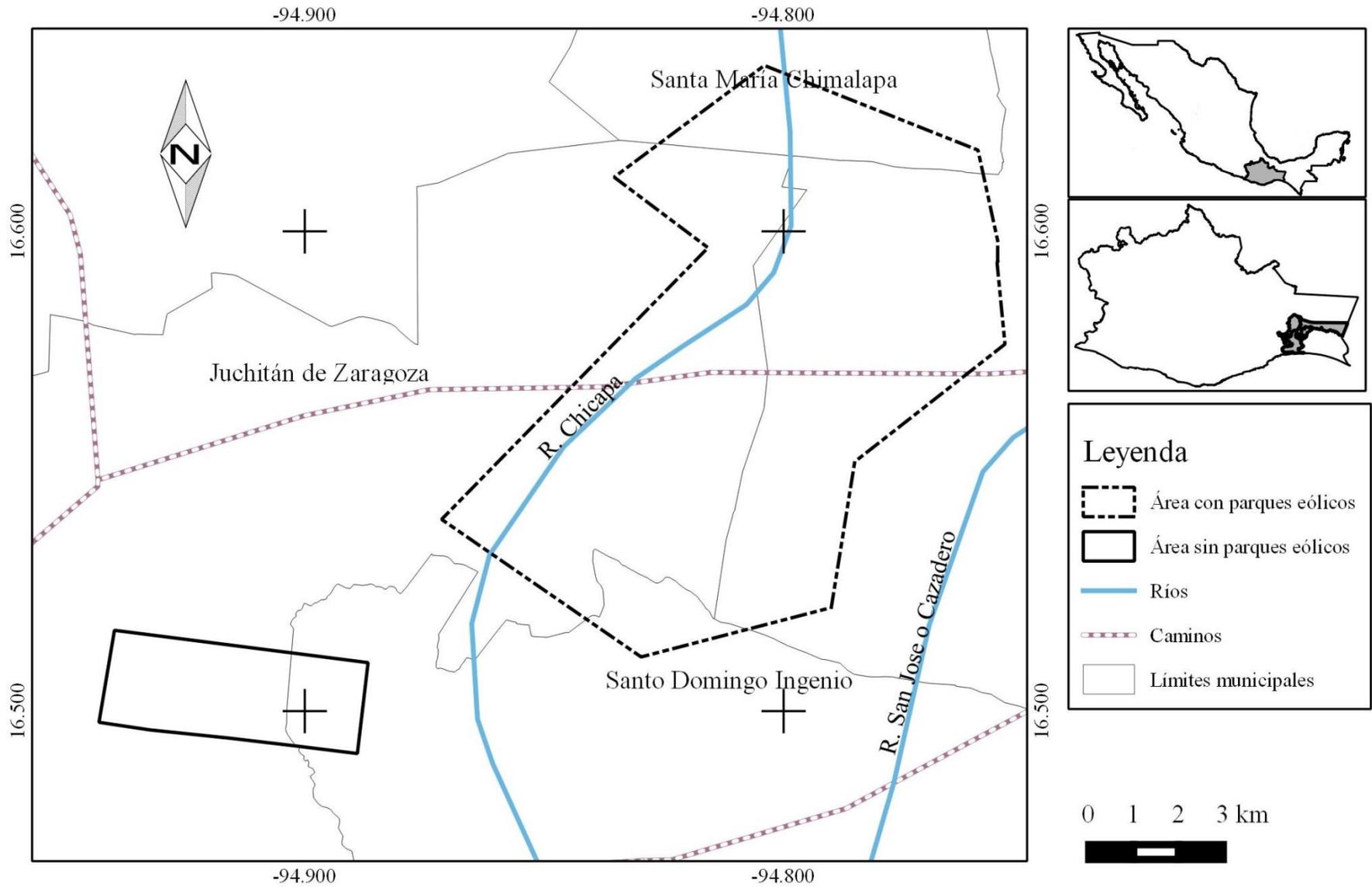


Figura 1.

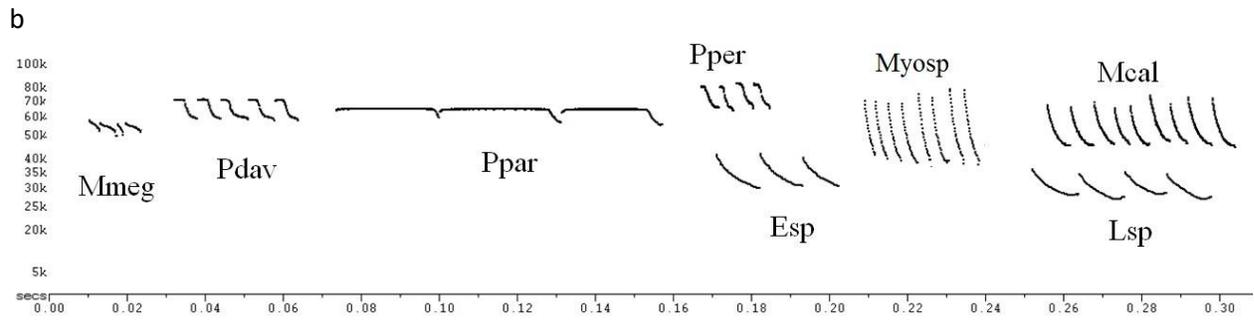
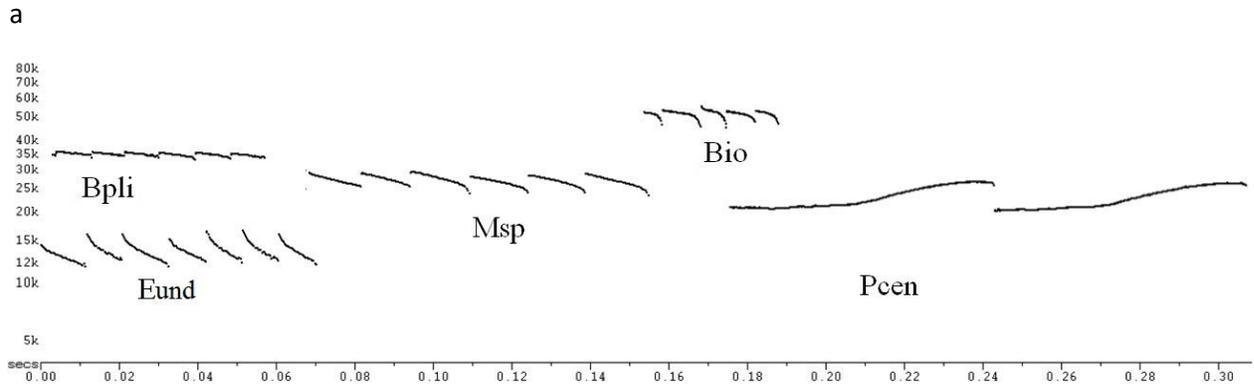


Figura 2.

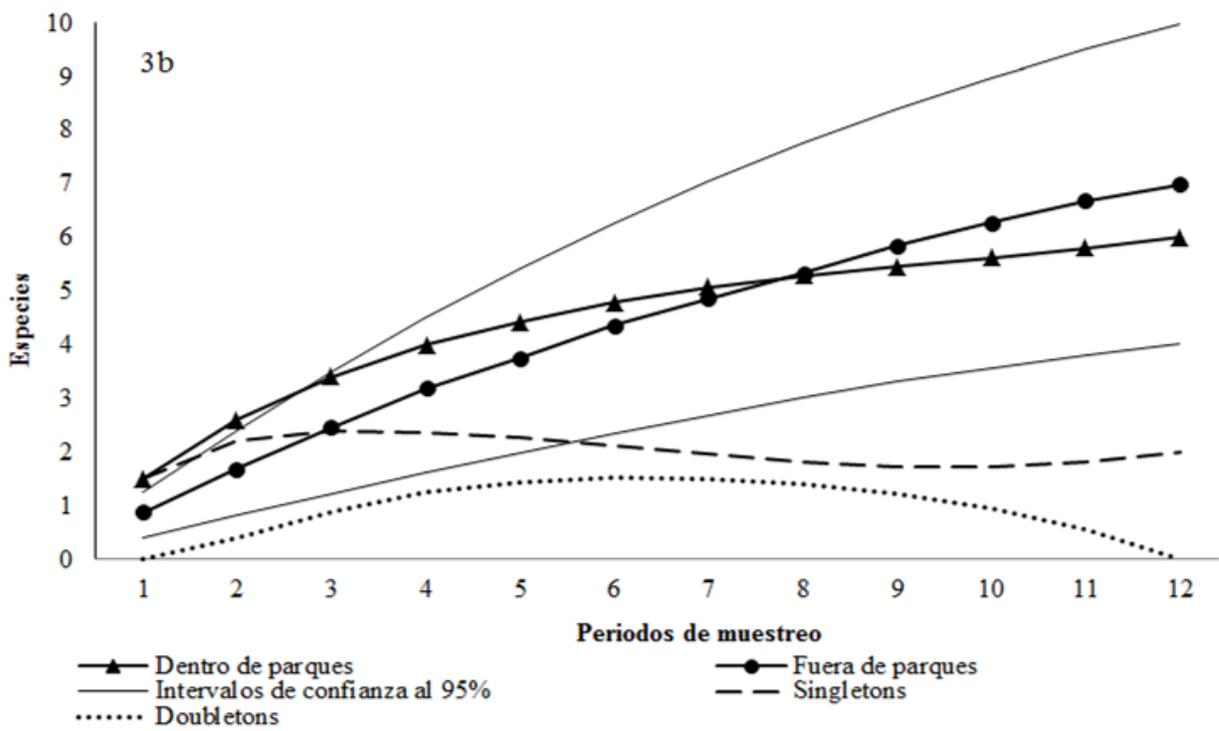
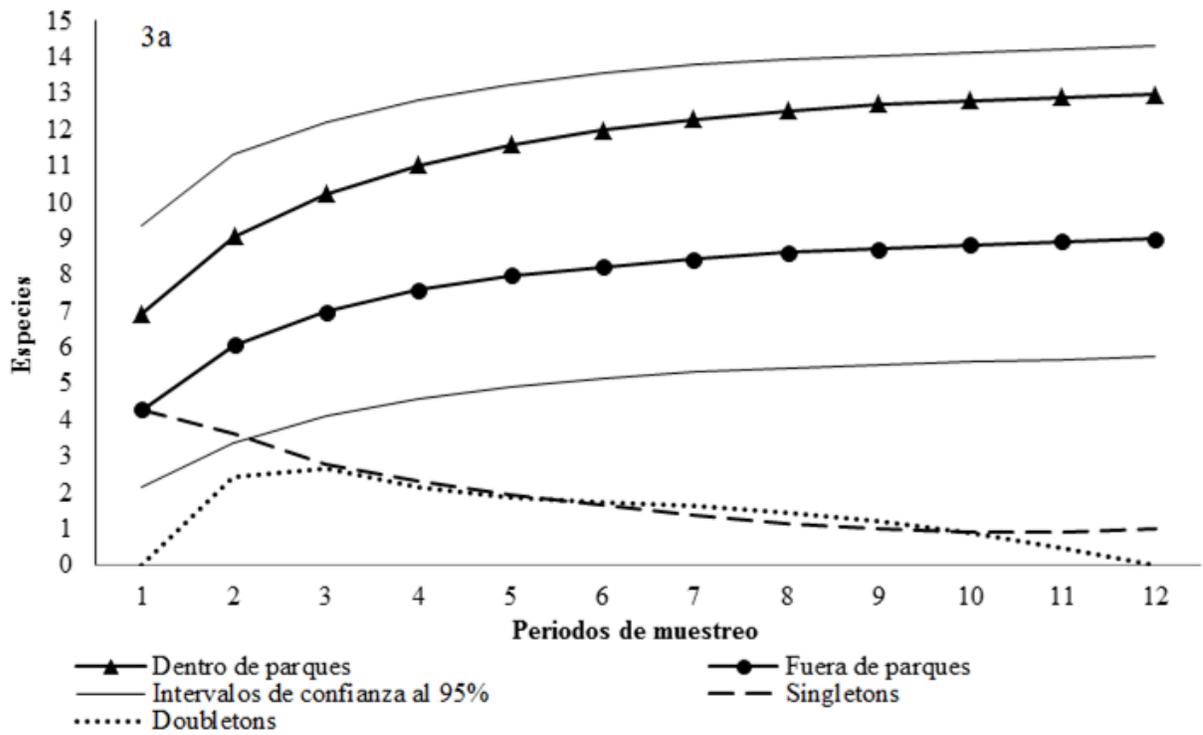
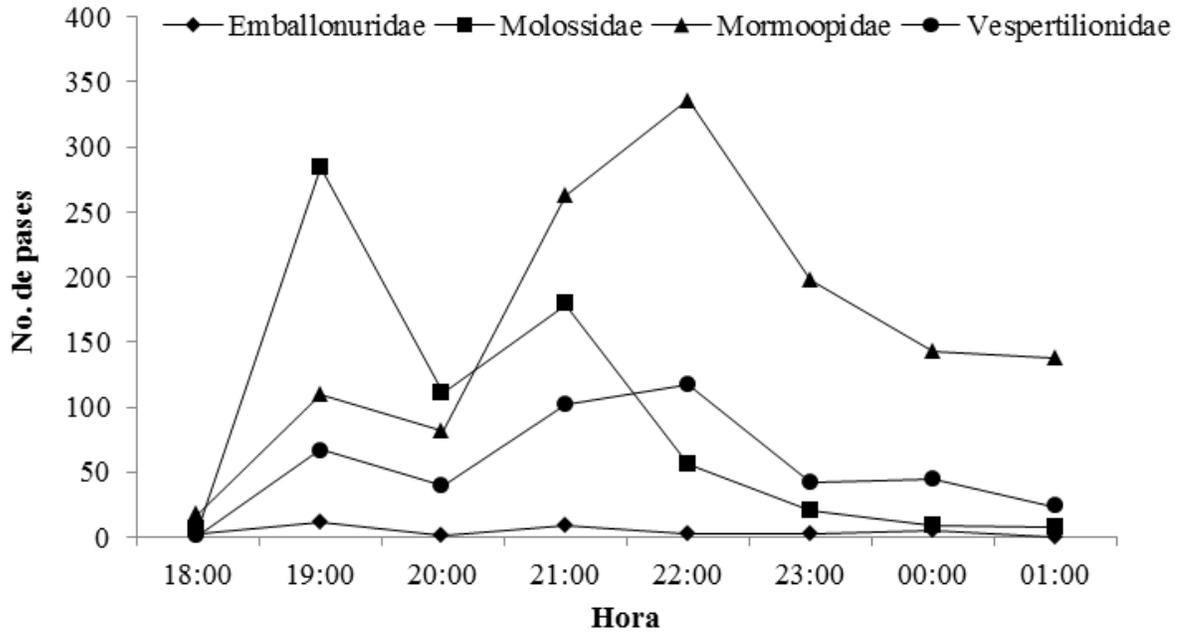


Figura 3.

a



b

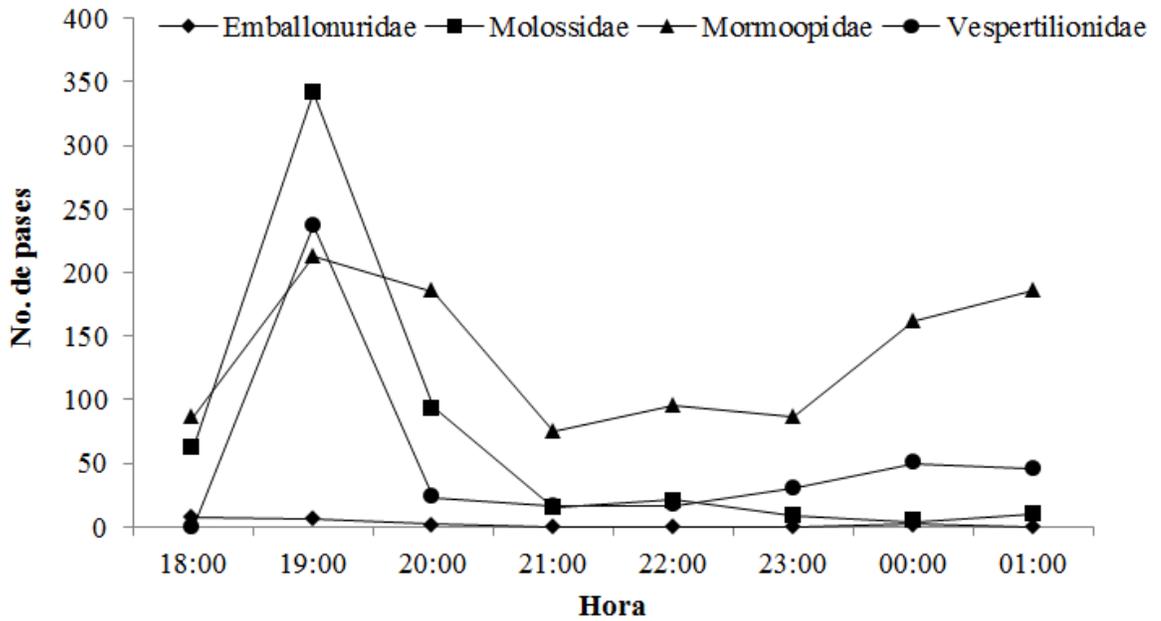


Figura 4.

CAPÍTULO IV. DIVERSIDAD DEL ENSAMBLE DE MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS EN SITIOS DE PRODUCCIÓN EÓLICA EN EL TRÓPICO MEXICANO

Diversidad del ensamble de murciélagos insectívoros en sitios de producción eólica en el trópico mexicano

Miguel Briones-Salas¹, Margarita García-Luis¹ y Claudia E. Moreno².

¹Laboratorio de Vertebrados Terrestres (Mastozoología), Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-Oaxaca), Instituto Politécnico Nacional. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C. P. 71230. Correos electrónicos: margarita@garcialuis.net, mbriones@ipn.mx*

²Centro de Investigaciones Biológicas, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Resumen. Este estudio analizó la diversidad y similitud de las especies de murciélagos insectívoros en sitios con parques eólicos y sitios sin ellos. Para esto, se establecieron seis sitios de muestreo, cuatro dentro y dos fuera de áreas con parques eólicos. Se realizó una noche de grabación por sitio durante cada mes, con el Anabat SD1, de marzo a agosto de 2013 y 2014. Se registraron 4,518 pases que fueron empleados en la identificación y el cálculo de pases promedio por hora de nueve especies y cuatro géneros. El número promedio de pases fue significativamente mayor en el Sitio 5 (19.97) que en el resto de sitios. Para todos los sitios, las especies más activas fueron *Pteronotus davyi* y

Molossus sp. La diversidad de orden 0 fue mayor en el sitio 1, la de orden 1 lo fue para el sitio 4 y la de orden 2 lo fue para el sitio 6. La similitud entre sitios fue desde 0.83 hasta 0.99, el sitio 3 fue el de mayor disimilitud. No se encontraron diferencias entre la diversidad de orden 0, 1 y 2, lo que es consistente con la gran similitud entre sitios. Los resultados no son contundentes, sólo sugieren un efecto de la presencia de aerogeneradores en la actividad en el sitio 5 con respecto a los demás sitios, por lo que es necesario continuar con el trabajo para aportar datos más precisos sobre el efecto de estas instalaciones en la zona de estudio.

Palabras clave: Anabat, Istmo de Tehuantepec, detección ultrasónica, diversidad, diversidad verdadera, número efectivo de especie, Chiroptera, ultrasonidos.

Abstract.

This study analyzed the insectivorous bats diversity and similarity by the presence of wind farms and without them. To do this, six sampling sites were established, four inside and two outside areas with wind farms. A recording night was made per site during each month, with Anabat SD1, from March to August 2013 and 2014. There were 4,518 passes that were used in the identification and calculation of average passes per hour of nine species and four genera. The average number of passes was significantly higher in site 5 (19.97) than in other sites. For all sites and per site, the most active species were *Pteronotus davyi* and *Molossus* sp. The diversity of order 0 was greater in the site 1, the order 1 was for the site 4 and the order 2 was for the site 6. The similarity between sites was from 0.83 to 0.99, site 3 was the most dissimilar. No differences were found between order diversity 0, 1 and 2, which is consistent with the great similarity between sites. The results are not conclusive, suggesting only that there is an effect of the presence of wind turbines on the activity in the

site 5 with respect to the others sites, so it is necessary to continue the work to provide more accurate data on the effect of these facilities in the study area.

Key words: Anabat, Tehuantepec Isthmus, ultrasonic detection, diversity, true diversity, Chiroptera, feeding buzz, ultrasound.

Introducción

La diversidad de especies de un sitio, es producto de factores ambientales y biogeográficos y en el caso de la región Neotropical, estos factores le confieren una alta diversidad. En México, la confluencia de la región Neártica y Neotropical en su territorio le confiere una biodiversidad compuesta por especies de ambas afinidades biogeográficas, lo que aumenta su riqueza (Morrone, 2004; Escalante et al., 2005).

Una de las regiones de gran importancia biológica en México, es el Istmo de Tehuantepec, en Oaxaca debido a que es considerada el límite septentrional de la región Neotropical (Morrone, 2004; Escalante et al., 2005). Asimismo, representa una barrera para los grupos biológicos de montaña y de la provincia de Chiapas y es zona de tránsito de especies migratorias de aves y murciélagos; está conformada por los distritos de Juchitán y Tehuantepec (Ceballos et al., 2010). En esta región, se han registrado el 68% del total de especies de quirópteros del estado (Briones-Salas et al., 2015).

Adicionalmente, es una de las zonas de mayor potencial eólico del país y del mundo, con vientos promedio de 7.7- 8.5m/s a 50 m sobre el suelo, calificados como excelentes para la producción de energía eólica (Elliot et al., 2004). Este tipo de energía generada a través de torres de gran altura (de 45 hasta 100 m), es considerada limpia y representa una alternativa a la producción tradicional, debido a que no produce desechos peligrosos ni contribuye al calentamiento global (Henestroza, 2008; Renewable Energy

Policy Network for the 21 st Century, 2010; Atienza et al., 2011), por lo que ha tenido un gran auge en los últimos años. En México, se tienen registrados 31 parques eólicos a la fecha; en Oaxaca, se ubican 25 (80.6% del total del país) con una capacidad de 1,751.47 MW, lo que representa poco más del 68.6% de la producción nacional (AMDEE, 2016).

No obstante, se han registrado algunas consecuencias negativas por el establecimiento y funcionamiento de aerogeneradores, entre las que destacan, causar la muerte de aves y murciélagos por colisiones con las aspas de las torres, ruido audible y ultrasónico, electromagnetismo y vibraciones (Henestroza, 2008; Kunz et al., 2007a; Cryan y Barclay, 2009). Y aunque, se ha documentado que el ruido puede promover que la fauna evite los sitios con tales características, también se ha observado que puede atraer a algunas especies migratorias de murciélagos (Kunz et al., 2007a; Cryan y Barclay, 2009).

Estos mamíferos, son de suma importancia biológica, debido a que representan el segundo orden más diverso después de los roedores y constituyen aproximadamente el 65% del total de especies de este grupo en el mundo (Simmons, 2005), proporcionan diversos servicios ecológicos (Medellín y Gaona, 1999; López y Vaughan, 2004; Cimé-Pool et al., 2006; Gándara *et al*, 2006; Loayaza et al., 2006; Medina et al., 2007).

Sin embargo, los estudios sobre el impacto de los aerogeneradores en la fauna, han estado enfocados a las aves y hasta recientemente se han documentado las afectaciones a los murciélagos (NAS, 2007). En América, las investigaciones sobre el tema revisan principalmente el número de cadáveres por aerogenerador por año, por MW generado y/o evaluaciones de actividad a través de cámaras infrarrojas y detectores ultrasónicos con el fin de determinar las diferencias de actividad por temporada y correlacionarlo con el número de cadáveres encontrados. La mayoría de las investigaciones se han realizado en Estados Unidos y reportan mayores impactos en poblaciones de vespertiliónidos y algunos

molósidos, que vuelan a grandes alturas (Fiedler, 2004; Arnett et al., 2005; Kunz et al., 2007a, 2007b; Arnett et al., 2008; McCracken et al., 2008; Collins y Jones, 2009; Baerwald y Barclay, 2009; Korner-Nievergelt et al., 2013; Hein et al., 2013).

En contraposición, en América Latina y sobre todo en México, a pesar de la creciente aprobación de proyectos de este tipo, los estudios al respecto con aves y murciélagos son escasos (Bolívar-Cimé et al., 2016; Briones-Salas et al., 2017) y prácticamente están acotados a reportes de muestreos estacionales (Zolotoff, 2012; ERM de México, 2014; Rodríguez et al., 2009), en algunos casos se reportan datos sólo de murciélagos (Briones-Salas, 2013; Pérez, 2015) o de aves (Montejo, 2012). Y dadas las diferencias en riqueza y diversidad (mayor diversidad, menor abundancia) del sur del continente, con la región Neártica (menor diversidad, mayor abundancia) (Schipper et al., 2008; Jenkins et al., 2013), es necesaria la realización de estudios poblacionales, de diversidad, patrones de actividad espacial y temporal, entre otros; para evaluar de manera más precisas el efecto de los parques en los murciélagos. Por ello, en este estudio se analizó, el efecto que tienen los parques eólicos sobre la diversidad de los murciélagos insectívoros, se propone la hipótesis de que la diversidad de murciélagos insectívoros disminuye en las zonas con aerogeneradores y aumenta en sitios sin ellos.

Materiales y métodos

Área de estudio. Se ubica al sureste del estado de Oaxaca, en los distritos de Juchitán de Zaragoza y Tehuantepec, (Ortiz, 2004). Es una de las áreas de mayor potencial de viento en el país y del mundo, con vientos promedio de 7.7- 8.5 m/s a 50 m sobre el suelo, excelentes para la producción de energía eólica y presentes durante todo el año (Elliott et al., 2004; El clima predominante es cálido subhúmedo (Awo) con una

temperatura media anual de los 22°C a los 26°C. La precipitación media anual va de los 1,000 -1200 mmm (Trejo, 2004; Fig. 1).

Cerca del 80% del área está conformada por terrenos para actividades como agricultura de riego, agricultura de temporal y ganadería, el resto corresponde a matorral espinoso y remanentes de bosque tropical caducifolio. El mayor afluente de la provincia, es el río Tehuantepec; además, en algunos sitios de los municipios existen redes de canales de riego, con el fin de irrigar los pastizales y cultivos agrícolas de maíz y sorgo principalmente (INEGI, 2013).

Dentro del área de estudio se seleccionaron dos grandes sitios: a) Sitios con aerogeneradores (4 sitios, S1-S4, CA). Son áreas destinadas principalmente a la cría de ganado bovino y para cultivo. Poseen escasos corredores de vegetación dominada por huizaches (*Acacia* sp), huamúchil (*Phithecellobium dulce*) y algunas palmeras (*Palmae* spp). Algunas zonas poseen canales de riego y/o arroyos con vegetación riparia; b) Sitios sin aerogeneradores (2 sitios S5, S6, SA). La zona donde se ubican estos sitios, posee características similares en cuanto a uso para cría de ganado, cultivo, vegetación y cuerpos de agua. Se seleccionaron solamente dos por encontrarse el resto de ellos muy cercanos a parques eólicos. Los sitios seleccionados (con y sin aerogeneradores) tuvieron una distancia mínima de separación de 1000 m.

Método. Los datos se obtuvieron de marzo a agosto durante el 2013 y 2014. Se realizó una noche de colecta por sitio, con un total de 62 noches de muestreo (Tabla 1). La grabación de firmas vocales de murciélagos insectívoros, se llevó a cabo con el detector de ultrasonidos Anabat SD1 (20kHz-200 kHz). El detector funcionó 8 horas diarias, a partir del crepúsculo vespertino (18:00) hasta las 01:00-02:00 h aproximadamente. El método de grabación fue pasivo modificado del propuesto por O Farrell et al. (1999) y Weller y Zabel

(2002). El detector se posicionó con una inclinación de 45° a nivel del suelo, con una división de frecuencia de 16.

Una vez realizada la grabación, los datos se extrajeron por medio del programa CFcread y se analizaron con el programa AnlookW versión 3.8s. El análisis preliminar consistió en la separación de los archivos útiles. Se consideró un archivo útil, aquel que tuviera llamados con una duración de hasta 15 segundos. Se eliminaron archivos con secuencias fragmentadas, con estática, ruido ambiental o con menos de dos llamadas (Gannon et al., 2004; Thomas, 1988).

La identificación de las especies de la familia Mormoopidae, se realizó con grabaciones de referencia de obtención propia, que se obtuvieron de individuos capturados en refugios cercanos a la zona de estudio (<10 km de distancia), a través método de la liberación en mano de ejemplares (hand release) en áreas abiertas. El resto de las demás especies, fueron identificadas por comparación de espectrogramas de publicaciones de diversas regiones de México y Centroamérica (Gannon et al., 2001; 2004; Jung et al., 2007; O'Farrell, 1997; O'Farrell y Miller, 1997; Orozco-Lugo et al., 2013; Rydell et al., 2002). En el caso de *Eumops underwoodi* por identificación de un experto (C. MacSwiney, Centro de Investigaciones Tropicales CITRO UV, pers. comm.). En algunos sonotipos, no fue posible llegar a nivel de especie, por lo que se analizaron a nivel de género. Lo anterior, particularmente para las familias Molossidae y Vespertilionidae, que poseen patrones de sonido variables o pulsos similares entre especies (Szewczak, 2000; Walters et al., 2012).

Se realizó un análisis exploratorio de datos, a través de histogramas de frecuencias y se eliminaron observaciones atípicas. Posteriormente, se llevó a cabo una prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov en el programa Statistica 8.0 con la información de los pases registrados por sitio, al no cumplirse los supuestos, se realizó una

transformación logarítmica, se corrió nuevamente la prueba de normalidad y al no lograr la distribución normal de los datos con la transformación, finalmente se usaron pruebas no paramétricas para los análisis posteriores.

Se determinó el número promedio de pases por hora, debido a que hubo diferencias en el número de noches de muestreo. Se consideró un pase, aquel archivo que tuviera al menos 2 llamados sucesivos de ecolocalización (Fenton, 1970; Thomas, 1988). Se determinó el número promedio de pases/hora por sitio, por especie y de especie por sitio (Mills et al., 2013).

Para determinar la diversidad en los sitios de muestreo, se obtuvieron los índices de diversidad de orden 0 (0D), cuyo valor equivale al número de especies, de orden 1 (1D) en la que todas las especies son consideradas y ponderadas proporcionalmente según su abundancia en la comunidad y de orden 2 (2D) que considera a las especies comunes y excluye a las raras para todos los sitios por especie, con el programa SPADE (Chao y Sen, 2010; Moreno et al., 2011). Los pases fueron considerados como abundancia para el cálculo de estos índices.

Para determinar la similitud de especies entre sitios, se realizó un análisis de la composición de especies por pares de sitios, a través del índice cuantitativo de Morisita. Con los datos resultantes, se realizó un dendograma de similitud entre sitios, a través de un análisis de clasificación que utiliza la estrategia aglomerativa de la media aritmética sin ponderación (UPGMA: Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages) para los datos de abundancia (pases), donde un valor de índice cercano a 1 significa una alta similitud y 0, menor similitud. El análisis se realizó con el programa PAST 2.17c.

Resultados

Se obtuvieron un total de 345 horas de grabación, 221 para los sitios con aerogeneradores y 124 para los sitios sin aerogeneradores (Tabla 1). Se registraron 4,518 archivos que fueron empleados en la identificación y el cálculo de pases promedio por hora de nueve especies y cuatro géneros (sonotipos). El número promedio de pases entre condición y especies no fueron iguales, las especies de murciélagos estuvieron más activas en el S5 (sin aerogeneradores, 19.97 ± 15.40) que en el S3 (con aerogeneradores, 2.81 ± 2.79 ; $H=17.17$, $p=0.00418$; Figura 2 A).

En general para todos los sitios, las especies significativamente más activas fueron *Pteronotus davyi* (46.24 ± 20.87) y *Molossus* sp (25.71 ± 42.87) en comparación con el resto de sonotipos ($H=70$, $p=0.0018$; Fig. 2 B). *Pteronotus davyi*, *Molossus* sp y *Myotis* sp fueron las especies con el mayor número de pases entre sitios ($H=53.86$, $p=0.0000016$, Fig. 3).

Diversidad. La diversidad de orden 0 (0D , considera sólo los sonotipos), fue mayor en el sitio S1 (11.80 especies efectivas, con aerogeneradores), seguido del S4 (11.60, CA) y el de menor diversidad fue el S5 (8.00, SA).

El sitio S4 (4.26 especies efectivas) fue el de mayor diversidad de orden 1 (1D , considera todos los sonotipos y su abundancia relativa), seguido del S1 (3.92) y el de menor número de especies efectivas fue el sitio S5 (3.48). Por lo tanto, el S4 tiene una comunidad teórica de 4.26 especies, todas ellas con la misma abundancia; de igual forma los demás sitios para la 1D . Esto es equivalente a expresar que el S4 es 1.09 veces más diverso que el S1 y 1.22 veces más diverso que el S5.

Para la diversidad de orden 2 (2D , considera a las especies comunes y excluye a las raras) el sitio S6 tuvo el mayor número de especies efectivas (3.05, SA), seguido del S4 (3.04), finalmente el S5 registró la más baja diversidad 2D (2.77, Tabla 2).

La similitud total del área de estudio fue de 0.932, la mayor similitud entre sitios se dio entre los sitios S2 y S5 (CA y SA, respectivamente; 0.998), seguido de sitio S1 (CA) y S5 (SA, 0.996), los de menor similitud fueron S3 (CA) y S5 (SA, 0.831, Tabla3). Lo anterior se reflejó en el dendrograma de similitud, que separo dos grupos, en uno sólo se registró el S3 que mostró la mayor disimilitud y el resto que formaron dos subgrupos (S4-S5, S2-S5-S6, Fig.4).

Discusión

Los sonotipos registrados en este trabajo representan el 37% de las especies insectívoras para la región (35 especies insectívoras; Briones-Salas et al., 2015). Sin embargo, es posible aumentar el número de especies a identificar debido a que hubo espectrogramas identificados a nivel de género. Se considera también que, la altura de vuelo puede afectar el registro de especies, dado que el alcance de un detector puede estar entre 10 y 25 m, cuando los murciélagos pueden desplazarse más allá de esta altura (Adams et al., 2012).

El número de especies registradas en este estudio, es similar al número de especies registrado por Kraker et al. (2013; nueve especies), en Santa María Chimalapa, México. Este lugar se ubica a 35 Km al norte de nuestros sitios de muestreo, aunque, la composición de la vegetación es diferente (selva alta perennifolia, borde de vegetación y pastizal).

La riqueza de especies registrada por Bolívar-Cimé et al. (2016), en sitios con aerogeneradores en la región es mayor comparada con nuestros datos, debido a que registraron 21 de murciélagos insectívoros con detección acústica, en un parque eólico cercano (<5km) a nuestra zona de estudio. Esta diferencia en riqueza de especies, puede deberse a, que el sitio de estudio de los autores antes mencionados, posee una mayor cobertura vegetal y se ubica cerca de un bosque tropical caducifolio en buen estado de conservación (Cerro Tolistoque, área de conservación comunal, Pérez-García et al., 2010). En contraposición, Briones-Salas et al. (2017) registraron en una zona colindante de parques eólicos, 8 especies de insectívoros; sin embargo esto se atribuye, a que el método de muestreo que utilizaron fueron las redes de niebla, las cuales subestiman la presencia de este gremio trófico en los inventarios (MacSwiney et al., 2009).

El número promedio de pases/hora por sitios, fue significativamente más alto en el sitio S5 (uno de los dos sitios sin aerogeneradores) que en el resto; esto sugiere que hay un efecto de la presencia de los aerogeneradores en la actividad de murciélagos. Sin embargo, esta diferencia no es muy clara en el S6 que a pesar de no poseer aerogeneradores, se ubicó en la cuarta posición de acuerdo al número promedio de pases/hora; esto se podría explicar con otras características de los sitios de muestreo como presencia de cuerpos de agua, configuración del paisaje y variables ambientales. Para estas variables ha sido documentado que tienen un efecto importante en la actividad de murciélagos y podrían estar interviniendo para que la actividad sea mayor, aún con el efecto de los aerogeneradores (Ávila-Flores y Fenton, 2005; Bolívar-Cimé et al., 2016; Burles et al., 2009; Erickson y West, 2002; Fiedler, 2004; Lewis, 1993; Muñoz et al., 2016).

En este trabajo, se destaca la presencia de *Pteronotus davyi* y el género *Molossus* como las más registradas a través del número promedio pases/hora. Para el

género *Molossus*, coincide con lo encontrado en sitios urbanos (antropizados) en Gamboa Panamá, en los que la actividad de molósidos es alta en comparación con los sitios de bosque. Debido a que algunas especies de este género, poseen cierta plasticidad adaptativa a condiciones de perturbación, en este caso, la presencia de aerogeneradores (Jung y Kalko, 2010; 2011). Sin embargo, para *Pteronotus davyi*, se ha encontrado que especies de la familia (Mormoopidae: *Pteronotus parnellii* y *P. personatus*) a la que pertenece, tienen una fuerte asociación a vegetación de bosque (Jung y Kalko, 2011), lo cual se contrapone a las características de nuestra zona de estudio que posee escasa vegetación. La presencia de *P. davyi* puede atribuirse, a la cercanía (10 km aproximadamente) con la zona conocida como Cerro del Tolistoque, con remanentes de vegetación natural y que tiene una cueva que funciona como refugio de Mormópidos y Emballonúridos (Pérez-García et al., 2010).

Adicionalmente, en trabajos realizados en parques eólicos, a) dos cercanos a nuestra zona de estudio, Oaxaca, México (Bolívar-Cimé et al., 2016; Briones-Salas et al., 2017), b) en Puerto Rico (Rodríguez-Durán y Feliciano-Robles, 2015) y c) en Rio Grande del Sur, Brasil (Barros et al., 2015), que aunque su principal objetivo no fue medir la actividad a través de pases, sino reportar las especies y el número de carcasas halladas por impacto con las aspas de los aerogeneradores; es posible inferir a través de sus datos de cadáveres, que en el caso del primer estudio, registraron una alta presencia de murciélagos de la familia Mormoopidae, sobre todo de *P. davyi* y de dos especies de molósidos. Lo anterior es consistente con lo que encontramos en cuanto a número promedio de pases/hora en nuestros sitios de muestreo, si se consideran estos pases como un indicador de posible abundancia; mayor actividad de murciélagos sugiere mayor número de ejemplares volando cerca de las aspas, lo que eleva la posibilidad de impacto y registro de carcasas. Para el parque eólico en Puerto Rico, nuestros datos coinciden parcialmente, debido a que aunque

reportan carcasas de una especie de mormópido (*Mormoops blainvillei*) y dos de molósidos (*Molossus molossus* y *Tadarida brasiliensis*), son estos últimos los más encontrados muertos por choques con aspas de aerogeneradores. Algo similar ocurre si se comparan nuestros datos con los del parque eólico en Rio Grande del Sur en Brasil, el mayor número de muertes por choque pertenecen a individuos de la familia molosidae (*Tadarida brasiliensis*) por lo que atribuimos estas discrepancias a las diferencias en composición y abundancia de especies de ese país con nuestra área de estudio.

Diversidad. Sobre análisis de la diversidad en sitios con parques eólicos y sin ellos, no tenemos registro de que se haya realizado estudio alguno en el Neotrópico, los estudios publicados al respecto de eólicos se centran principalmente en la búsqueda e identificación de carcasas (Bolívar-Cimé et al., 2016; Barros et al. 2015; Rodríguez-Durán y Feliciano-Robles, 2015). Aun así, de acuerdo a nuestros datos podemos inferir que no hay diferencias significativas entre los datos de diversidad de orden 0D , 1D y 2D entre los sitios de muestreo; esto debido a que los intervalos de confianza para cada valor entre los sitios se traslaparon. Particularmente para la diversidad de orden 1 y orden 2, se observa que la baja diferenciación de la diversidad entre sitios, se debe a la presencia de dos sonotipos dominantes en el número de pases (abundancia) y que también fueron las más comunes, estas especies representaron 82.42% del total de pases registrados en todos los sitios de muestreo (*Pteronotus davyi* y *Molossus* sp, 2208 y 1219 pases respectivamente, Tabla 2).

La similitud entre sitios fue muy alta (mayor a 0.9, Fig. 4, Tabla 3), lo que apoya lo encontrado para los índices de diversidad, donde todos los sitios (con aerogeneradores y sin ellos) mantuvieron una estructura similar en número de especies y especies que dominaron el número de pases. Lo que resultó en poca diversidad y gran similitud entre sitios; sin embargo, el sitio S3 fue el más disímil del resto, con poco más de

0.8, en los datos de diversidad fue uno de los de menor número de especies efectivas, sólo por encima del S5; tuvo el menor número de pases y menor número de horas de muestreo, lo que pudo afectar la detección de especies (pases) y con ellos la diversidad y similitud con el resto de los sitios.

Finalmente, consideramos necesario realizar más trabajo de campo en la zona, debido a que nuestros resultados no son contundentes al respecto del efecto que tienen los aerogeneradores sobre la diversidad de murciélagos insectívoros; además, es posible que otras variables estén influyendo en ella como la configuración del paisaje, disponibilidad de alimento, presencia de cuerpos de agua, entre otros (Ávila-Flores y Fenton, 2005; Bolívar-Cimé et al., 2016; Burles et al., 2009; Erickson y West, 2002; Fiedler, 2004; Lewis, 1993). Otro punto a considerar es que el área donde se ubican los parques eólicos muestreados, es una de las que mayor aprobación y establecimiento de estas instalaciones posee en el país (poco más del 60% de los eólicos en el país; AMDEE, 2016), lo que sumado a la transformación desde hace varias décadas de la vegetación original a terrenos de cultivo y potreros, acentúa la homogeneidad del paisaje (INEGI, 2013). Lo anterior sugiere que estas características de la zona, podrían enmascarar el efecto de los aerogeneradores; una comparación con sitios de vegetación natural (similar a la que poseía la zona antes de estas perturbaciones) a gran distancia de esta zona de eólicos, podría aportar datos más precisos sobre el efecto de los parques eólicos en la diversidad de murciélagos.

Agradecimientos

S. Peláez, Y. Santiago, M. Gómez, G. Medina, W. Juárez, O. Velasco, por su apoyo en el trabajo de campo y procesamiento de archivos. M. García a CONACyT por la beca no. 351731, para la realización de sus estudios de doctorado y al IPN por su apoyo con la beca

BEIFI. MB-S agradece a la Comisión de Operación y Fomento a las actividades Académicas (COFFA) y al programa de Estímulos al Desempeño a la Investigación (EDI), del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo recibido, así como al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) por su reconocimiento y apoyo.

Literatura citada

- Adams, A. M., Jantzen, M. K., Hamilton, R. M. y Fenton, M. B. (2012). Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution* ,3, 992-998.
- Arnett, E. B., Brown, W. K., Erickson, W. P., Fiedler, J. K., Hamilton, B. L., Henry, T. H., Jain, A., Johnson, G. D., Kerns, J., Koford, R. R., Nicholson, C. P., O'Connell, T. J., Piorowski, M. D. y Tankersley, R. D. (2008). Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management* ,72, 61-78.
- Arnett, E. B., Erickson, W. P., Kerns, J., y Horn, J. (2005). Relationships between Bats and Wind Turbines in Pennsylvania and West Virginia: An Assessment of Fatality Search Protocols, Patterns of Fatality, and Behavioral Interactions with Wind Turbines. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (2016). Consultado septiembre 2016 en: <http://www.amdee.org/porque-la-eolica>
- Atienza, J. C., Martín Fierro, I., Infante, O., Valls, J. y Domínguez, J. (2011). Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0). SEO/BirdLife, Madrid.
- Ávila F., R. y Fenton, M. B. (2005). Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of Mammalogy* ,86, 1193-1204.
- Baerwald, E. F. y Barclay, R. M. R. (2009). Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *Journal of Mammalogy* ,90, 1341-1349.
- Barros, M. A. S., Gastal de M., R. y Rui, A. M. (2015). Species composition and mortality of bats at the Osório Wind Farm, southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* ,1, 1-9.

- Bolívar-Cimé, B., Bolívar-Cimé, A., Cabrera-Cruz, S. A., Muñoz-Jiménez, Ó. y Villegas-Patracá, R. (2016). Bats in a tropical wind farm: species composition and importance of the spatial attributes of vegetation cover on bat fatalities. *Journal of Mammalogy* ,97, 1197–1208.
- Briones-Salas, M., Cortés-Marcial, M. y Lavariega, M. C. (2015). Diversidad y distribución geográfica de los mamíferos terrestres del estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* ,86, 685-710.
- Briones-Salas, M. Á. (2013). Estudio del impacto ecológico de los aerogeneradores sobre las especies de murciélagos en la región del Istmo de Tehuantepec. CIIDIR Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Proyecto de investigación.
- Briones-Salas, M., Lavariega, M. C. y Moreno, C. E. 2017. Effects of a wind farm installation on the understory bat community of a highly biodiverse tropical region in Mexico. *Peer J*, 1-19.
- Burles, D. W., Brigham, R. M., Ring, R. A. y Reimchen, T. E. (2009). Influence of weather on two insectivorous bats in a temperate Pacific Northwest rainforest. *Canadian Journal of Zoology* ,87, 132-138.
- Ceballos, G., Arroyo-Cabrales, J. y Ponce, E. (2010). Effects of Pleistocene environmental changes on the distribution and community structure of the mammalian fauna of Mexico. *Quaternary Research* ,73, 464-473.
- Chao, A. y Shen, T. J. 2010. Program SPADE (Species prediction and diversity estimation). Consultado: septiembre 2016. Disponible en: <http://chao.stat.nthu.edu.tw>.
- Cimé-Pool, J. A., Chable-Santos, J. B., Sosa- Escalante, J. E. y Hernández-Betancourt, S. F. (2006). Quirópteros y pequeños roedores de la Reserva de la Biosfera, Ría Celestúm, Yucatán, México. *Acta zoológica Mexicana (n. s.)* ,22, 127-131.
- Collins, J. y Jones, G. (2009). Differences in Bat Activity in Relation to Bat Detector Height: Implications for Bat Surveys at Proposed Windfarm Sites. *Acta Chiropterologica* ,11, 343-350.
- Cryan, P. M. y Barclay, R. M. R. (2009). Causes of Bats Fatalities at Wind Turbines: Hypotheses and Predictions. *Journal of Mammalogy* ,90, 1330–1340. Disponible en: http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia52/HTML/Articulo_06.htm

- Elliott, D., Schwartz, M., Scott, G., Haymes, S., Heimiller, D. y George, R. (2004). Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca. Laboratorio Nacional de Energía renovable. E. U. A. p. 138.
- Erickson, J. L. y West, S. D. (2002). The influence of regional climate and nightly weather conditions on activity patterns of insectivorous bats. *Acta Chiropterologica* ,4, 17-24.
- ERM México, S.A. de C.V. 2014. Proyecto Parque Eólico de Coahuila. Consultado: Marzo 2015. Disponible en: <http://app1.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/coah/resumenes/2014/05CO2014E0011.pdf>
- Escalante, T., Rodríguez, G. y Morrone, J. J. (2005). Las provincias biogeográficas del Componente Mexicano de Montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista Mexicana de Biodiversidad* ,72, 199-205.
- Fiedler, J. K. (2004). Assessment of bat mortality and activity at Buffalo Mountain windfarm, Eastern Tennessee. Thesis, University of Tennessee, Knoxville, USA.
- Fenton, M. B. (1970). A technique for monitoring bat activity with results obtained from different environments in southern Ontario. *Canadian Journal of Zoology* ,48, 847-851.
- Gándara F., G, Correa S., A. N., y Hernández C., C. A. (2006). Valoración económica de los servicios ecológicos que prestan los murciélagos *Tadarida brasiliensis* como controladores de plagas en el norte de México. Escuela de Graduados en Administración Pública y Política Pública (EGAP). Cátedra de Integración Económica y Desarrollo Social. Nuevo León, México. pp. 1-18.
- Gannon, W. L., O'Farrell, M. J., Corben, C. y Bedrick, E. J. (2004). Call character lexicon and analysis of field recorded bat Echolocation calls. En J. A. Thomas, C. F. Moss, y M. Vater (Eds.), *Echolocation in bats and dolphins* (478-484). Chicago, Illinois, USA: University of Chicago Press.
- Gannon, W. L., Sherwin, R. E., DeCarvalho, T. N. y O'Farrell, M. J. (2001). Pinnae and echolocation call differences between *Myotis californicus* and *M. ciliolabrum* (Chiroptera Vespertilionidae). *Acta Chiropterologica* ,3, 77-91.
- Hein, C.D., Gruver, J., y Arnett, E. B. (2013). Relating pre-construction bat activity and post-construction bat fatality to predict risk at wind energy facilities: a synthesis. A

- report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International, Austin, TX, USA. p. 22.
- Henestroza, O. R. (2008). Desarrollo del proyecto eólico en la región del Istmo de Tehuantepec. Investigación y Ciencia de la Universidad de Aguascalientes. México. Num.42: 18-21.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=20>
- Jenkins, C. N., Pimm, S. L. y Joppa, L. N. (2013). Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* ,110, E2602-E2610
- Jung, K. y Kalko, E. K. V. (2010). Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy* ,91, 144-153.
- Jung, K. y Kalko, E. K. V. (2011). Adaptability and vulnerability of high flying Neotropical aerial insectivorous bats to urbanization. *Diversity and Distributions* ,17, 262–274.
- Jung, K., Kalko, E. K. V. y Von Helversen, O. (2007). Echolocation calls in Central American emballonurid bats signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology* ,272, 125-137.
- Korner-Nievergelt, F., Brinkmann, R., Niermann, I., Behr, O. (2013). Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. *PlosOne* ,8, 1-11.
- Kraker, C., Santos-Moreno, A., y García-García, J. L. (2013). Riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros aéreos en una selva tropical y pastizales en Oaxaca, México. *Therya* ,20, 255-267.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Cooper, B. M., Erickson, W. P., Larkin, R. P., Mabee, T., Morrison, M. L., Strickland, M. D. y Szewczak, J. M. (2007b). Assessing Impacts of Wind-Energy Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document. *Journal of Wildlife Management* ,71, 2449-2486
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W. y Tuttle, M. D. (2007a). Ecological impacts of

- wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment* ,5, 315–324.
- Lewis, S. E. (1993). Effect of climatic variation on reproduction by pallid bats (*Antrozous pallidus*). *Canadian Journal of Zoology* ,71, 1429-1433.
- Loayaza, A. P., Ríos, R. S. y Larrea-Alcázar, D. M. (2006). Disponibilidad de recurso y dieta de murciélagos frugívoros en la Estación Biológica Tunquini, Bolivia. *Ecología en Bolivia* ,41, 7-23.
- López, J. E. y Vaughan, C. (2004). Observations on the role of frugivorous bats as seeds dispersers in Costa Rican secondary humid forest. *Acta Chiropterologica* ,6, 111-119.
- MacSwiney G., M. C., Clarke, F. M., Racey, P. A. (2009). 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.
- McCracken, G. F., Gillam, E. H., Westbrook, J. K., Lee, Y., Jensen, M. L. y Balsley, B. B. (2008). Brazilian free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*: Molossidae, Chiroptera) at high altitude: links to migratory insect populations. *Integrative and Comparative Biology* ,48, 107-118.
- Medellín, R.A. y Gaona, O. (1999). Seed dispersal by bats and birds in forest and disturbed habitats of Chiapas, Mexico. *Biotropica* ,31, 478-485.
- Medina E., H. Y. E., Gándara F., G. y Correa S, A. N. (2007). Cueva la Boca 2015: Generación de escenarios para la preservación de sus murciélagos. XXXVII Congreso de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sistema Tecnológico de Monterrey. Memorias de Artículos de investigación y de Tesis. Tomo II. Atizapán, Estado de México. pp. 9.
- Mills, S. C., Adams, A. M. y Phoenix, R. D. (2013). Bat species diversity in the boreal forest of northeastern Ontario, Canada. *Northeastern Naturalist*, 20, 309-324.
- Montejo D., J. E. (2012). Reporte final del estudio de aves residentes y migratorias del proyecto eólico BII NEE STIPA II, La Ventosa, Oaxaca. p. 67.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E. y Pavón, N. P. (2011). Reanalizando la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* ,82, 1249-1261.

- Morrone, J. J. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomologia* ,48, 149-162.
- Muñoz J., O., Villegas P., R., Mac Swiney G., M. C. y López-Acosta, J. C. (2016). Importancia de los elementos de un paisaje antropizado para la retención de diversidad de murciélagos en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. En A. Ramírez-Bautista y R. Pineda-López (Eds.), *Fauna Nativa en ambientes antropizados* (pp. 115-122). Querétaro: Red ambientes antropizados (REFAMA).
- NAS (National Academy of Science). (2007). Environmental Impacts of Wind-Energy Projects. Consultado: septiembre 2016. Disponible en: <https://www.nap.edu/catalog/11935/environmental-impacts-of-wind-energy-projects>.
- O'Farrell, M. J. (1997). Use of echolocation calls for the identification of free-flying bats. *Transactions of the Western Section of the Wildlife Society* ,33, 1-8.
- O'Farrell, M. J. y Miller, B. W. (1997). A new examination of echolocation calls of some neotropical bats (Emballonuridae and Mormoopidae). *Journal of Mammalogy* ,78, 954-963.
- O'Farrell, M. J., Miller, B. W. y Gannon, W. L. (1999). Qualitative identification of free-flying bats using the anabat detector. *Journal of Mammalogy* ,80, 11-23.
- Orozco-Lugo, L., Guillén-Servent, A., Valenzuela-Galván, D. y Arita, H. T. (2013). Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya* ,4, 33-46.
- Ortiz, P. M. A, Hernández S., J. R. y Figueroa M, J. M. (2004). Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. In: García M., A. J.; M. J., Ordoñez y M. A. Briones S. (Eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. Oaxaca, México. Anexo Cartográfico. Mapa 1. pp. 43-54.
- Pérez L., A. Consultado: Enero 2015. Impactos ambientales de la generación eólica en Turiguanó.
- Pérez-García, E., Meave, J. y Salas, S. (2010). Nizanda, Oaxaca. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dirzo. (Eds.), Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las Selvas secas del Pacífico

- de México (pp. 538-542). México, D.F.: Fondo de Cultura Económica-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2010). Renewables 2010 Global Status Report. GTZ. París, 78 pp.
- Rodríguez, E., Tiscornia, G. y Olivera, L. (2009). Aves y mamíferos voladores de Sierra Caracoles, Informe final. Disponible en: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2009/10/28/000333038_20091028000913/Rendered/INDEX/E21600v20P102310y0Plan0de0Monitoreo.txt
- Rodríguez-Durán, A. y Feliciano-Robles, W. (2015). Impact of wind facilities on bats in the Neotropics. *Acta Chiropterologica* ,17, 365-370.
- Rydell, J., Arita, H. T., Santos, M. y Granados, J. (2002). Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico. *Journal of Zoology* ,257, 27-36.
- Schipper, J., Chanson, J. S., Chiozza, F., Cox, N. A., Hoffmann, M., Katariya, V., Lamoreux, J., Rodrigues, A. S. L., Stuart, S. N., Temple, H. J., et al. (2008). The status of the world's land and marine mammals: diversity, threat, and knowledge. *Science* ,322, 225-230
- Simmons, N. B. 2005. Order Chiroptera. In: D. E. Wilson and D. M. Reeder (eds.). Mammal species of the World: a taxonomic and geographic reference. 3rd. edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore. pp. 312–529.
- Szewczak, J. M. (2000). A tethered zip-line arrangement for reliably collecting bat echolocation reference calls. *Bat Research News* ,41, 142.
- Thomas, D. W. 1988. The distribution of bats in different ages of Douglas-fir forest. *Journal of Wildlife Management* ,52, 619-626.
- Trejo, I. (2004). Clima. En A. J. García M., M. J. Ordoñez y M. A. Briones S. (Eds.), Biodiversidad de Oaxaca (pp. 68-85). Oaxaca, México: Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund.
- Walters, C. L., Freeman, R., Collen, A., Dietz, C., Fenton, M. B., Jones, G., Obrist, M. K., Puechmaille, S., Sattler, T., Siemers, B. M., Parsons, S. y Jones, K. E. (2012). A

continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology* ,49, 1064-1074.

Weller, T. J. y Zabel, C. J. (2002). Variation in Bat Detections due to Detector Orientation in a Forest. *Wildlife Society Bulletin* ,30, 922-930.

Zolotoff, J. M., Cisneros, C., Medina, A., y Mendieta, R. (2012). Diagnóstico del estado de composición de las poblaciones de aves (residentes - migratorias) y murciélagos en el complejo eólico de eolo de Nicaragua, al sur de la ciudad de Rivas, Nicaragua – II fase. Fundación COSIBOLCA. p. 69.

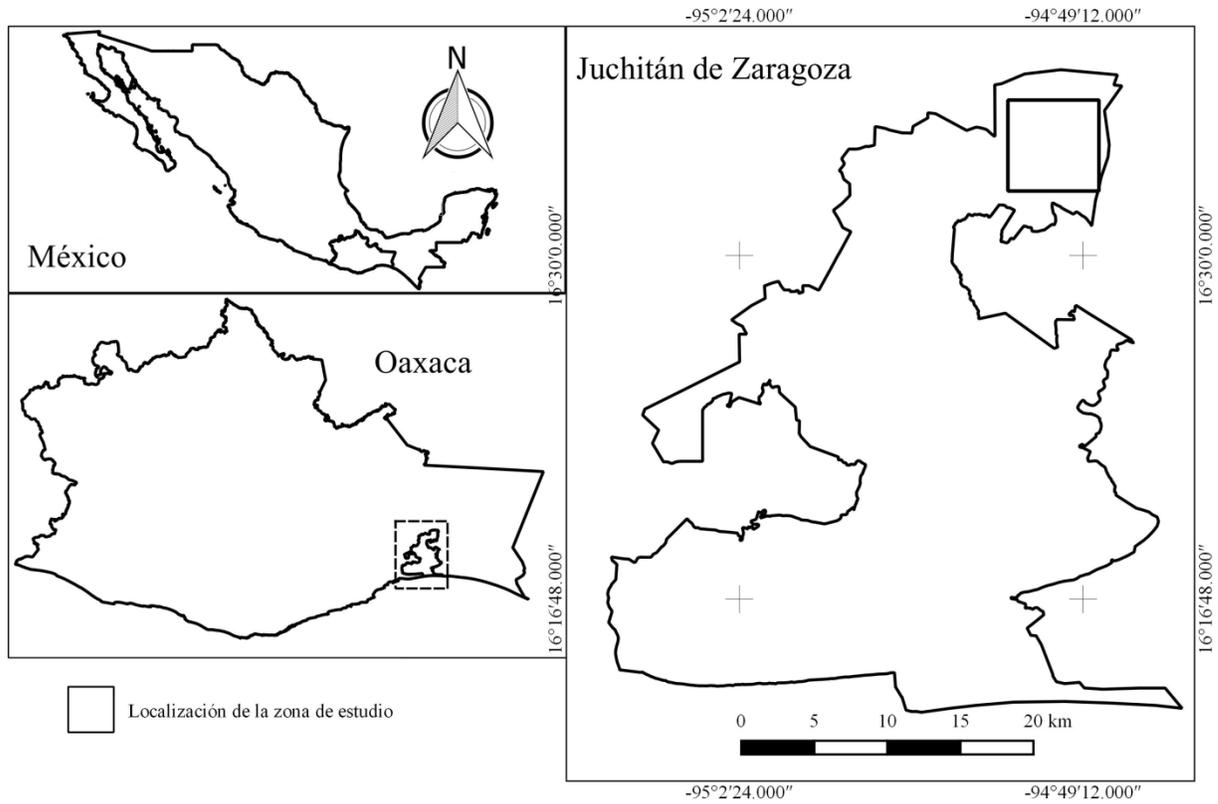


Figura 1. Localización de las áreas de estudio con aerogeneradores y sin esta condición en el Neotrópico.

Tabla 1. Esfuerzo de muestreo en horas para los sitios con aerogeneradores y sin esta condición en el Neotrópico.

	Aerogeneradores				Sin aerogeneradores		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Total mensual
2013							
marzo	6	6	6	1	6	6	31
abril	6	0	6	6	0	6	24
mayo	0	6	0	6	0	0	12
junio	6	6	6	6	6	5	35
julio	6	6	0	6	6	6	30
agosto	6	0	0	6	6	6	24
2014							
marzo	6	6	6	6	6	6	36
abril	6	6	6	1	6	6	31
mayo	5	6	0	6	6	6	29
junio	6	6	6	3	6	5	32
julio	6	6	6	6	6	6	36
agosto	1	2	6	4	6	6	25
Total por sitio	60	56	48	57	60	64	345

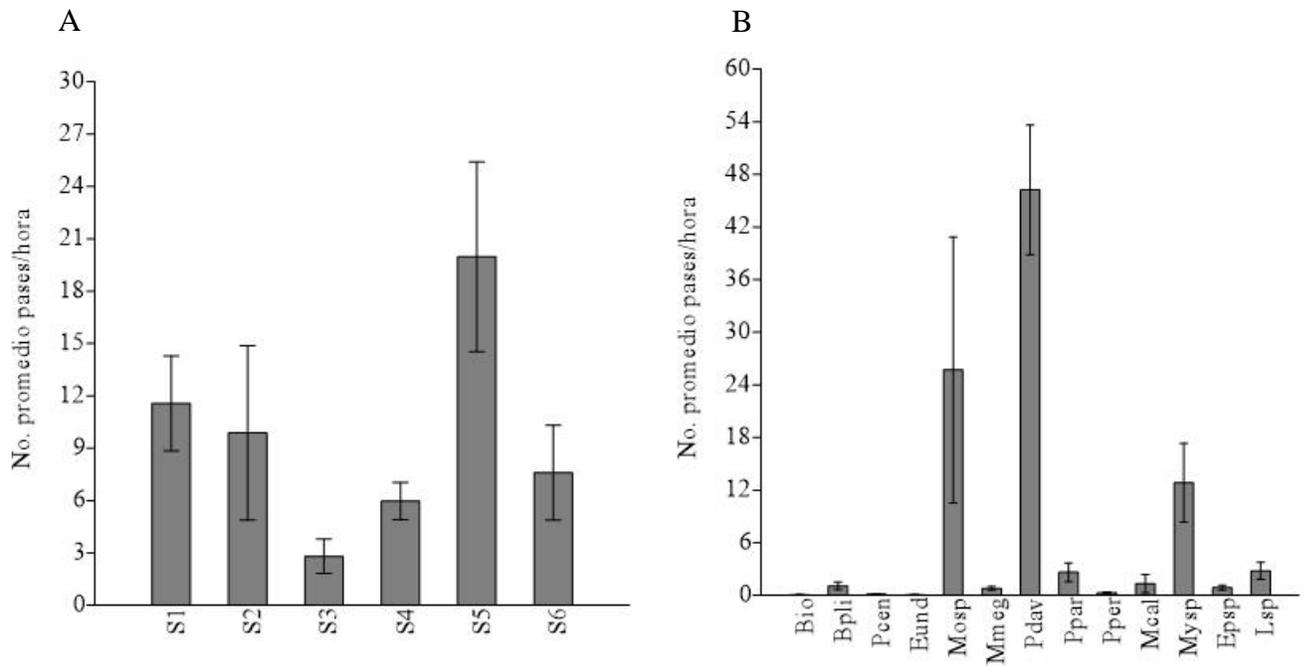


Figura 2. Número promedio de pases por hora (\pm SE) de todas las especies de murciélagos registrados por sitio (A; sitios con aerogeneradores, S1-S4 y sin ellos, S5 y S6) y de todos los sitios por especie registrada (B) en Oaxaca, México. Clave de especies, Bio=*Balantiopteryx io*, Bpli=*Balantiopteryx plicata*, Pcen=*Promops centralis*, Eund=*Eumops underwoodi*, Mosp=*Molossus* sp, Mmeg=*Mormoops megalophylla*, Pda=*Pteronotus davyi*, Ppa=*Pteronotus parnellii*, Ppe=*Pteronotus personatus*, Mcal=*Myotis californicus*, Mysp=*Myotis* sp, Epsp=*Eptesicus* sp, Lsp=*Lasiurus* sp.

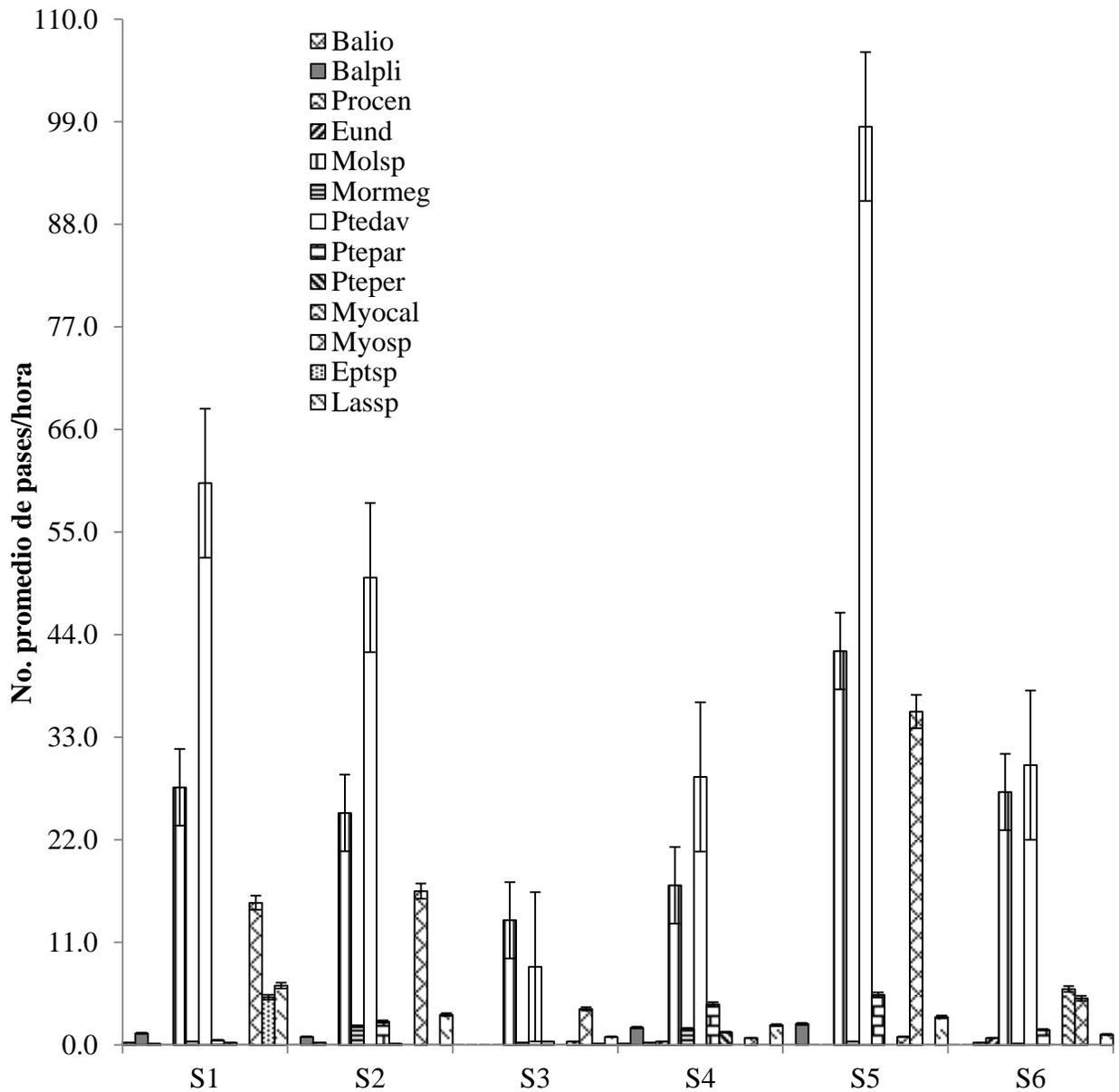


Figura 3. Número promedio de pases por hora (\pm SE) por especie de murciélagos registrados por sitio (sitios con aerogeneradores, S1-S4 y sin ellos, S5 y S6) de muestreo del área de estudio en el Neotrópico. Clave de especies, Bio=*Balantiopteryx io*, Bpli=*Balantiopteryx plicata*, Pcen=*Promops centralis*, Eund=*Eumops underwoodi*, Mosp=*Molossus* sp, Mme=*Mormoops megalophylla*, Pda=*Pteronotus davyi*, Ppa=*Pteronotus parnellii*, Ppe=*Pteronotus personatus*, Mcal=*Myotis californicus*, Mysp=*Myotis* sp, Epsp=*Eptesicus* sp, Lsp=*Lasiurus* sp.

Tabla 2. Valores de diversidad de orden 0 (0D), orden 1 (1D) y orden 2 (2D) para cada sitio de colecta en el Neotrópico. S1-S4=Sitios con aerogeneradores, S5-S6=Sitios sin aerogeneradores.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Núm. Especies	11	9	8	11	8	9
Núm. Pases	939	804	221	471	1507	576
0D	11.80	10.00	8.60	11.60	8.00	9.70
Error std. estimado	1.40	2.00	1.20	1.30	0.00	1.40
Intervalo de confianza 95%						
inferior	11.10	9.10	8.10	11.10	8.00	9.10
superior	19.40	21.20	15.00	18.80	8.00	17.60
1D	3.92	3.80	3.60	4.26	3.48	3.87
Error std. estimado	0.12	0.12	0.22	0.21	0.08	0.15
Intervalo de confianza 95%						
inferior	3.67	3.55	3.18	3.84	3.33	3.58
superior	4.16	4.04	4.03	4.67	3.64	4.16
2D	2.93	2.95	2.88	3.01	2.77	3.05
Error std. estimado	0.37	0.37	0.38	0.35	0.37	0.36
Intervalo de confianza 95%						
inferior	2.21	2.22	2.14	2.33	2.05	2.33
superior	3.65	3.68	3.62	3.69	3.49	3.76

Tabla 3. Matriz de similitud entre seis sitios de muestreo en el Neotrópico. S1-S4=Sitios con aerogeneradores, S5-S6=Sitios sin aerogeneradores. Los valores corresponden al índice de similitud de Morisita.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S1	1	0.99318	0.84214	0.96103	0.98888	0.93436
S2		1	0.86111	0.95749	0.99654	0.93982
S3			1	0.86196	0.83198	0.94844
S4				1	0.94049	0.95743
S5					1	0.91947
S6						1

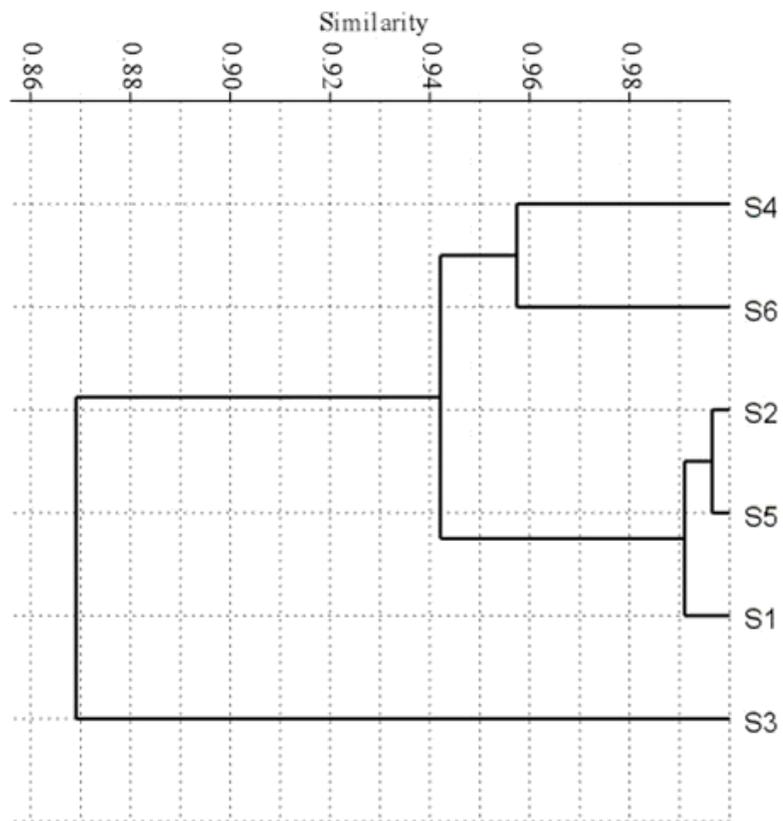


Figura 4. Dendrograma de similitud (basado en el índice cuantitativo de Morisita) entre los sitios con aerogeneradores (S1-4) y sin aerogeneradores (S5 y S6) muestreados en Oaxaca, México.

DISCUSIÓN GENERAL

México, es un país con alta biodiversidad, posee un alto número de endemismos (Mittermeier y Goettsch, 1992) y alberga 139 especies de murciélagos (Ramírez-Pulido et al., 2014) de las que poco más de 80 son insectívoras. Por lo que, el uso de detectores ultrasónicos, representa una importante herramienta complementaria para estudiar murciélagos. Y aunque se ha trabajado sobre este tema en México, hasta el momento no existe una revisión de los trabajos llevados a cabo con detección ultrasónica, es decir, se desconocía el panorama de esta línea de investigación en el país. Por ello se planteó el capítulo I, en el que se realizó 1) análisis de las temáticas que se han abordado en el estudio de ultrasonidos de murciélagos en México, 2) elaboración de un listado de las especies de murciélagos con las que se ha trabajado y de las que se han descrito sus llamadas de ecolocalización, 3) identificación de los temas y zonas del país con poca información disponible. Como resultado de una búsqueda exhaustiva de literatura especializada en bases de datos de artículos científicos, reportes y tesis, se registraron sólo 55 estudios, los cuales se han conducido en la mitad de los estados del país. En estos trabajos, se han descrito poco más del 42% de las llamadas de las especies de murciélagos que tienen distribución en el país, con *Pteronotus davyi*, *Mormoops megalophylla*, *Pteronotus parnellii* y *Tadarida brasiliensis* como las especies presentes en más trabajos. Los temas que se han abordado se encuentran en siete categorías o áreas de investigación, en el que la caracterización y clasificación de llamados junto con la actividad y/o uso de hábitat representan el 60% de las publicaciones. En estas publicaciones, se encontró que de manera recurrente se utiliza la comparación de espectrogramas con especies de otros países o regiones cercanas para la identificación de especies. Esto, debido a la dificultad e inversión de tiempo para obtener

grabaciones de calidad que puedan servir de referencia para listados regionales. Sin embargo, es imprescindible contar con llamadas de referencia y/o bibliotecas de ultrasonidos, debido a que las llamadas de las especies están sujetas a factores de variación geográfica, ambiental intraspecífica e interespecífica que pueden complicar la identificación por comparación (Lin et al., 2015; Luo et al., 2014; Capítulo I).

En el caso de las familias de las que se han descritos sus llamadas, se destaca la familia Mormoopidae, de la que existen grabaciones de referencia y de campo del total de especies presentes en el país. Esto, puede atribuirse a que en algunas de estas especies, es posible obtener grabaciones de referencia útiles, incluso de individuos estáticos en mano. A lo que se suma la facilidad para la localización de sus sitios de descanso y/o percha, debido a que se refugian en cuevas. Caso contrario es el que se presenta para los molósidos y vespertiliónidos, en los cuales, su captura es complicada ya que vuelan a gran altura y algunos se refugian en árboles altos (e.g. *Lasiurus* sp); lo que causa bajas tasas de captura y dificulta la obtención de grabaciones de referencia. Adicionalmente, técnicas como liberación en mano y tirolesa (“zip line”) pueden resultar complicadas, dado que los individuos requieren alcanzar cierta altura para emitir sonidos de manera habitual (Guillén-Servent com. pers.; Szewczak, 2000; Walters et al., 2012). Una vez obtenidas las grabaciones de especies de la familia Molossidae y Vespertilionidae, es también probable que se presenten dificultades para separar especies, debido a que poseen patrones de sonido variables o pulsos similares, que ocasionan un bajo porcentaje correcto de identificación. Por lo que se presume, estas sean algunas de las razones por las que en muchas de las investigaciones no pudieron ser identificados a nivel específico.

Debe considerarse también, que existen factores distintos a los de carácter técnico o académico que complican el desarrollo de estudios en el territorio mexicano, como las

condiciones sociales que en muchos casos, impiden tener acceso a sitios de trabajo en todo el país, sobre todo en el norte (López-González com. pers.). A lo que se suma la variedad de climas, rareza y abundancia de especies, la disponibilidad y diversidad de dispositivos ultrasónicos, métodos para la obtención de grabaciones y falta de personal capacitado, lo que dificultan tener una representación adecuada de cada una de las especies.

Otro aspecto, es la obtención de una adecuada representación de las llamadas de ecolocalización de las especies en México, la cual debería estar estandarizada en métodos de muestreo y del registro de las características de las llamadas, para hacer comparaciones precisas. Debido a que, aunque en este trabajo se pretendía realizar una comparación de la información generada al respecto de las llamadas, actividad y uso de hábitat de las especies de murciélagos insectívoros mexicanos; los trabajos revisados registran de diferentes formas su información, 1) a través de la duración de archivos de grabación (3s, 15s, 5m; Ávila-Flores y Fenton, 2005; Gómez, 2006; MacSwiney et al., 2009) y secuencias de llamadas (Estrada et al., 2004; Rodríguez-Aguilar et al., 2016), 2) bloques de un minuto para determinar índice de actividad (Kraker, 2013; García, 2013), lo que impidió realizar una comparación entre estudios. A esto, se suman los diferentes métodos de obtención de grabaciones (pasivo, activo), tipo de detector, sistema de análisis de llamadas, parámetros medidos en las llamadas, entre otros, que complican realizar un metanálisis de la información que reportan.

Oaxaca, es uno de los estados con mayor diversidad de murciélagos insectívoros de México (n=54; Briones-Salas et al., 2015), y aunque es el segundo estado con mayor número de trabajos realizados con detectores ultrasónicos en México (n=8 registros, Capítulo I); sólo se han realizado descripciones de parámetros de 15 especies insectívoras y varios sonotipos, en las que no se han incluido análisis estadísticos (Briones-Salas et al.,

2013; Kraker-Castañeda et al., 2013). Por lo anterior, se hace necesario incrementar el conocimiento sobre los parámetros de las firmas vocales de murciélagos insectívoros de Oaxaca, determinar los parámetros más importantes en la identificación de especies y cuantificar el porcentaje correcto de clasificación de estas.

En este sentido se realizó el capítulo II, que consistió en la obtención de grabaciones con un Anabat SD2 en 21 sitios de tres provincias fisiográficas del estado de Oaxaca; la realización de un análisis de componentes principales (ACP) y de función discriminante (AFD). Se obtuvieron estimaciones de los parámetros de 9913 pulsos de 23 especies insectívoras. La especie con mayor número de pulsos registrados fue *Balantiopteryx plicata* con 2017 (20.35%), seguida de *Tadarida brasiliensis* con 1523 (15.36%). De especies como *Eumops underwoodi*, *Promops centralis* y *Myotis velifer* no se han reportado medidas de sus parámetros con el sistema de división de frecuencia. La familia con el mayor número de especies registradas fue la Molossidae, con ocho especies y la de menor número de registros fue la familia Noctilionidae, con una especie.

De manera general, las estimaciones de parámetros coinciden con lo que otros autores han descrito con Anabat en otras regiones del país y en el estado de Oaxaca (Briones-Salas et al., 2013; Guevara-Carrizales et al., 2013; Kraker-Castañeda et al., 2013; León-Tapia y Hortelano, 2016). La información de medidas de llamadas con este sistema (32 especies, 13 sonotipos), es menor a la que se ha registrado con los de espectro completo (56 especies, nueve sonotipos) de acuerdo a la revisión de trabajos en México del capítulo I.

Si se revisan las medidas de las especies reportadas en este estudio con detectores que graban el espectro completo de las llamadas, no es posible comparar en cuanto a las medidas de frecuencia, dado que en este sistema de análisis se reporta habitualmente la frecuencia inicial y la frecuencia final (e. g. Orozco et al., 2013; Zamora et al., 2016). Estos

parámetros, pueden ser diferentes de la frecuencia máxima y frecuencia mínima dependiendo del tipo de llamada, los cuales son parámetros reportados en los sistemas de división de frecuencia (e. g. Monadjem et al., 2017; Kraker-Castañeda et al., 2013). Por lo anterior, se considera que la comparación con trabajos que usen un detector con el mismo sistema de análisis de información sería más válido, dado que se ha expuesto que existen diferencias importantes entre detectores con diferentes sistemas de análisis de información, lo que puede afectar la calidad y cantidad de grabaciones (O'Farrell et al., 1999; Barclay, 1999). Sin embargo, dada la escasez de información, se retoma principalmente la duración para comparación entre los dos sistemas.

En la comparativa con la duración, se encontraron diferencias importantes que van desde 2 ms (en *Nyctinomops laticaudatus*) a 10 ms (*Eumops underwoodi*) con lo que se reportó para las especies identificadas en las grabaciones de Oaxaca, lo que puede atribuirse 1) las estimaciones en este trabajo se realizaron sobre secuencias de llamadas en fase de aproximación. Esta fase, se caracteriza por la disminución de la duración de las llamadas, (Smotherman y Guillén-Servent, 2008; Schnitzler y Kalko, 2001). 2) Condiciones de obtención de las grabaciones, las grabaciones en mano y en zip line pueden modificar la emisión de pulsos, dado que la manipulación de los individuos les genera estrés, lo cual se refleja en la forma en que emiten pulsos al salir volando (las mediciones de este trabajo se tomaron de llamadas grabadas en vida libre) y 3) el sistema de análisis de información del detector que puede generar diferencias importantes entre los parámetros medidos.

En la mayoría de las especies reportadas previamente por otros autores con detectores de división de frecuencia, regularmente sólo se reportan medidas de tres o cuatro parámetros (duración, frecuencia máxima, frecuencia mínima y frecuencia característica) para las llamadas (Briones-Salas et al., 2013; Guevara-Carrizales et al., 2013; León-Tapia y

Hortelano-Moncada, 2016). Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos a través del análisis de componentes principales, son al menos seis parámetros los necesarios para obtener el 95.20% de la variación de las llamadas de las especies. Por lo que se considera, que no es suficiente con el reporte de tres parámetros para caracterizar las llamadas de las especies, sobre todo en los vespertiliónidos y molósidos con patrones de sonido variables o similares entre géneros (Szewczak, 2000; Walters et al., 2012).

Adicionalmente, se encontró que en México no se han realizado análisis de los porcentajes de clasificación correcta de especies con detectores que usan el sistema de división de frecuencia. Con detectores del sistema de espectro completo, se encontró que los datos presentados en este capítulo, coinciden parcialmente con lo obtenido por Zamora-Gutierrez et al. (2016), que con un análisis de escala nacional, señalan que los mormópidos y emballonúridos obtienen porcentajes de clasificación correcta >90% a diferencia de los molósidos y vespertiliónidos con 30-70%. En contraste, con un análisis de escala regional MacSwiney et al. (2008) obtuvieron altos porcentajes de clasificación correcta para algunos vespertiliónidos (excepto *Lasiurus intermedius*) y bajo porcentaje correcto de clasificación para molósidos. Las diferencias mencionadas entre los trabajos citados, se atribuyen a la escala, es decir, mientras la descripción de medidas de las llamadas sea de un área o región cada vez más pequeña, la variación intraespecífica es menor y disminuirá de manera proporcional. Asimismo, también incide de manera importante el tamaño de la muestra, hipótesis que ha sido usada por otros autores para explicar la variación interespecífica (Barclay et al., 1999; O'Farrell et al., 2000).

En Oaxaca, la región del Istmo de Tehuantepec, es una zona que requiere atención urgente debido a la creciente aprobación e instalación de parques eólicos; porque aunque las afectaciones a murciélagos han sido ampliamente documentadas en zonas de parques

eólicos del mundo (Barros et al., 2015; Rodríguez-Durán y Feliciano-Robles, 2015; Wickramasinghe et al., 2003), en México, los datos para determinar el impacto de estas instalaciones sobre la fauna son escasos (Bolívar-Cimé et al., 2016).

Atendiendo este tema se desarrollaron el capítulo III y IV, para determinar si hay diferencias significativas entre la riqueza, diversidad de especies, actividad y horarios de actividad en áreas dentro de parques eólicos (DPE) y fuera de parques eólicos (FPE). Para lo cual, se tuvieron 4 sitios DPE y 2 sitios FPE. La grabación de firmas vocales de murciélagos se llevó a cabo con el detector de ultrasonido Anabat SD2 (Titley Electronics, Ballina, Australia; intervalo de frecuencia 4 - 200 kHz, sistema de división de frecuencia).

Se registraron 13 especies y 4 géneros; destaco la presencia de *Pteronotus davyi* y el género *Molossus* como las especies más registradas. *P. davyi*, se ha relacionado a vegetación de bosque (Jung y Kalko, 2011); sin embargo, el área de estudio posee escasa vegetación, la presencia de esta especie se atribuye, a la cercanía (10 km) con un área comunal protegida (Ojo de agua Cerro del Tolistoque), con remanentes de bosque tropical caducifolio en buen estado de conservación y que tiene una cueva que funciona como refugio de mormópidos y embalonúridos (Briones-Salas et al., 2013). Para el caso del genero *Molossus*, esto coincide con lo encontrado por otros autores (Jung y Kalko, 2010; 2011; Kraker-Castañeda et al., 2013; Bolívar-Cimé, et al. 2016), quienes mencionan que en sitios urbanos, pastizales y con parques eólicos en Gamboa Panamá, Santa María Chimalapas y Juchitán México la actividad de molósidos es alta. Lo anterior, se debe a que algunas especies de este género, poseen cierta plasticidad adaptativa a condiciones de perturbación (Jung y Kalko, 2011). Además, es posible, que la presencia de parques eólicos permita que se mantengan en la zona, debido a que los miembros de esta familia habitualmente forrajean en áreas abiertas, necesarias para el óptimo funcionamiento de los

aerogeneradores (Schnitzler y Kalko, 2001). La presencia de especies de las familias Mormoopidae y Molossidae en los sitios dentro y fuera de parques eólicos, coincide con lo reportado por otros autores en Brasil y Puerto Rico en parques eólicos (Barros et al., 2015; Rodríguez-Durán y Feliciano-Robles, 2015).

La actividad (medida mediante pases), no mostró diferencias entre áreas y se contrapone con lo esperado al inicio del trabajo, que refiere a diferencias en la actividad relacionadas con la condición. En otros estudios, tampoco se han observado diferencias entre sitios con ciertos niveles de perturbación (Kraker-Castañeda et al. 2013; Estrada et al., 2004). Lo anterior, se atribuye a que todos los sitios de esta investigación se ubican en una matriz de agricultura y ganadería con procesos significativos de fragmentación y pérdida en la cobertura vegetal (Velázquez et al., 2003; Muñoz et al., 2016). Sin embargo, no debe descartarse la existencia de mortandad debido a choques, y aunque en este estudio no se realizó búsqueda de cadáveres de murciélagos, en un parque eólico cercano al área de este estudio se registró una tasa de mortandad de 2.18-20.20 individuos por turbina por año (Bolívar-Cimé et al., 2016).

En el caso de la actividad por temporadas, la mayor actividad se presentó durante lluvias, es posible debido a que durante esta temporada existe una mayor cantidad de alimento. Y se contrapone con lo encontrado en otros estudios (MacSwiney et al. 2009; López-González et al, 2016), donde registraron una mayor actividad durante la temporada seca, pero en sitios con presencia de cuerpos de agua, que puede atribuirse a la necesidad de hidratación de los murciélagos y disponibilidad de alimento que significan estos sitios.

Por otro lado, se obtuvo un bajo porcentaje de eventos de caza, si se compara con lo obtenido en sitios con cenotes y sin ellos en la región Neotropical (2111 pases, 665 eventos de caza en total, MacSwiney et al., 2009). A pesar de que el área dentro de parques eólicos,

registró casi la totalidad de eventos de caza y que la diferencia entre condiciones es significativa, el bajo número de estos en relación con otras regiones, sugiere que la zona es usada en mayor medida como un área de paso de las especies hacia otros sitios con mayores recursos, como canales y/o ríos. Esto, porque los sitios de grabación, no estuvieron cercanos o en cuerpos de agua y fragmentos de vegetación conservada, elementos del paisaje, que ha sido reportados de importancia para los murciélagos (Fiedler, 2002; Muñoz et al., 2016).

Los horarios de actividad de los murciélagos en zonas con parques eólicos, no han sido medidos anteriormente en el Neotrópico. Los horarios registrados por familia, estuvieron acotados a las primeras horas de la noche, lo que coincide con lo reportado en otros trabajos (Agosta et al., 2005). Se encontraron diferencias de actividad entre horas, lo que concuerda con lo que se ha reportado para la actividad de algunos insectos, de los cuales se alimentan los murciélagos de estas familias (Rydell et al., 1996). Por tanto, y al considerar que existe mortalidad en los parques eólicos por otros estudios en la región (Bolívar-Cimé et al., 2016) y que la actividad en el área de estudio se concentra en las primeras horas del atardecer y la noche, se sugiere la programación de altos al funcionamiento de los aerogeneradores en estos horarios, lo que podría beneficiar a las poblaciones de murciélagos estudiadas.

En los análisis de capítulo IV, la actividad fue expresada en pases promedio por hora, para lo cual se revelaron diferencias de uno de los dos sitios sin aerogeneradores (sitio 5) con el mayor número de pases promedio por hora. Esto sugiere, que hay un efecto de la presencia de los aerogeneradores en la actividad de murciélagos. Sin embargo, esta diferencia no es muy clara en el sitio 6 que a pesar de no poseer aerogeneradores, se ubicó en la cuarta posición de acuerdo al número promedio de pases/hora. La diferencia se podría

explicar con otras características de los sitios de muestreo como presencia de cuerpos de agua, configuración del paisaje y variables ambientales. Para estas variables, ha sido documentado que tienen un efecto importante en la actividad de murciélagos y podrían estar interviniendo para que la actividad sea mayor, aún con el efecto de los aerogeneradores (Ávila-Flores y Fenton, 2005; Bolívar-Cimé et al., 2016; Burles et al., 2009; Erickson y West, 2002; Fiedler, 2004; Lewis, 1993; Muñoz et al., 2016).

En los dos trabajos que se han realizado en parques eólicos en México, uno de los principales objetivos fue reportar las especies y el número de carcadas halladas por impacto con las aspas de los aerogeneradores (Bolívar-Cimé et al., 2016) y determinar la diversidad y composición de especie antes y durante la instalación de un parque eólico (Briones-Salas et al., 2017). Aun así, es posible inferir a través de sus datos de cadáveres (sólo se consideró el caso de Bolívar-Cimé et al., 2016; el estudio de Briones-Salas et al. 2017 uso redes de niebla, por lo que la presencia de insectívoros esta subestimada) que registran una alta presencia de murciélagos de la familia Mormoopidae, sobre todo de *P. davyi* y de dos especies de molósidos. Lo anterior, es consistente con lo que encontramos en cuanto a número promedio de pases/hora en nuestros sitios de muestreo, si se consideran estos pases como un indicador de posible abundancia; mayor actividad de murciélagos podría sugerir mayor número de ejemplares volando cerca de las aspas, lo que eleva la posibilidad de impacto y registro de carcadas. Para parques eólicos en Puerto Rico (Rodríguez-Durán y Feliciano-Robles, 2015), los datos de esta investigación coinciden parcialmente, debido a que aunque reportan carcadas de una especie de mormópido (*Mormoops blainvillei*) y dos de molósidos (*Molossus molossus* y *Tadarida brasiliensis*), son estos últimos los que más fueron encontrados muertos por choques con aspas de aerogeneradores. Algo similar ocurre si se comparan los datos con los de parques eólicos en Rio Grande del Sur en Brasil (Barros

et al., 2015), el mayor número de muertes por choque pertenecen a individuos de la familia molosidae (*Tadarida brasiliensis*) por lo que atribuimos estas discrepancias a las diferencias en composición y abundancia de especies de ese país con el área de estudio.

El análisis de diversidad de orden 0D , 1D y 2D entre los sitios de muestreo no reveló diferencias significativas; esto debido a que los intervalos de confianza para cada valor entre los sitios se traslaparon. Particularmente para la diversidad de orden 1 y orden 2, se observa que la baja diferenciación de la diversidad entre sitios, se debe a la presencia de dos sonotipos dominantes en el número de pases (abundancia) y que también fueron las más comunes, debido a que representaron 82.42% del total de pases registrados en todos los sitios de muestreo (*Pteronotus davyi* y *Molossus* sp, 2208 y 1219 pases respectivamente, Tabla 2).

Por último, la similitud medida a través del índice de Morisita entre sitios fue muy alta (mayor a 0.9), lo que apoya lo encontrado para los índices de diversidad, donde todos los sitios (con aerogeneradores y sin ellos) mantuvieron una estructura similar en número de especies y especies que dominaron el número de pases/promedio. Lo que resultó en poca diversidad y gran similitud entre sitios; el sitio 3 fue el más disímil del resto, con poco más de 0.8, en los datos de diversidad fue uno de los de menor número de especies efectivas, sólo por encima del sitio 5; que tuvo el menor número de pases y menor número de horas de muestreo, lo que pudo afectar la detección de especies (pases) y con ellos la diversidad y similitud con el resto de los sitios.

Literatura Citada

- Agosta, S. J., Morton, D., Marsh, B. D. y Kuhn, K. M. 2005. Nightly, seasonal, and yearly patterns of bat activity at night roosts in the Central Appalachians. *Journal of Mammalogy* 86: 1210-1219.
- Ávila-Flores, R. y Fenton, M. B. 2005. Use of spatial feature by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of Mammalogy* 86: 1193-1204.
- Barclay, R. M. R., Fullard, J. H. y Jacobs, D. S. 1999. Variation in the echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*): influence of body size, habitat structure, and geographic location. *Canadian Journal of Zoology* 77: 530-534.
- Barros, M. A. S., Gastal de M., R. y Rui, A. M. 2015. Species composition and mortality of bats at the Osório Wind Farm, southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 1: 1-9.
- Bolívar-Cimé, B., Bolívar-Cimé, A., Cabrera-Cruz, S. A., Muñoz-Jiménez, Ó. y Villegas-Patracá, R. 2016. Bats in a tropical wind farm: species composition and importance of the spatial attributes of vegetation cover on bat fatalities. *Journal of Mammalogy* 97: 1197-1208.
- Briones-Salas, M., Peralta-Pérez, M. y García-Luis, M. 2013. Acoustic characterization of new species of bats for the State of Oaxaca, Mexico. *Therya* 4:15-32.
- Briones-Salas, M., Cortés-Marcial, M. y Lavariega, M. C. 2015. Diversidad y distribución geográfica de los mamíferos terrestres del estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86: 685-710.
- Briones-Salas, M., Lavariega, M. C. y Moreno, C. E. 2017. Effects of a wind farm installation on the understory bat community of a highly biodiverse tropical region in Mexico. *Peer J*, 1-19.

- Burles, D. W., Brigham, R. M., Ring, R. A. y Reimchen, T. E. 2009. Influence of weather on two insectivorous bats in a temperate Pacific Northwest rainforest. *Canadian Journal of Zoology* 87: 132-138.
- Erickson, J. L. y West, S. D. 2002. The influence of regional climate and nightly weather conditions on activity patterns of insectivorous bats. *Acta Chiropterologica* 4: 17-24.
- Estrada, A., Jiménez, C., Rivera, A., y Fuentes, E. 2004. General bat activity measured with an ultrasound detector in a fragmented tropical landscape in Los Tuxtlas, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation* 2: 5-13.
- Fiedler, J. K. 2002. Bat activity and mortality at Buffalo Mountain Windfarm, eastern Tennessee. Tesis doctoral. University of Tennessee. Knoxville, E.U.A.
- García L., M. 2013. *Monitoreo acústico de murciélagos insectívoros en los Valles Centrales de Oaxaca*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, Oaxaca, 67 p.
- Gómez R., E. P. 2006. *Actividad de murciélagos (Chiroptera) en cuerpos de agua y su relación con variables ambientales en la reserva de la biosfera La Michilía, Durango*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Durango, Durango, 84 p.
- Guevara-Carrizales, A., Zamora-Gutiérrez, V., Gonzáles-Gómez, R. y Martínez-Gallardo, R. 2013. Catálogo de los murciélagos de la región del delta del Río Colorado, México. *Therya* 4: 47-60.

- Jung, K. y Kalko, E. K. V. 2010. Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy* 91: 144-153.
- Jung, K. y Kalko, E. K. V. 2011. Adaptability and vulnerability of high flying Neotropical aerial insectivorous bats to urbanization. *Diversity and Distributions* 17: 262–274.
- Kraker-Castañeda, C., Santos-Moreno, A. y García-García, J. L. 2013. Riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros aéreos en una selva tropical y pastizales en Oaxaca, Mexico. *Mastozoología Neotropical* 20: 255-267.
- León-Tapia, M. Á. y Hortelano-Moncada, Y. 2016. Richness of insectivorous bats in a chaparral area in the municipality of Tecate, Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 1055-1061.
- Lewis, S. E. 1993. Effect of climatic variation on reproduction by pallid bats (*Antrozous pallidus*). *Canadian Journal of Zoology* 71: 1429-1433.
- Lin, A., Jiang, T., Kanwal, J. S., Lu, G., Luo, J., Wei, X., Luo, B. y Feng, J. 2015. Geographical variation in echolocation vocalizations of the Himalayan leaf-nosed bat: contribution of morphological variation and cultural drift. *Oikos* 124: 364-371.
- López-González, C., Lozano, A., Gómez-Ruiz, E. P. y López-Wilchis, R. 2016. Activity of insectivorous bats is related to water availability in a highly modified Mexican temperate forest. *Acta Chiropterologica*, 18: 409-421.
- Luo, J., Koselj, K., Zsebok, S., Siemers, B. M. y Goerlitz, H. R. 2014. Global warming alters sound transmission: differential impact on the prey detection ability of echolocating bats. *Journal of the Royal Society, Interface* 11: 20130961.
- MacSwiney G., M.C., Bolívar C., B., Clarke, F. M. y Racey, P. A. 2008. Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica* 11: 139-

147.

Mittermeier, R. y C. Goettsch. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México.

En: Sarukhán, J. y R. Dirzo (comps.). México ante los retos de la biodiversidad.

Conabio. México.

MacSwiney G., M. C., Clarke, F. M. y Racey, P. A. 2009. 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.

Monadjem, A., Shapiro, J. T., Mtsetfwa, F., Reside, A. E. y McCleery, R. A. 2017.

Acoustic Call Library and Detection Distances for Bats of Swaziland. *Acta*

Chiropterologica, 19: 175-187.

Muñoz J., O., Villegas P., R., Mac Swiney G., M. C. y López-Acosta, J. C. 2016.

Importancia de los elementos de un paisaje antropizado para la retención de

diversidad de murciélagos en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. En A.

Ramírez-Bautista y R. Pineda-López (Eds.), *Fauna Nativa en ambientes*

antropizados (pp. 115-122). Querétaro: Red ambientes antropizados (REFAMA).

O'Farrell, M. J., Corben, C. y Gannon, W. L. 2000. Geographic variation in the

echolocation calls of the hoary bat (*Lasiurus cinereus*). *Acta Chiropterologica* 2:

185-196.

O'Farrell, M. J. y Miller, B. W. 1999. Use of vocal signatures for the inventory of free-

flying Neotropical bats. *Biotropica*, 31: 507-516.

Orozco-Lugo, L., Guillén-Servent, A., Valenzuela-Galván, D. y Arita, H. T. 2013.

Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos

insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. *Therya* 4: 33-

46.

- Ramírez-Pulido, J., González-Ruiz, N., Gardner, A. L. y Arroyo-Cabrales, J. 2014. List of recent land mammals of México. Special Publications of the Museum of Texas Tech University. Texas, EE UU, 76 p.
- Rodríguez-Durán, A. y Feliciano-Robles, W. 2015. Impact of wind facilities on bats in the Neotropics. *Acta Chiropterologica* 17: 365-370.
- Rodríguez-Aguilar, G., Orozco-Lugo, C. L., Vleut, I. y Vazquez, L. B. 2016. Influence of urbanization on the occurrence and activity of aerial insectivorous bats. *Urban Ecosystems*, 10.1007/s11252-016-0608-3.
- Rydell, J., Entwistle, A. y Racey, P. 1996. Timing of Foraging Flights of Three Species of Bats in Relation to Insect Activity and Predation Risk. *Oikos* 76: 243-252.
- Schnitzler, H. U. y Kalko, E. K. V. 2001. Echolocation by insect-eating bats. *BioScience*, 51: 557-569.
- Smotherman, M. y Guillén-Servent, A. 2008. Doppler-shift compensation behavior by Wagner's mustached bat, *Pteronotus personatus*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123: 4331-4339.
- Szewczak, J. M. 2000. A tethered zip-line arrangement for reliably collecting bat echolocation reference calls. *Bat Research News* 41:142.
- Velázquez, A., Duran, E., Ramírez, I. Masa, J. F., Boccob, G., Ramírez G. y Palacio J. L. 2003. Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13: 175–184.
- Walters, C. L., Freeman, R., Collen, A., Dietz, C., Fenton, M. B., Jones, G., Obrist, M. K., Puechmaille, S., Sattler, T., Siemers, B. M., Parsons, S. y Jones, K. E. 2012. A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology* 49: 1064-1074.

Wickramasinghe, L. P., Harris, S., Jones, G. y Vaughan, N. 2003. Bat activity and species richness on organic and conventional farms: Impact of agricultural intensification. *Journal of Applied Ecology* 40: 984-993.

Zamora-Gutierrez, V., López-Gonzalez, C., Macswiney G., M. C., Fenton, B., Jones, G., Kalko, E. K. V., Puechmaille, S. J., Stathopoulos, V. y Jones, K. E. 2016. Acoustic identification of Mexican bats based on taxonomic and ecological constraints on call design. *Methods in Ecology and Evolution*, doi: 10.1111/2041-210X.12556.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de detección ultrasónica para el estudio de murciélagos en México, ofrece un campo amplio de investigación; el cual puede aportar herramientas para el estudio y conservación de especies que han sido subestimadas mediante métodos de muestreo convencionales. Es importante realizar grabaciones de una misma especie en diferentes regiones y condiciones, para determinar la posible variación intraespecífica e interespecífica de sus llamados a lo largo de su distribución. Esta información, podría ofrecer la posibilidad de realizar estudios comparativos a diferentes escalas en México, y a futuro establecer programas de monitoreo nacional, que incrementen el interés de la sociedad (como en el caso de algunos países europeos) para dar seguimiento a las poblaciones de murciélagos y conocer el estado de conservación que guardan.

En algunos países como Reino Unido, Bulgaria y Rusia, la estrategia para alcanzar una mejor representación y seguimiento de las poblaciones de murciélagos mediante este método ha sido la ciencia ciudadana, donde entrenan a público en general con interés o afición a la conservación a la naturaleza. Así, apoyan cada año en el registro de información sobre murciélagos con detectores proporcionados por instituciones de investigación (www.ibats.org.uk). Aunque también es necesario considerar que algunos de esos países no poseen un número de especies, climas y en algunos casos la diversidad fisiográfica que posee México; lo que complica el establecimiento de estrategias similares.

Se sugiere la implementación de una biblioteca de referencia nacional y la creación de bibliotecas regionales, así como la estandarización de métodos de muestreo, que permitan tener una caracterización completa de los sonidos de ecolocalización de los murciélagos a nivel nacional. Para lograrlo, se deberá incrementar el número de personas

que trabajen con esta herramienta y sean capaces de generar preguntas de interés biológico, que contribuyan a la conservación y aprovechamiento de estos mamíferos.

En el caso del establecimiento de parques eólicos en México, la información sobre el efecto que tienen estas instalaciones en la diversidad y actividad de murciélagos insectívoros es escasa, y nuestros análisis al respecto no son claros. Sin embargo, la identificación de horas de mayor actividad de las especies, puede apoyar la creación de estrategias para mitigar el impacto de estas instalaciones en las poblaciones de murciélagos insectívoros de la zona. Además, es necesario realizar estudios que implementen búsqueda de carcasas, registro de especies con redes de niebla y detectores ultrasónicos, así como considerar la configuración del paisaje, disponibilidad de alimento, presencia de cuerpos de agua, entre otros; lo que puede contribuir a entender mejor la dinámica que siguen estos organismos ante este tipo de perturbaciones.