

Therya

Volumen 4

Número 1

abril 2013



Stealth Cam 10-31-2011 11:36:37



www.mastozoologiamexicana.org
AMMAC

La Portada

La presente fotografía fue tomada en el aguaje el Zamora Sierra Santa Isabel. Un hato de borregos cimarrones (*Ovis canadensis*) que ejemplifican el sistema de reproducción, en donde un macho se aparea con varias hembras (poliginia). La foto fue tomada con una trampa cámara marca Stealth Cam, con una resolución de pixel de 5.0 y velocidad del obturador de 1 segundo, la cámara fue colocada dentro del aguaje con el objetivo de realizar fotografías de frente. Este proyecto fue financiado por The Desert Bighorn Council's y la Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias [Foto tomada por el equipo Jonathan Gabriel Escobar Flores y Roberto Martínez Gallardo. Foto galardonada con el primer lugar en la categoría de fototrampeo en el congreso de la AMMAC en Xalapa, Veracruz 2012].

Nuestro logo "Ozomatli"

El nombre de "Ozomatli" proviene del náhuatl se refiere al símbolo astrológico del mono en el calendario azteca, así como al dios de la danza y del fuego. Se relaciona con la alegría, la danza, el canto, las habilidades. Al signo decimoprimeros en la cosmogonía mexicana. "Ozomatli" es una representación pictórica de los mono arañas (*Ateles geoffroyi*). La especie de primate de más amplia distribución en México.

"Es habitante de los bosques, sobre todo de los que están por donde sale el sol en Anáhuac. Tiene el dorso pequeño, es barrigudo y su cola, que a veces se enrosca, es larga. Sus manos y sus pies parecen de hombre; también sus uñas. Los Ozomatin gritan y silban y hacen visajes a la gente. Arrojan piedras y palos. Su cara es casi como la de una persona, pero tienen mucho pelo."

Therya

Volumen 4, número 1

Abril 2013

Contenido

Carta al Editor: Atlas biogeográfico de los mamíferos terrestres de América del Norte: una nueva opción en internet. <i>Tania Escalante</i> _____	5
Editorial: Ecolocalización (una visión a los quirópteros). <i>Patricia Cortés-Calva</i> _____	9
Acoustic characterization of new species of bats for the State of Oaxaca, Mexico. <i>Miguel Briones-Salas, Mario Peralta-Pérez and Margarita García-Luis</i> _____	15
Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México. <i>Lorena Orozco-Lugo, Antonio Guillén-Servent, David Valenzuela-Galván y Héctor T. Arita</i> _____	33
Catálogo de los murciélagos de la región del delta del Río Colorado, México. <i>Aldo A. Guevara-Carrizales, Verónica Zamora-Gutiérrez, Ricardo González-Gómez y Roberto Martínez-Gallardo</i> _____	47
Comparación de sistemas de detección ultrasónica para actividad relativa de murciélagos insectívoros. <i>Antonio Santos-Moreno y Cristian Kraker-Castañeda</i> _____	61
Acoustic monitoring of bats, considerations of options for long-term monitoring. <i>Winifred F. Frick</i> _____	69
Primera biblioteca de llamadas de ecolocalización de murciélagos del Ecuador. <i>Pamela Rivera-Parra y Santiago F. Burneo</i> _____	79
Abundancia de tepezcuintle (<i>Cuniculus paca</i>) y relación de su presencia con la de competidores y depredadores en una selva tropical <i>Antonio Santos-Moreno y Gabriela Pérez-Irineo</i> _____	89

First records of the Ocelot (<i>Leopardus pardalis</i>) in the state of Hidalgo, Mexico. <i>Sergio Daniel Hernández-Flores, Guadalupe Vargas-Licona and Gerardo Sánchez-Rojas</i>	99
Conocimiento y usos de <i>Odocoileus virginianus</i> en Santo Domingo Tonalá, Oaxaca. <i>Alejandro Flores-Manzanero, Graciela Eugenia González-Pérez, Marco Antonio Vásquez-Dávila y Gladys Isabel Manzanero-Medina</i>	103
Primer registro de alimentación oportunista de ballena jorobada (<i>Megaptera novaeangliae</i>) en la costa de Oaxaca, México. <i>Francisco Villegas-Zurita y Fátima Castillejos-Moguel</i>	113
Diversidad de murciélagos en cuatro tipos de bosque de la Sierra Norte de Oaxaca, México. <i>Jaime M. Calderón-Patrón, Miguel Briones-Salas y Claudia E. Moreno</i>	121
Los mamíferos de la cuenca del río Chinchiná, en la región andina de Colombia. <i>Sergio Escobar-Lasso, Juliana Cerón-Cardona y John Harold Castaño-Salazar</i>	139
Morfometría geométrica craneal en tres especies de roedores arborícolas neotropicales (Rodentia: Cricetidae: Rhipidomys) en Venezuela. <i>Franger J. García y Elvira Sánchez-González</i>	157
<i>In Memoriam: Dr. Roberto Martínez Gallardo (1961-2013)</i> <i>Miguel Briones-Salas, Victor Sánchez-Cordero, Javier Sosa-Escalante, Consuelo Lorenzo, Raquel Biciego, Gerardo Sánchez-Rojas, Jorge Vargas-Contreras y Rosa María Gómez</i>	179

fascículo 10 http://www.mastozoologiamexicana.org/doi/10.12933/therya-4_1/therya-4_1

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS, año 4, No. 1, enero-abril de 2013, es una publicación cuatrimestral editada por la Asociación Mexicana de Mastozoología A. C., Moneda 14, Colonia Centro, Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06060, tel. (612) 123-8486, www.mastozoologiamexicana.org, therya@cibnor.mx. Editor responsable: Dr. Sergio Ticul Álvarez Castañeda. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2009-112812171700-102, ISSN: 2007-3364 ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de informática de la Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. Dr. Sergio Ticul Álvarez Castañeda, Instituto Politécnico Nacional 195, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23096, Tel 612 123 8486, fecha de la última modificación 20 abril 2013.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C.

THERYA agradece de manera especial la colaboración de Lic. Gerardo R. Hernández García en la edición gráfica editorial para esta revista.

Therya

El objetivo y la intención de Therya es ser una revista científica para la publicación de artículos sobre los mamíferos. Estudios de investigación original, editoriales, artículos de revisión y notas científicas son bienvenidas.

Sergio Ticul Álvarez Castañeda. Editor general. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Instituto Politécnico Nacional 195. La Paz, Baja California Sur, México 23096. E-mail: sticul@cibnor.mx.

Juan Pablo Gallo Reynoso. Editor asociado de artículos. Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo. Laboratorio de Ecofisiología. Carretera a Varadero Nacional km 6.6. Col. Las Playitas. Guaymas, Sonora 85480. E-mail: jpgallo@ciad.mx.

William Z. Lidicker, Jr. Editor asociado de artículos. Museum of Vertebrate Zoology. University of California. Berkeley, CA 94720 USA. E-mail: wlidicker@berkeley.edu

Consuelo Lorenzo Monterrubio. Editor asociado de artículos. El Colegio de la Frontera Sur. Área Conservación de la Biodiversidad. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas C.P. 29290. E-mail: clorenzo@ecosur.mx.

Jesús E. Maldonado. Editor asociado de artículos. Center for Conservation and Evolutionary Genetics. National Zoological Park. National Museum of Natural History. Smithsonian Institution. PO Box 37012 MRC 5503. Washington, D. C. 20013-7012. E-mail: maldonadoj@si.edu.

Jan Schipper. Editor asociado de artículos. Arizona State University-West, 4701 Thunderbird Road, Glendale, Phoenix, AZ 85069, USA. E-mail: jan@sierra2sea.org.

Patricia Cortés Calva. Editor invitado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Instituto Politécnico Nacional 195. La Paz, Baja California Sur, México 23096. E-mail: pcortes04@cibnor.mx.

Gerardo R. Hernández García. Diseño Gráfico y Editorial. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Departamento de Extensión y Divulgación Científica. Instituto Politécnico Nacional 195. La Paz, Baja California Sur, México 23096. E-mail: ggarcia04@cibnor.mx.

Carta al Editor

Atlas biogeográfico de los mamíferos terrestres de América del Norte: una nueva opción en internet

Los atlas biogeográficos constituyen la síntesis de los patrones de distribución de taxones de un área geográfica y su importancia radica en que permiten identificar sitios claves que pueden considerarse prioridades de conservación y uso sustentable. La elaboración de un atlas biogeográfico posee varias etapas: preparación de una base de datos con distribuciones geográficas, identificación de los patrones biogeográficos y preparación formal del atlas. Esta última etapa involucra poner el atlas a disposición de la comunidad científica y de la sociedad en general.

El Internet es el sistema actual por el que hoy en día se comparte una gran cantidad de datos de diferentes tipos, destacando los académico-científicos. Este gran flujo de datos permite la fácil comunicación y sobre todo el intercambio de información relevante para el quehacer científico. En particular, la biogeografía se ha visto beneficiada con estas tecnologías. Recientemente se ha publicado un sitio web que permite acceder a los datos que conforman el "Atlas Biogeográfico de los Mamíferos Terrestres de América del Norte" (www.atlasbiogeografico.com).

En 2003, se publicaron los inicios del atlas, a partir de una base de datos con 56,859 registros de 425 especies de México, con datos de ejemplares de colecciones biológicas (Escalante 2003). Posteriormente, durante 2005 a 2007 se incorporaron más registros, dando un total de 150,872 registros georreferidos de 444 especies de mamíferos mexicanos, provenientes de colecciones biológicas, bibliografía y otras bases de datos. Esta base de datos se llamó MamMex (Mamíferos de México) y contenía además datos de otras fuentes (Sánchez-Cordero 2004; García-Marmolejo *et al.* 2008; Escalante y Martínez-Meyer en prensa) y de bases de datos en línea (Mammal Networked Information System, <http://manisnet.org/>; Global Biodiversity Information Facility, <http://www.gbif.org/>); Conabio, http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html e Instituto de Biología-UNAM, <http://unibio.ibiologia.unam.mx/>).

Entre los años de 2008 a 2011, se compiló una base de datos más grande llamada MamNA. Esta base de datos incorpora a MamMex y

se le agregaron registros de especies de América del Norte, distribuidas desde Alaska y Canadá hasta Panamá (Escalante y Rodríguez-Tapia 2011). MamNA es una base de datos biológica-geográfica implementada en PostgreSQL (<http://www.postgresql.org/>), y contiene 245,818 registros únicos de 710 especies de 11 órdenes de mamíferos.

El grupo de trabajo de Biogeografía de la Conservación de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Autónoma de México y otros colegas (<http://biogeoconserv.blogspot.mx/>) mantienen activamente el atlas, el cual es un portal bilingüe, con actualización constante y amplias posibilidades de crecimiento. Todos los mapas han sido elaborados en ArcView 3.1 (ESRI 1998), y con herramientas de PostGIS (<http://postgis.refractory.net/>). La cobertura geográfica del atlas incluye en América, los límites continentales y geopolíticos desde Canadá y Alaska hasta Panamá, desde los 70° hasta los 7° de latitud norte. Aunque se han registrado aproximadamente 744 especies de mamíferos terrestres en esta área (Rodríguez y Rodríguez-Tapia 2007), no todas estas especies tienen datos puntuales de registro en MamNA, por lo que el atlas sólo contiene datos de 710 especies, incluyendo las especies de las islas de México que se mantuvieron a partir de MamMex. Para alrededor de 400 especies se presentan fotografías obtenidas de otros portales con sus respectivos créditos.

El atlas incluye una sección de Marco teórico, donde se presenta una breve descripción de cada uno de los elementos y mapas del portal web, con explicación teórico-metodológica de elaboración de los mapas y referencias bibliográficas. En el atlas existen 683 mapas puntuales de registro de las especies de MamNA. Algunos de los mapas, con especies de distribuciones microareales, presentan un acercamiento a las mismas. Además, se muestran 672 mapas con trazos individuales, para aquellas especies que tienen dos o más localidades, elaborados con la herramienta Trazos2004 (Rojas-Parra 2007). Se incluyen 667 modelos de distribución de especies elaborados con MaxEnt (Phillips *et al.* 2006), para especies con más de tres localidades. Los parámetros y variables ambientales con las que se elaboraron los modelos se explican en la página web. También hasta el momento se presentan 35 mapas de la distribución actual y futuros bajo escenarios de cambio climático (A2 y B2) de los años 2020, 2050 y 2080, para cinco especies de roedores del Desierto Chihuahuense (*Chaetodipus nelsoni*, *Peromyscus nasutus*, *P. pectoralis*, *Onychomys arenicola* y *Sigmodon ochrognathus*). Finalmente, se elaboraron 654 mapas que representan áreas de distribución de especies, inferidas a partir de los modelos de distribución y acotados con diferentes criterios (ver página web, sección Marco teórico). Adicionalmente existe una sección de patrones biogeográficos, con mapas de riqueza de especies para cada orden, así como uno para todas las especies en el área de estudio, a partir de la suma de los modelos de distribución.

Es evidente que un atlas biogeográfico que incluya todos los patrones de distribución conocidos es una tarea descomunal. Este atlas no se considera terminado, ya que aún será necesario mantenerlo actualizado respecto a cambios nomenclaturales, verificación de georreferencias, elaboración de trazos generalizados, cladogramas de áreas, identificación de otros patrones, generación de más modelos de distribución futuros y mapas de prioridades para conservación. La retroalimentación a través de los usuarios, mediante su uso y comentarios, contribuirá a su mejora.

Espero que esta iniciativa sea interesante a la comunidad científica, ya que el atlas podrá ser de gran utilidad para los mastozoológicos de América en trabajos sistemáticos, biogeográficos, evolutivos, ecológicos y de conservación. Para el público en general, el atlas servirá para ampliar el conocimiento sobre la biodiversidad local y regional, en educación ambiental y como una fuente confiable para tareas escolares.

La página web fue desarrollada con el financiamiento del proyecto PAPIME PE202012, DGAPA-UNAM. J. J. Morrone, G. Rodríguez-Tapia, I. Celis, F. Merino, J. J. Ramírez, G. Ramírez de Arellano, X. Soto y E. Merced colaboraron en el análisis de datos, elaboración de mapas, imágenes, textos, búsqueda de fotografías, administración de la base de datos, y diseño y administración de la página web.

Tania Escalante

Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-399, Ciudad de México 04510, Distrito Federal, México.
E-mail: tee@ibunam2.ibiologia.unam.mx

Literatura citada

- ESCALANTE, T. 2003.** Avances en el atlas biogeográfico de los mamíferos terrestres de México. Pp. 297-302 in Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía (Morrone, J. J., y J. Llorente, eds.). Las Prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- ESCALANTE, T., y E. MARTÍNEZ-MEYER.** En prensa. Ecological niche modeling and Wildlife management units (UMAs) in Mexico: An application to deer in Campeche. Tropical and Subtropical Agroecosystems.
- ESCALANTE, T., y G. RODRÍGUEZ-TAPIA.** 2011. Base de datos geoespacial de mamíferos terrestres de América del Norte: una aproximación a sus patrones biogeográficos y conservación. Pp. 110-113 in Memorias de la XIX Reunión Nacional SELPER-México, (Mas, F., G. Cuevas, y R. González, comps.). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, México.
- ESRI.** 1998. ArcView 3.1 GIS. Environmental Systems Research Institute, Inc.
- GARCÍA-MARMOLEJO, G., T. ESCALANTE, y J. J. MORRONE.** 2008. Establecimiento de

prioridades para la conservación de mamíferos terrestres neotropicales de México. *Mastozoología Neotropical* 15:41-65.

PHILLIPS, S. J., R. P. ANDERSON, Y R. E. SCHAPIRE. 2006. A maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.

RODRÍGUEZ, P., Y G. RODRÍGUEZ-TAPIA. 2007. Escalas y gradientes de diversidad de los mamíferos de América del Norte. Pp. 125-134 in *Tópicos en sistemática, biogeografía, ecología y conservación de mamíferos* (Sánchez-Rojas, G., y A. E. Rojas-Martínez, eds.). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, México.

ROJAS-PARRA, C. A. 2007. Una herramienta automatizada para realizar análisis panbiogeográficos. *Biogeografía* 1:31-33.

SÁNCHEZ-CORDERO, V. 2004. Evaluación en la asignación de las categorías de riesgo de todas las especies de mamíferos terrestres de México, incluyendo las que se encuentran en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-94) usando un método cuantitativo. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO Proyecto No. U032. Ciudad de México, México.

Editorial

ECOLOCALIZACIÓN (UNA VISIÓN A LOS QUIRÓPTEROS)

“La habilidad de reconocer las variaciones en el sonido, es lo que permite que nos podamos entender unos con otros. No existen dos personas que pronuncien las vocales y las consonantes de la misma manera; pero somos capaces de reconocer las similitudes”, Nobuo Suga.

El sonido es un fenómeno vibratorio transmitido en forma de ondas (audibles o no). Las vibraciones viajan a través de diversos medios (agua y aire), lo que permite una alteración de distancia entre las moléculas creando zonas de compresión y rarefacción. El sonido puede representarse como un movimiento ondulatorio con longitud de onda (λ , periodo espacial existente entre dos pulsos consecutivos que poseen la misma fase); frecuencia (f , es el número de repeticiones por unidad de tiempo de un suceso periódico), amplitud (indica la energía que contiene la señal) y fase (es la fracción del periodo transcurrido desde el estado inicial, varía cíclicamente).

En la vida silvestre, cada especie posee la habilidad de reconocer las variaciones en el sonido, lo que le permite comunicarse y tener identidad. En los mamíferos destacan los cetáceos y los quirópteros, quienes poseen estrategias de emisión y percepción de sonidos e interpretan los ecos que se generan en su entorno, a este mecanismo se le denomina ecolocalización, término acuñado hace aproximadamente 69 años por el zoólogo Donald Griffin.

Actualmente la ecolocalización es un campo que involucra estudios con enfoques diversos, que incluyen la fisiología comparada, neurociencia, robótica, computación y bioacústica. La finalidad es efectuar aproximaciones que ayuden a entender mejor los procesos biológicos; uno de los grupos que involucra este tema de manera directa es el de los quirópteros, los únicos mamíferos voladores nocturnos, que exploran su entorno con señales ultrasónicas y que poseen la capacidad de navegar y cazar mediante el sonido.

El origen de la ecolocalización en murciélagos, es un tema que incluye una serie de hipótesis (Speakman 2001). Con base en caracteres de topología de ecolocalización, se asume que el ancestro de los murciélagos emitía llamadas con la boca y nariz, de ciclos de baja resistencia y alta intensidad y que con el paso del tiempo las

vocalizaciones se transformaron para adquirir información del entorno (Fenton 1984) y muestren un alto grado de diferenciación (Obris 1995).

Aunque existen limitantes físicas que modifican los ultrasonidos (dispersión geométrica, reflexión, absorción, refracción, efecto Doppler), los murciélagos tienen la capacidad de hacer una representación de su entorno cercano aproximadamente 5 m a su alrededor; navegan y buscan su alimento en distintos ambientes y de estructura vegetal diferente; emiten, reciben y procesan con gran eficacia señales ultrasónicas con gran ancho de banda entre 20 y 100 kHz, permitiendo localizar insectos, y compensar el efecto Doppler producido por el movimiento relativo de su presa. Sumado a esto han desarrollado la habilidad de cancelar la interferencia ultrasónica de individuos de otras especies que ocurran espacial y temporalmente en su entorno.

La diversidad de especies de murciélagos ha sido utilizada en el contexto filogenético, por lo que se han propuesto subdivisiones en el Orden Chiroptera, algunos considerando la morfología y ecolocalización, definiéndolos como Microchiroptera y Megachiroptera (Simmons y Geisler 1998); otro criterio que se ha considerado es la manera de generar los sonidos, definiendo los Subordenes de los Chiroptera en Yinpterochiroptera (manera lingual) y Yangochiroptera (forma laríngea; Koopman 1985), análisis moleculares apoyan esta subdivisión (Teeling *et al.* 2005; Fenton 2010).

Los murciélagos clasificados como Yangochiroptera incluyen a la mayoría de las familias de Microquirópteros, excepto a Rhinopomatidae, Rhinolophidae y Megadermatidae, son la mayoría insectívoros de amplia distribución y eco localizan con la laringe. Los Yinpterochiroptera incluyen a los Megaquirópteros, o murciélagos del Viejo Mundo, comedores de fruta y/o néctar, su distribución se asocia a ambientes tropicales de África e Indo Australia, algunas especies no ecolocalizan como tal, usan sonidos, producidos por la boca, estructuras nasales y lengua.

Los Microquirópteros o Yangochiroptera, han sido clasificados de acuerdo con la naturaleza de emisión de pulsos de ecolocalización, en función de si producen señales que son principalmente señales de frecuencia constante (FC), o si emiten señales de frecuencia moduladas (FM), o una combinación de señales de FM y FC (Kalko y Schnitzler 1993).

Hoy en día nuestra visión de la historia natural de los murciélagos es estrechamente vinculada a la ecolocalización. La identificación de especies de murciélagos mediante monitores acústicos ha permitido generar información acerca de registros de presencia/ausencia, uso de hábitat, y patrones de actividad, estas aproximaciones han sido documentadas en ambientes templados y tropicales principalmente.

La creación de instrumentos que poseen un detector ultrasónico

capaz de captar y transferir las llamadas de los murciélagos en señales audibles para el oído humano, ha incrementado la habilidad para entender procesos ecológicos de los murciélagos. La ecolocalización de murciélagos se ha abordado principalmente mediante el uso de instrumentos que utilizan diferentes métodos de detección como son el sistema heterodino, división de frecuencia y expansión de tiempo (Humes *et al.* 1999; O'Farrell *et al.* 1999; Fenton 2000, Corben y Fellers 2001).

El sistema heterodino es el método de conversión más común, es una técnica de banda estrecha, lo que significa que sólo un intervalo de frecuencias se hace audible en un tiempo. El ancho del intervalo de frecuencias que se transforma es determinado por un filtro en el detector y es aproximadamente de 10 kHz. El control de ajuste es utilizado para establecer la frecuencia central de los intervalos de frecuencias a transformarse, es decir, para establecer una frecuencia de 40 kHz se generan frecuencias audibles entre 35 y 45 kHz. Se considera un método de tiempo real, es decir que el sonido que recibe y emite el detector es el sonido que emite el murciélago en ese mismo tiempo; es un equipo económico, de uso simple, pero requiere que se le especifique la frecuencia de detección; funciona a partir de 10 kHz y puede registrar valores superiores a 130 kHz; es muy sensible y dependiente de la posición del sintonizador.

Los detectores de división de frecuencia dividen la frecuencia entrante por un valor preestablecido para obtener una representación audible de la llamada, elimina la estructura de armónicos. Sólo utiliza el armónico de mayor energía, pero no conserva información acerca de la amplitud; registra los valores más altos de las mediciones mínimas y los valores más bajos de las frecuencias altas (Fenton *et al.* 2001).

Los detectores acústicos programados en expansión de tiempo, describen y clasifican las llamadas de ecolocalización, estos permiten tener información detallada de todas las características de las señales. Detectan más llamadas por unidad de tiempo y supuestamente a grandes distancias (Fenton *et al.* 2001). Una vez seleccionado el pulso de grabación, tienen como desventaja que mientras esta descargando no puede estar registrando llamadas de ecolocalización (comúnmente 20 seg. por descarga).

Los detectores ultrasónicos son el resultado del avance tecnológico militarizado, que gradualmente se ha puesto al alcance de otras disciplinas, entre ellas la biología. En la década de los 80's, existió el auge en el uso de los detectores ultrasónicos aplicados a estudios biológicos, destacando el enfoque hacia la ecolocalización de murciélagos. Aunque ya se tenía conocimiento y uso de micrófonos en una versión sencilla (micrófonos piezoeléctricos), es hasta hace dos décadas que el uso de los distintos sistemas de captación de

ultrasonido permiten entender parte de la biología de quirópteros.

En Europa se realizan desde hace casi 30 años estudios sobre ecolocalización de murciélagos, emplearon principalmente los sistemas heterodino y expansión en tiempo (Pettersson Elektronik AB, Uppsala, Suecia). En Norte América se utiliza con mayor frecuencia los detectores con sistema de división de frecuencia (AnaBat™), dando paso a la creación de los primeros estudios y bibliotecas de sonotipos. En México se inician los primeros trabajos con monitoreo no invasivos en la década de los 90's, quizá debido a la cercanía e influencia con Estados Unidos y Canadá se ha venido utilizando principalmente la tecnología del detector de división de frecuencia.

Los estudios acústicos que versan sobre alguna temática de murciélagos y que se están llevando a cabo en nuestro país, están cambiando e integrando distinto instrumental y equipo que permite la obtención de datos en campo. Con la mejora de los procesos y tecnología se está permitiendo la adquisición de nuevos equipos, tales como micrófonos de menor costo (UltraMic200K, Roma, Italia). No se ha determinado el detector de murciélagos o paquete de análisis óptimo, cada método tiene ventajas y costos y estos deben ser considerados cuidadosamente antes de ser utilizados en los proyectos de investigación, únicamente debemos tener en cuenta la existencia de las limitaciones para cada uno de los diferentes tipos de detectores.

Sigue siendo una necesidad la creación de protocolos que ayuden en la estandarización de la información, ya que aún se tienen deficiencias. Si bien, ya se cuentan con iniciativas que pueden adecuarse a nuestro país, tal como las propuestas por Haynes (1997), Zamora-Gutiérrez y Jones (*comm. pers.*), es tiempo de re ajustar y considerar los parámetros mínimos deseables en campo. Con la finalidad de valorar los sonotipos grabados en cada una de las regiones de México, un país con heterogeneidad ambiental y con gran una riqueza de quirópteros.

Consideramos que la información básica que deben contener los protocolos, incluye las características y especificaciones técnicas del detector utilizado (marca, modelo, tipo de grabador, sistema de grabación, tiempo, ganancia, etc.); información del entorno (temperatura, humedad relativa, fase lunar, tipo de hábitat). Sistema de grabación (heterodino, expansión de tiempo, división de frecuencia); tiempo de grabación (anotar la subdivisión de archivos en intervalos de grabación cortos, con la finalidad de lograr un mejor análisis acústico), incluir un apartado de observaciones (que sirva para incluir las anotaciones del observador en campo, tipo de actividad que efectuaba el murciélago, etc.).

Para el análisis de las grabaciones se debe considerar la estandarización de las herramientas de análisis (software), en el mercado se tiene una variedad (Raven®, SonoBat®, AdobeAudition®).

Se deben considerar los algoritmos para el procesamiento digital de señales ultrasónicas, su buen uso permitirá hacer la depuración de pulsos y generación de espectrogramas. Sugerimos incluir al sonograma información técnica como los valores de la transformada discreta de Fourier, tiempo, amplitud de las ventanas, tipos de filtros usados, etc.

En un futuro próximo se debe fomentar la creación de biblioteca de llamadas de ecolocalización, en las que encontremos, la base de datos organizada de manera sistematizada, que permita utilizar la información en diferentes estudios. Se sabe de la importancia de las bibliotecas de ecolocalización, ya que deben ser depositarias de los archivo originales, que contengan la hoja de registro, los archivos depurados, el espectrograma y sonograma, para que en un futuro se puedan aprovechar las plataformas electrónicas para uso público.

Patricia Cortés-Calva

Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.
Instituto Politécnico Nacional 195. La Paz, Baja California Sur
23096, México.
E-mail: pcortes04@cibnor.mx

Literatura citada

- CORBEN, C., y G. M. FELLERS.** 2001. Choosing the 'correct' bat detector - a reply. *Acta Chiropterologica* 3:253-256.
- FENTON, M. B.** 1984. Echolocation; implications for the ecology and evolution of bats. *Quarterly Review of Biology* 59:33-53
- FENTON, M. B.** 2000. Choosing the 'correct' bat detector. *Acta Chiropterologica* 2:215-224.
- FENTON, M. B.** 2010. Convergences in the diversification of bats. *Current Zoology* 56:454-468.
- FENTON, M. B., S. BOUCHARD, M. J. VONHOF, y J. ZIGOURIS.** 2001. Time-expansion and zero-crossing period meter systems present significantly different views of echolocation calls of bats. *Journal of Mammalogy* 82:721-727.
- HAYES, J. P.** 1997. Temporal variation in activity of bats and the design of echolocation-monitoring studies. *Journal of Mammalogy* 78:514-524.
- HUMES, M. L., J. P. HAYES, y M. W. COLLOPY.** 1999. Bat activity in thinned, unthinned, and old-growth forests in western Oregon. *The Journal of Wildlife Management* 63:553-561.
- KALKO, E. K. V., y H. U. SCHNITZLER.** 1993. Plasticity in echolocation

signals of European pipistrelle bats in search flight – implications for habitat use and prey detection. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 33:415-428.

KOOPMAN, K. F. 1985. A synopsis of the families of bats, part VII. *Bat Research News* 25:25–29.

OBRIST, M. K. 1995. Flexible bat echolocation: the influence of individual, habitat and conspecifics on sonar signal design. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 36:207-219.

O'FARRELL, M. J., B. W. MILLER, Y W. L. GANNON. 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the Anabat detector. *Journal of Mammalogy* 80:11-23.

SIMMONS, N. B., Y J. H. GEISLER. 1998. Phylogenetic relationships of *Icaronycteris*, *Archaeonycteris*, *Hassianycteris*, and *Palaeochiropteryx* to extant bat lineages in Microchiroptera. *The Bulletin of the American Museum of Natural History* 235: 1–182.

SPEAKMAN, J. R. 2001. The evolution of flight and echolocation in bats: another leap in the dark. *Mammal Review* 31:111-130.

TEELING, E. C., M. S. SPRINGER, O. MADSEN, P. BATES, S. J. O'BRIEN, Y W. J. MURPHY. 2005. A molecular phylogeny for bats illuminates biogeography and the fossil record. *Science* 307:580-584.

Acoustic characterization of new species of bats for the State of Oaxaca, Mexico

Miguel Briones-Salas^{1*}, Mario Peralta-Pérez²
and Margarita García-Luis¹

Resumen

Los inventarios de la biodiversidad en ocasiones se ven sesgados por los diversos métodos de colecta utilizados. Para el caso de los murciélagos, la técnica de monitoreo acústico ha demostrado ser complementaria a los métodos convencionales de muestreo. De julio de 2007 a junio de 2008, se estudió la composición de la comunidad de murciélagos en la región sur del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Registramos 32 especies de murciélagos que pertenecen a seis familias. Trece especies de la Familia Phyllostomidae se capturaron en redes de niebla, mientras que tres especies de la Familias Emballonuridae, una especie de la Familia Noctilionidae y seis de la familia Molossidae se registraron a través del monitoreo acústico. Las cuatro especies de la Familia Mormoopidae y cinco de la Vespertilionidae se registraron con ambos métodos. A través del monitoreo acústico se suman dos nuevas especies a las 93 ya reconocidas para el estado de Oaxaca: *Molossus molossus* y *M. sinaloae*, se registraron en zonas con bosque tropical caducifolio y vegetación de galería dentro de dos áreas naturales protegidas por comunidades indígenas. Estos sitios protegidos por iniciativas locales, resulta ser una buena estrategia de conservación para los murciélagos y otros grupos taxonómicos.

Palabras clave: conservación, insectívoros, inventarios, Istmo de Tehuantepec, monitoreo acústico, murciélagos.

Abstract

Biodiversity inventories are sometimes biased by the various collection methods applied. In the case of the bats, the acoustic monitoring technique has proven to be complementary to conventional sampling. From July 2007 to June 2008, we studied the composition of a bat community in the southern region of the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. We registered 32 species of bats belonging to six families. Thirteen species of the family Phyllostomidae were captured in mist nets, while three species of the family of Emballonuridae, one species of family Noctilionidae and six of the family Molossidae were recorded by acoustic monitoring. Four species of the family Mormoopidae and five

¹Laboratorio de Vertebrados Terrestres (Mastozoología), Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAX), Instituto Politécnico Nacional. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, Oaxaca, 71230. E-mail mbriones@ipn.mx (MB-S) ma_ga_lu@hotmail.com (MG-L)

² Licenciatura en Biología, Escuela de Ciencias, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Avenida Universidad s/n Ex -Hacienda Cinco Señores. Oaxaca, México, 68120. E-mail mariociidir@yahoo.com.mx (MP-P)

*Corresponding autor

of the Vespertilionidae were registered with both methods. Through acoustic monitoring two new species are added to the 93 already known to the state of Oaxaca: *Molossus molossus* and *M. sinaloae* were registered in areas with tropical deciduous forest and gallery vegetation in two areas protected by native communities. These sites protected by local initiatives, turns out to be a good strategy of conservation for bats and other taxonomic groups.

Key words: acousting monitoring, conservation, insectivorous bat, inventory, Tehuantepec Isthmus.

Introduction

Oaxaca is one of the states that protect a great amount of the biodiversity in Mexico. Many of its biological groups show a great species richness, among others butterflies, mammals and flowering plants (García-Mendoza 2004; González Pérez *et al.* 2004). In this biological richness, bats present a highly diverse group. Comprising a total of 200 species of mammals in the state (Briones-Salas and Sánchez-Cordero 2004; Alfaro *et al.* 2005; Lira-Torres and Sánchez-Cordero 2006; Botello *et al.* 2007; García-García *et al.* 2007), 93 species (46.50%) are flying mammals (García-Grajales and Buenrostro 2012). However, the knowledge about this is still incomplete because there are areas difficult to access due to complicated topography and geological origin (Briones-Salas and Sánchez-Cordero 2004; Centeno-García 2004; Ortiz-Perez *et al.* 2004). Also traditional methods, allow only to register certain groups leaving biological inventories incomplete.

Different studies of bats made in the Neotropic (Fleming *et al.* 1972; Findley 1993) and in Mexico, particularly (Íñiguez 1993; Medellín 1993; Sosa-Escalante 1997; Chávez and Ceballos 2001; Briones-Salas *et al.* 2005; Vargas-Contreras *et al.* 2008) have focused on accounting species richness, by collecting specimens mainly through mist nets, which effectively help only with those species that fly at relatively low altitudes (Tuttle 1976; Kunz and Kurta 1988; Jones *et al.* 1996; Kunz *et al.* 1996; Hodgkison *et al.* 2002). Those flying at high altitudes, however such as the families Emballonuridae and Molossidae, are poorly represented in scientific collections and inventories.

Ultrasonic detectors are equipped for the detection and recording of high frequency ultrasonic sounds emitted by bats (Kunz and Brock 1975; Kunz *et al.* 1996; O'Farrell and Gannon 1999), and turn out to be an effective tool for obtaining data about the presence, relative abundance and / or activity of insectivorous bats which emit high-intensity calls (Rydell *et al.* 1999; O'Farrell *et al.* 1999; Swystun *et al.* 2001).

Results obtained to date using this method indicate that there are families and even species with vocal signature features that make them easily recognizable in the field. This also emphasizes the need for libraries of sounds that permit the implementation of comparisons with recordings obtained in the field (Fenton 1994; O'Farrell and Miller 1997; Ibáñez *et al.* 1999; O'Farrell and Miller 1999; Gannon and Sherwin 2002; Rydell *et al.* 2002; Siles *et al.* 2003; Waters y Gannon 2002).

The purpose of this paper is to present information on the vocal signatures of the echolocation within the community of insectivorous bats found in a communal area protected in the Tehuantepec Isthmus, Oaxaca, particularly of two new species registered for the state of Oaxaca, as well as corroborating that inventory taken with complementary

techniques (nets and acoustic) can provide accurate information to assist the knowledge and conservation of bats in tropical environments.

Material and Methods

Study Area. The study took place in a protected communal area called “Zona de uso común Ojo de agua del Cerro Tolistoque”, 5 km NW of the Ejido La Venta in the municipality of Juchitán de Zaragoza, in the physiographic subprovince of Planicie Costera de Tehuantepec, in the state of Oaxaca, within the coordinates 16.584311° N and -94.873392° W (Fig. 1; Ortiz Pérez et al. 2004; Ortega et al. 2010).

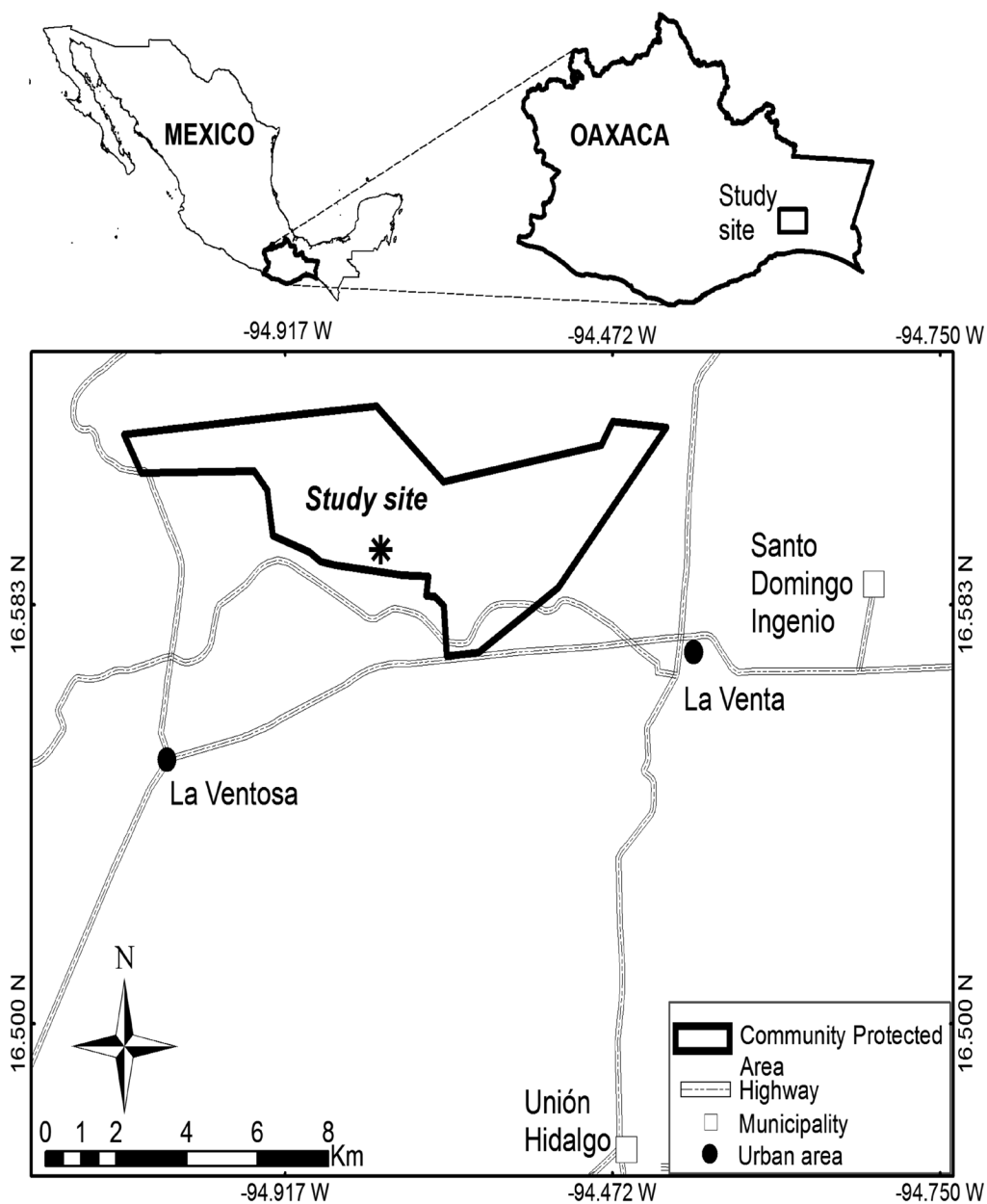


Figure 1. Location of the study area in the northwest of La Venta, Juchitan, Oaxaca.

The terrain is flat, with altitudes averaging 200 m above sea level. The climate is markedly seasonal, with a long dry period. Average monthly temperatures range between 25° C and 29° C and rainfall occurs from June to October. The site has strong gusts of wind

from the air masses of the Pacific Ocean during the last and the first months of the year (García 1988; Trejo 2004).

The vegetation on the site is mainly dominated by tropical deciduous forest and thorn scrub, the latter prevails in the area and is characterized by being a habitat with dense thorny closed vegetation, where mainly herbaceous and shrub strata can be observed, some isolated trees are also distinguished in the area (Torres-Colin 2004). Some agricultural plots irrigated by a network of irrigation canals are located a few kilometers south of the study area.

The field work consisted of hanging mist nets from July 2007 to June 2008 as well as acoustic monitoring from January to June of 2008 with four nights visits per month to each site. In each period six mist nets were randomly arranged in different places (12 x 2.5 m) in the flight paths at the edge and within the fragments of vegetation, near streams and in general in places where flying bats were observed.

Bats caught in nets were identified using specialized keys (Álvarez *et al.* 1994; Medellín *et al.* 1997). We obtained data on age (young or adult), sex and reproductive status (active: for males when they had their testicles in their scrotum and females when they had large breast development or lactating, vagina open or pregnant; inactive: for males when they had their testicles in their abdomen and females when they had no breast development or closed vagina), later the same night they were released on the same site of capture.

The collection effort was obtained for each sampling period and for the entire year. It was calculated by summing the product of the total number net meters worked (adding those of every night) by the total number of recording hours worked. The sum of the values of each period showed total net meters per hour (mn/h). With this value, we estimate the relative abundance (number of individuals collected) of each species, by dividing the number of animals caught between mn/h. The data are expressed in number of bats per mn/h (Medellín 1993). Some specimens were collected and prepared as a museum specimen, and subsequently deposited in the Colección Mastozoológica (OAX. MA.026.0497) Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (OAXMA).

For acoustic monitoring the Anabat SD1 Bat Detector (Titley Electronics, Ballina, New South Wales, Australia) was used. This device is equipped with a wide range microphone and uses frequency division techniques and Zero-Crossing analysis to make the calls both audible and visible (www.titley-scientific.com; Parson *et al.* 2000). The Anabat recording equipment has been used extensively in monitoring bats (O'Farrell *et al.* 1999), in the description of echolocation calls (O'Farrell and Miller 1997) or temporal variation in the activity of bats (Hayes 1997; Gehrt and Chelsvig 2003, 2004; Brooks and Mark 2005; Williams and Perfecto 2011).

The Anabat was placed vertically to a height of 30 cm above the ground in the same sites where mist nets were placed (O'Farrell and Gannon 1999). The height was chosen at low 30 cm to avoid the tripod that supported the detector from toppling in days with strong winds. For six months we used the method of passive monitoring, where we recorded the calls of bats during eight hours starting from sunset. The data were stored on a memory card and later transferred to a computer. All recordings were performed in the absence of rain and avoiding the full moon phase.

The spectrograms of the recordings were visualized with the software Analook © v4.9g as the primary representation of the relationship between the time, measured in milliseconds (ms) and frequency, expressed in kilohertz (kHz). The quantitative measures were obtained from the calls used to discriminate species (Simmons *et al.* 1979).

In the recordings reference is made to calls which are defined as individual and discrete pulses of which characteristic parameters can be quantified (maximum frequency, minimum frequency and duration) and to a sequence, which is the set of calls from the same species in a single file recorded (O'Farrell *et al.* 1999; Gannon *et al.* 2004).

The identification of the calls of the species was done by comparing sequences of previous recordings of individuals released in networks of virtual libraries (<http://www.msb.unm.edu/mammals/batcall/>) and by checking literature (Barclay 1983; Kalko 1995; O'Farrell 1997; O'Farrell and Miller 1997, 1999; O'Farrell *et al.* 1999; Fenton *et al.* 1998; Ibáñez *et al.* 1999; Ochoa *et al.* 2000; Granados 2001; Ibáñez *et al.* 2002).

The qualitative characteristic used in the identification of the species was the form of the signal in the graph and it can be of modulated frequency (FM, the signals of calls abruptly changes in the frequency and their duration is short in time), constant frequency (CF, the calls are located in a narrow bandwidth; Schnitzler and Kalko 2001; Limpens and McCracken 2002). While quantitative characteristics were the maximum frequency (Fmax), defined as the highest frequency of the call, the minimum frequency (Fmin), defined as the lowest frequency of the call, both expressed in kilohertz (kHz) and the duration is the interval of time covered by the call and is expressed in milliseconds (ms) (Gannon *et al.* 2004). In all cases the combination of qualitative and quantitative features enabled better identification of the species.

Results

Capture nets. We worked 368 hours in 46 nights of sampling, with a total of 3,420 meters of net. The nets stayed open for eight hours every night and in average we used 74.35 meters of net per night. The total effort amounted to 27,360 net meter hours (Table 1).

We captured 425 individuals representing three families, 11 genera and 19 species. The best represented family was Phyllostomidae with 13 species and 343 individuals, representing 81% of the total sample. From the family Mormoopidae 76 individuals of three species were captured and lastly the family of Vespertilionidae was collected in lowest number with only five individuals of three species (Table 2).

The species with the highest relative abundance were *Artibeus jamaicensis* (0.0031) and *Pteronotus parnellii* (0.0024), three species were rarely captured. Only one specimen of *Dermanura phaeotis*, *Lasiurus blossevillii* and *Lasiurus intermedius* were captured resulting in a low relative abundance of 0.00003 each (Table 2).

Acoustic monitoring. In a total of 22 recording nights, a total of 1,791 recordings could be sampled for analysis. There were 13 species that were not captured in nets corresponding to three embalonurids, a noctilionid, a mormopid, six molossids and two vespertilionids. Five species were recorded by both methods. Of the species *M. megalophylla*, *P. davyi*, *P. parnellii* and *M. molossus* there were a higher number of sequences (73% of the total analyzed, Table 2).

Table 1. Collection effort total of bats with mist nets at La Venta, Juchitán, Oaxaca from July 2007 to June 2008.

	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Total	Average period	Average night
Nets (n)	9	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	75	6.25	1.63
Meters (m)	108	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	900	75.00	19.57
Nights	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	46	3.83	1.00
Hours	24	24	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	368	30.67	8.00
m net	324	216	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	3420	285.00	74.35
m net*h	2592	1728	2304	2304	2304	2304	2304	2304	2304	2304	2304	2304	27360		
Num. Individuals	11	34	37	41	51	4	31	4	41	44	66	61	425		
Num. species	8	9	9	11	10	4	9	2	8	9	12	12			

Table 2. Relative abundance of bat species collected in mist nets at La Venta, Oaxaca. We note the absolute number of individuals collected and the number of animals per net meters per hour (mm/h); and average characteristics (X + SD) search pulses recorded by acoustic monitoring (Anabat SD1 Bat Detector) in La Venta, Oaxaca (in parentheses indicates the coefficient of variation; CV). The taxonomic arrangement is based on Ramírez-Pulido et al. (2005). n¹= individuals caught in mistnet, n² = number of calls, RA= Relative abundance (mistnet/h), Fmax = maximum frequency, Fmin = minimum frequency, D = Duration; OAX = New species for Oaxaca, Pr = Subject to special protection A = Threatened (NOM-059-SEMARNAT 2010).

Family/ species	Guild *	n ¹	RA	n ²	Frequency (kHz)			D (ms)
					F max	Fmin		
Emballonuridae								
<i>Balantiopteryx plicata</i>	Insec			95	45.17 ± 0.83 (1.8375)	39.99 ± 2.48 (6.2016)	9.03 ± 2.38 (26.3566)	
<i>Centronycteris centralis</i> , OAX, Pr	Insec			24	41.63 ± 0.37 (0.8888)	39.29 ± 0.61 (1.5526)	6.98 ± 0.73 (10.4585)	
<i>Pteropteryx macrotis</i>	Insec			23	38.81 ± 0.41 (1.0564)	36.56 ± 0.86 (2.3523)	6.14 ± 1.98 (32.2476)	
Noctilionidae								
<i>Noctilio leporinus</i>	Pis			1	57.14	29.63	13.95	
Familia Mormoopidae								
<i>Pteronotus davyi</i>	Insec	4	0.00014	585	72.96 ± 1.32 (1.8092)	59.64 ± 1.06 (1.7773)	5.92 ± 0.99 (16.7230)	
<i>Pteronotus parnellii</i>	Insec	66	0.0024	388	64.73 ± 1.42 (2.1937)	54.93 ± 1.61 (2.9310)	24.42 ± 3.7 (15.1515)	
<i>Pteronotus personatus</i>	Insec			12	83.72 ± 1.44 (1.7200)	66.75 ± 1.61 (2.4120)	4.40 ± 0.57 (12.9545)	
<i>Mormoops megalophylla</i>	Insec	6	0.0002	329	54.05 ± 2.31 (4.2738)	47.87 ± 1.63 (3.4051)	5.55 ± 2.19 (39.4595)	
Familia Phyllostomidae								

From the family Emballonuridae 142 sequences were obtained. The form of the call in *B. plicata* and *P. macrotis* is similar although the first Fmax is the average of 45.17 kHz, while the second is 38.81 kHz (Fig. 2A, B; Table 2).

Centronycteris centralis is reported for the first time with this technique for the state of Oaxaca, and is the second record for the state, previously was collected in mist nets in the region of Chimalapas, Oaxaca, Mexico (Santos-Moreno *et al.* 2010). In the identification of this species the form of the call (Fig. 2C) and Fmax which on average is 41.63 kHz were considered. The recordings were made mainly in habitats dominated by grazing land and deciduous tropical forest edges in the communal protected area “Ojo de agua del Cerro Tolistoque”.

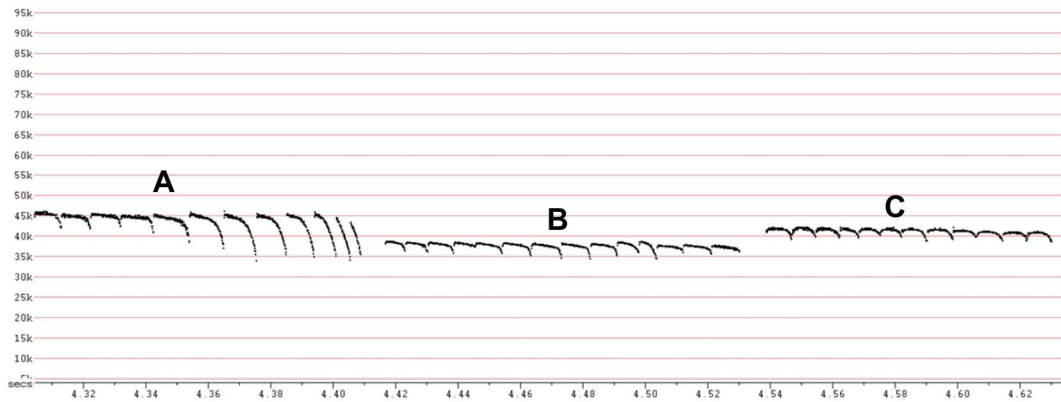


Figure 2. Spectrogram with calls of the family Emballonuridae in La Venta, Oaxaca. **A)** *Balantiopteryx plicata*, **B)** *Peropteryx macrotis* and **C)** *Centronycteris centralis*. The time between calls is compressed to allow more calls per screen, ms= milliseconds, kHz = kiloHertz.

The closest registration of this species is located approximately at 102 km distance, 35 km NW of Jesus Carranza in Veracruz, Mexico (17.290839°N and -94.726610°W) (Hall, 1981), which corresponds to a humid tropical area, covered by semi-deciduous tropical forest and secondary vegetation. The second closest record is from Cachumbo, 9.7 km NW Santa Maria Chimalapa (16.859171° N and -94.748496° W) in tropical rain forest (Santos-Moreno *et al.* 2010). This town is located 79.5 Km NE of the recent registration site. The species is subject to special protection (PR) under Mexican law (NOM-059; SEMARNAT 2010).

For the family Noctilionidae only one sequence was obtained. In the identification we considered the form (Fig. 3) and Fmax of 57.14 kHz was also comparable with recorded files from *N. leporinus* of Huatulco, Oaxaca (Trejo 2011). The recording took place in a gallery vegetation habitat.

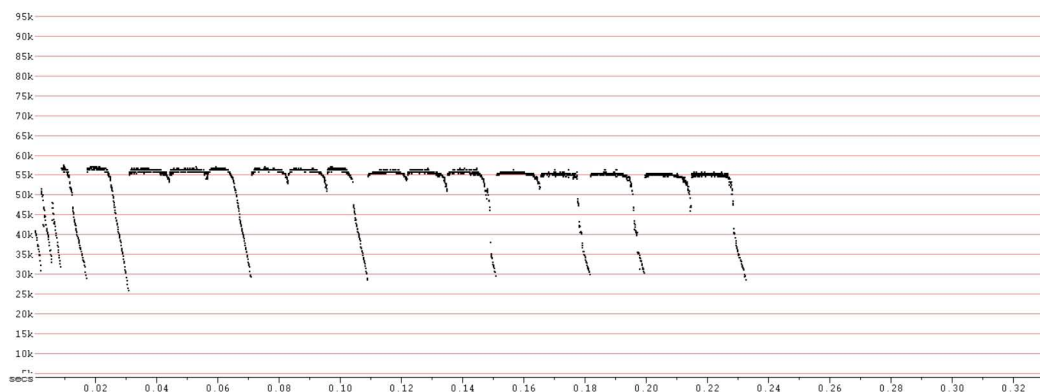
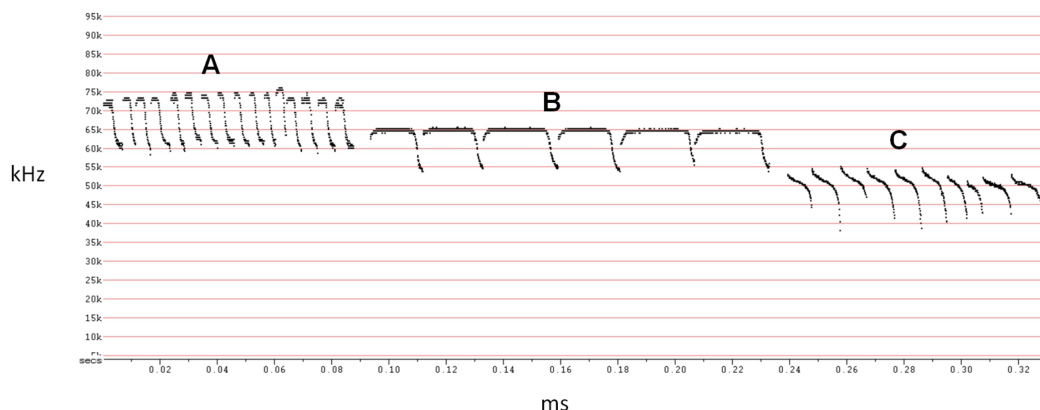


Figure 3. Spectrogram with calls of *Noctilio leporinus* (Family Noctilionidae) in La Venta, Oaxaca. The time between calls is compressed to allow more calls per screen, ms= milliseconds, kHz = kiloHertz.

The Mormoopidae family provided the greatest number of sequences (73.37%; Table 2). For the identification of *P. davyi* and *P. personatus*, the range of Fmax-Fmin was considered as calls of the first species were located on average between 72.96 and 59.64 kHz and the second between 83.72 and 66.75 kHz, about 10 kHz apart (Table 2, Fig. 4A, B). *P. parnellii* vocalizations were very constant in form and frequency and the latter reaches its maximum value in the long flat part of its calls that was observed on average at 64.73 kHz (Fig. 4C).

Figure 4. Spectrogram with calls of the Family Mormoopidae in La Venta, Oaxaca. **A)** *Pteronotus davyi*, **B)** *P. parnellii* and **C)** *Mormoops megalophylla*. The time between calls is compressed to allow more calls per screen, ms= milliseconds, kHz = kilo-Hertz.



The family Molossidae presented 284 recorded sequences (Table 2). The identification of *C. mexicanus* was based primarily on the form of the spectrograms, where it was possible to identify three patterns, two differing little in its Fmax-Fmin, 27.17-21.15 kHz and 26.45-23.57 kHz respectively, both of search (Fig. 5A, B) and a short one in the approaching phase (called more steep FM, Fig. 5B). In the case of so-called search phase calls, the difference lies in duration, reaching in average 57.32 ms (the longest of all the species), while in approach phase calls are in average 17.41 ms long. Search phase calls were quantified in Table 2 because of their highest usefulness in identifying species.

For identification of *T. brasiliensis* and *N. laticaudatus* we considered the form and Fmin that averaged in the search phase to 27.32, 17.67, 12.32 and 15.58 kHz respectively (Table 2). Considering the form of the spectrogram patterns, we differentiated three species of the genus *Molossus*, which all alternated in the search phase calls with differences in range between Fmax-Fmin of 38.55 - 33.65 kHz in *M. molossus* of 29.70 - 25.16 kHz in *M. rufus* and 40.78 - 37.09 kHz in *M. sinaloae* (Table 2).

Molossus molossus and *M. sinaloae* represent two new bats species registered for Oaxaca (Fig. 5F, H). For *M. molossus* a large number of sequences were obtained (fourth in number of recorded sequences, $n = 160$) throughout the sampling period and in different plant communities as tropical deciduous forest, thorn scrub, secondary vegetation and grazing. The nearest town to the registration site lays 15 mi SW Las Cruces, Chiapas (16.311723° N; -93.845507° W), located at 102 km SE of Ojo de agua del Cerro Tolistoque, Oaxaca (Hall 1981). Although the species is distributed from northern Mexico in Coahuila, Durango and Nuevo Leon to Chiapas in southeastern Mexico (Sánchez-Hernández *et al.* 1999; Muñoz-Martínez *et al.* 2003), it had not been registered by any method in the state. Also, García-Grajales and Buenrostro (2012) cited the species; however, when to reviewing the original quotes, the species has not recorded previously in Oaxaca.

For *M. sinaloae* few sequences were recorded, these were during the months of January, April and May, in habitats corresponding to grazing land and tropical deciduous forest edges near the protected communal area Ojo de agua del Cerro Tolistoque. The closest town to this record corresponds to: Puerto Arista Chiapas, approximately 35 km southeast of Arriaga, Chiapas (15.933889° N and -93.807500° W), with vegetation of tropical dry forests, tropical deciduous forests and agricultural areas, 130 km SE of study site (La Venta). Four individuals of this locality are deposited in the collection of the American Museum of Natural History (AMNH: M249129, M249130, M249131 and M249132).

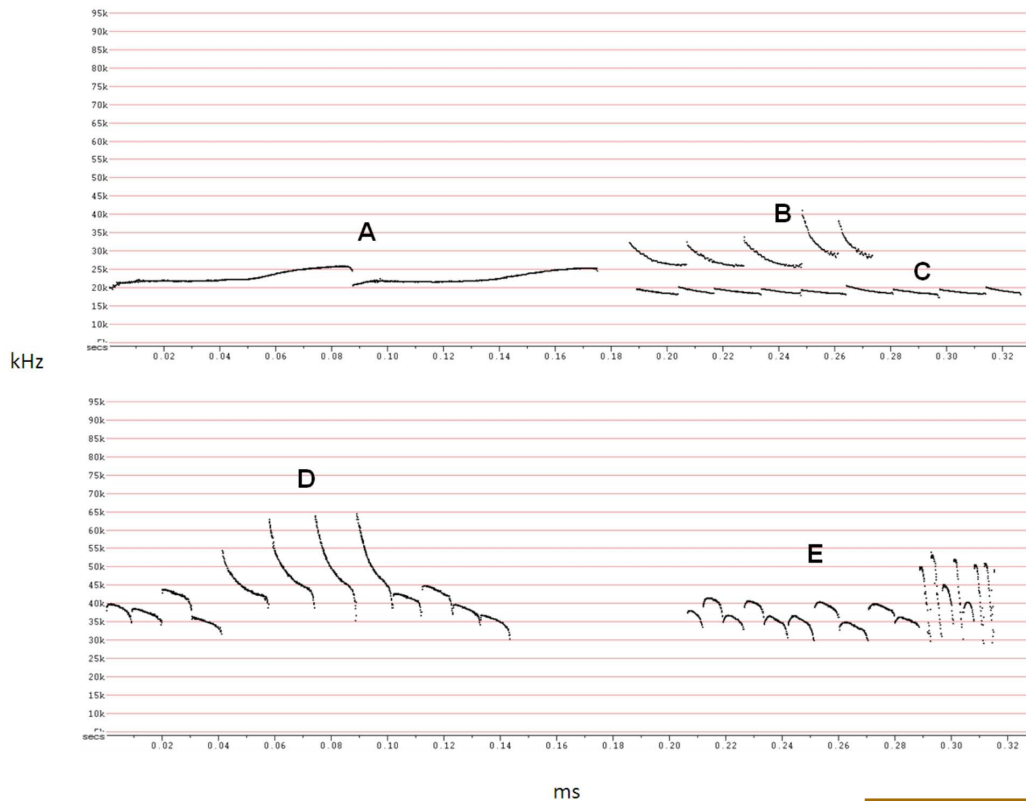
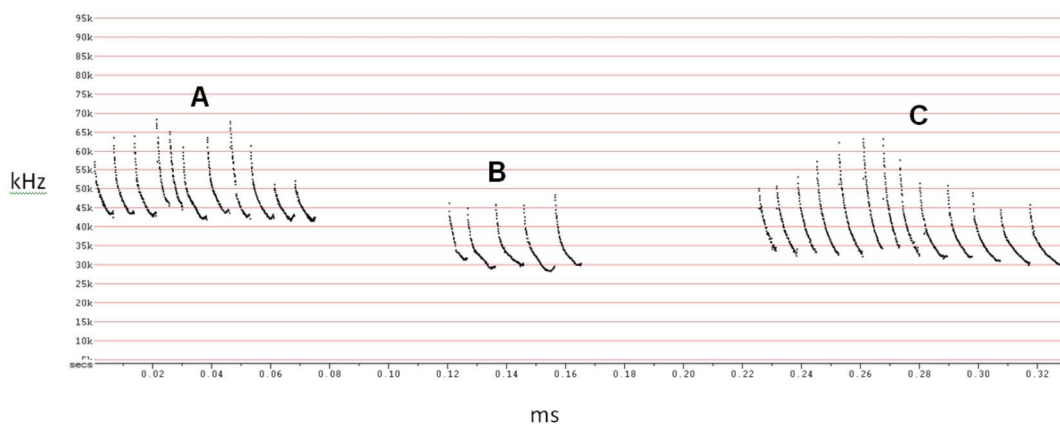


Figure 5. Spectrogram with calls of the Family Molossidae in La Venta, Oaxaca. **A)** *Cynomops mexicanus*, **B)** *Tadarida brasiliensis*, **C)** *Nyctinomops laticaudatus*. **D)** *Molossus molossus* and **E)** *M. sinaloae*. The time between calls is compressed to allow more calls per screen, ms= milliseconds, kHz = kilo-Hertz.

For the family Vespertilionidae, we obtained a total of 50 sequences (Table 2). For identification of vespertilionids Fmin was considered and subsequently the form. Species of the genus *Lasiurus* were separated considering their average Fmin. For *L. intermedius* its Fmin was 29.31 kHz, *L. xanthinus* 29.91 kHz, finally *L. blossevillii* was 43.58 kHz. For the first two species, their average Fmin is very similar; the individual values of each of their calls tend, in the case of *L. intermedius*, to go below 28 kHz, while *L. xanthinus* are closer to 30 kHz. Additionally, the Fmax of these species show greater differences in average frequency (47.50 kHz vs. 42.34 kHz; Table 2; Fig. 5).

The Fmin and form of the spectrograms were the characteristics considered in the identification of *E. fuscus*. Their calls were an average of 31.43 kHz Fmin was less than *Lasiurus* (Fig. 6), this due in part to the bandwidth exhibited in call of *E. fuscus*: between Fmin and Fmax is a width of 23.76 kHz, while none of the species *Lasiurus* reaches 20 Khz.

Figure 6. Spectrogram with calls of the Family Vespertilionidae in La Venta, Oaxaca. **A)** *Lasiurus blossevillii*, **B)** *L. xanthinus* and **C)** *Eptesicus fuscus*. The time between calls is compressed to allow more calls per screen, ms= milliseconds, kHz = kiloHertz.



Discussion

The total species richness in a particular location may vary and it is usually due to the method or methods used for registration, the time spent for sampling, the extent of the sampled area, and the amount of prior information that the site has as well as the knowledge of the surveying person (Voss and Emmons 1996; Moreno and Halffter 2000). The use of acoustic monitoring allowed detection of 59% of the species known for the region. Previous similar studies have reported percentages ranging from 51% (MacSwiney *et al.* 2008) to 100% (O'Farrell and Gannon 1999; Siles *et al.* 2005). We must emphasize the importance of complementary methods in order to have better represented the bat fauna of a particular site.

For the humid tropics this bias has been studied and it is known that using a single method may underestimate the number of species present in a site (Kunz and Kurta 1988; Voss and Emmons 1996; Kalko and Handley 2001; Bernard and Fenton 2002; Hodgkison *et al.* 2002). This same statement can be applied to dry tropics where the number of species and vespertilionids and molossids flying beyond the height of mist nets is high.

There were species with few registrations from nets such as *L. borealis* and *L. intermedius*. A possible explanation for the paucity of registrations of these species of vespertilionids is their flight at high altitude, above the canopy (Kalko *et al.* 1996), but the acoustic recordings showed the presence of these species in the study area with intermediate values for the number registered calls ($n = 20$ and 43 , respectively). It is also important to mention that there were slight differences in the calls of *L. blossevillii* to previously register in Belize that showed higher characteristic frequency (Miller 2003).

Thanks to acoustic monitoring two new species were recorded in the state of Oaxaca (*M. molossus* and *M. sinaloae*) and one more for the second time (*C. centralis*), in addition to the 93 previously reported (Briones-Salas and Sánchez-Cordero 2004, Alfaro *et al.* 2005; García-García *et al.* 2007), with these new records, the list of bats for Oaxaca increased to 95 species.

Of the species registered in this study we would like to highlight *L. yerbabuenae* a species considered threatened by the Mexican law (NOM-059; SEMARNAT 2010) and considered as vulnerable by the IUCN. Although their relative abundance was low (0.00018, $n = 5$, Table 2) there are several registrations of the species in large parts of Oaxaca (Briones-Salas and Sánchez-Cordero 2004). *C. centralis* is another species that

is cataloged under the category of special protection (PR) under Mexican law (NOM 059; SEMARNAT 2010). Of the 18 species recorded with acoustic monitoring, *C. centralis* was eighth in descending order for the number of known sequences ($n = 24$, Table 2).

It is worth mentioning that all species in the assemblage of bats were registered within a communal protected area, covered mainly by tropical deciduous forest vegetation with a body of water that gives the name to the area: Ojo de agua del Cerro Tolistoque.

This small lake has permanent running water from the top of Cerro Tolistoque. Possibly the great majority of insectivores species registered during this study prefer this place because of the constant presence of insects, some studies have reported several species of insectivores habits in abundance near rivers and streams (O'Farrell and Miller 1997; Rydell *et al.* 2002; García 2003; MacSwiney *et al.* 2006). It is important to mention that community conservation strategies have shown effectiveness in protecting many species of wild mammals in the state of Oaxaca (Duran *et al.* 2012).

It is important to develop acoustic libraries of the Neotropical region, as suggested by Ochoa *et al.* (2000), Siles *et al.* (2003), MacSwiney *et al.* (2008) that help in the trusted identification of species of bats.

Acknowledgements

The manuscript benefited by suggestions from M. C. MacSwiney, Y. del M. Martínez, M. Cortés and M. Lavariega. This study was financed by the Secretaría de Investigación y Posgrado (20080575, 20090672 y 20100263), Instituto Politécnico Nacional and Acciona Energía México, S. de R.L. de C.V. We thank the municipal authorities of the agency of La Venta, Oaxaca, consent and support to work on their land. MB-S was supported by the Comisión de Operación y Fomento a las Actividades Académicas (COFAA). Estímulos al Desempeño Académico (EDI) y el Sistema Nacional de Investigadores (SNI)

Literature Cited

- ALFARO, A. M., J. L. GARCÍA-GARCÍA, AND A. SANTOS-MORENO. 2005. The false vampire bat *Vampyrum spectrum* in Oaxaca, Mexico. *Bat Research News* 46:145-146.
- ÁLVAREZ, T., T. ÁLVAREZ-CASTAÑEDA, AND J. C. LÓPEZ-VIDAL. 1994. Claves para murciélagos mexicanos. Centro de Investigaciones del Noroeste, S.C. y Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México.
- BARCLAY, R. M. 1983. Echolocation calls of emballonurid bats from Panama. *Journal of Comparative Physiology* 151:515-520.
- BERNARD, E., AND M. B. FENTON. 2002. Species diversity of bats (Mammalia: Chiroptera) in forest fragments, primary forest, and savannas in central Amazonia, Brazil. *Canadian Journal of Zoology* 80:1124-1140.
- BOTELLO, F., P. ILLOLDI-RANGEL, M. LINAJE, AND V. SÁNCHEZ-CORDERO. 2007. New record of the rock Squirrel (*Spermophilus variegatus*) in the state of Oaxaca, México. *The Southwestern Naturalist* 2:326-328.
- BRIONES-SALAS, M., AND V. SÁNCHEZ-CORDERO. 2004. Mamíferos. Pp. 423-447 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. A. Ordoñez, and M. Briones-Salas, eds). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, Ciudad de México, México.

- BRIONES-SALAS, M., V. SÁNCHEZ-CORDERO, AND A. SANTOS-MORENO.** 2005. Diversidad de murciélagos en un gradiente altitudinal de la Sierra Mazateca, Oaxaca, México. Pp. 67-76 in *Contribuciones mastozoológicas en homenaje a Bernardo Villa* (Sánchez-Cordero, V., and R. A. Medellín, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México; Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México; CONABIO. Ciudad de México, México.
- BROOKS, R. T., AND W. MARK FORD.** 2005. Bat Activity in a Forest Landscape of Central Massachusetts. *Northeastern Naturalist* 12:447-462.
- CENTENO-GARCÍA, E.** 2004. Configuración geológica del estado. Pp. 349-366 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. A. Ordoñez, and M. Briones-Salas, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México -Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- CHÁVEZ, C., AND G. CEBALLOS.** 2001. Diversidad y abundancia de murciélagos en selvas secas de estacionalidad contrastante en el oeste de México. *Revista Mexicana de Mastozología* 5:27-44.
- DURAN, E., J. ROBSON, M. BRIONES-SALAS, D. BRAY, AND F. BERKES.** 2012. Oaxaca, México: Wildlife conservation on community conserved lands in Oaxaca. Pp. 71-82 in *Protected Landscapes and Wild Biodiversity* (Dudley, N., and S. Stolton, eds.). International Union for Conservation of Nature, Suiza.
- FENTON, M. B.** 1994. Assessing signal variability and reliability: "to thine ownself be true". *Animal Behaviour* 47:757-764.
- FENTON, M. B., I. L. RAUTENBACH, J. RYDELL, H. T. ARITA, J. ORTEGA, S. BOUCHARD, L. B. HOVORKA, E. ODGREN, C. V. PORTFORS, W. M. SCULLY, D. M. SYME, AND M. J. VONHOF.** 1998. Emergence, echolocation, diet and foraging behavior of *Molossus ater* (Chiroptera: Molossidae). *Biotropica* 30:314-320.
- FINDLEY, J. S.** 1993. *Bats a community perspective*. Cambridge University Press. Cambridge, EE.UU.
- FLEMING, T. H., E. T. HOOPER, AND D. E. WILSON.** 1972. Three Central American bat communities: structure, reproductive cycles, and movement patterns. *Ecology* 53:555-569.
- GANNON, W. L., AND R. E. SHERWIN.** 2004. Are acoustic detectors a 'silver bullet' for assessing habitat use by bats? Pp. 38-45 in *Bat echolocation research. Tools, techniques and analysis*. (Bringham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, and H. J. G. A. Limpens, eds.). Bat Conservation International y National Fish and Wildlife Foundation. Austin, EE.UU.
- GANNON, W. L., M. J. O'FARRELL, C. CORBEN, AND E. J. BEDRICK.** 2004. Call character lexicon, and analysis of field recorded bat echolocation calls. Pp. 478-486 in *Echolocation in bats and dolphins* (Thomas, J. A., C. F. Moss, and M. Vater, eds.). University of Chicago Press. Chicago, EE.UU.
- GARCÍA, E.** 1988. *Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

- GARCÍA, E. M.** 2003. Papel ecológico de las aguadas para murciélagos insectívoros en un bosque tropical subhúmedo. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur, México. Chetumal, México.
- GARCÍA-GARCÍA, J., A. SANTOS-MORENO, A. M. ALFARO, AND A. SOTO-CENTENO.** 2007. Noteworthy records of *Eptesicus brasiliensis* (Vespertilionidae) from Oaxaca, México. *Bat Research News* 48:5-6.
- GARCÍA-GRAJALES, J., AND A. BUENROSTRO.** 2012. Revisión al conocimiento de los murciélagos del estado de Oaxaca. *Therya* 3:277-293.
- GARCÍA-MENDOZA, A. J.** 2004. Integración del conocimiento florístico del estado. Pp. 305-325 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. A. Ordoñez, and M. Briones-Salas, eds). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México -Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, Ciudad de México, México.
- GEHRT, S. D., AND J. E. CHELSVIG.** 2003. Bat activity in an urban landscape patterns at the landscape and microhabitat scale. *Ecology applications* 13:939-950.
- GEHRT, S. D., AND J. E. CHELSVIG.** 2004. Species-specific patterns of bat activity in an urban landscape. *Ecology applications* 14:625-635.
- GONZÁLEZ PÉREZ, G., M. BRIONES-SALAS, AND A. M. ALFARO.** 2004. Integración del conocimiento faunístico del estado. Pp. 449-466 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. A. Ordoñez, and M. Briones-Salas, eds). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México -Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- GRANADOS, H. J.** 2001. Los sonidos de ecolocalización de los murciélagos insectívoros de Yucatán. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ecología, Universidad Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- HALL, E. R.** 1981. *The Mammals of North America*. John Wiley & Sons, New York, EE.UU.
- HAYES, J. P.** 1997. Temporal variation in activity of bats and the design of echolocation monitoring studies. *Journal of Mammalogy* 78:514-524.
- HODGKISON, R., D. AHMAD, S. BALDING, T. KINGSTON, A. ZUBAID, AND T. H. KUNZ.** 2002. Capturing bats (Chiroptera) in tropical forest canopies. Pp. 160-167 in *The Global Canopy Programme Handbook: Techniques of Access and Study in the Forest Roof* (Mitchell, A. W., K. Secoy, and T. Jackson, eds.). Global Canopy Programme. Oxford, EE.UU.
- IBÁÑEZ, C., A. GUILLÉN, J. JUSTE, AND J. L. PÉREZ-JORDÁ.** 1999. Echolocation calls of *Pteronotus davyi* (Chiroptera: Mormoopidae) from Panamá. *Journal of Mammalogy* 80:924-928.
- IBÁÑEZ, C., J. JUSTE, R. LÓPEZ-WILCHIS, L. ALBUJA, AND A. NÚÑEZ-GARDUÑO.** 2002. Echolocation of three species of sac-winged bats (*Balantiopteryx*). *Journal of Mammalogy* 83:1049-1057.
- ÍÑIGUEZ, L. I.** 1993. Patrones ecológicos en la comunidad de murciélagos de la Sierra de Manantlán. Pp. 355-370 in *Avances en el Estudio de los Mamíferos de México* (Medellín, R. A., and G. Ceballos, eds.). Publicaciones Especiales, Vol. 1. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. Ciudad de México, México.

- JONES, C., W. J. MCSHEA, M. J. CONROY, AND T. H. KUNZ.** 1996. Capturing mammals. Pp. 115-155 in *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for mammals* (Wilson, D. E., F. Russell, J. D. Nichols, R. Rudran, and M. S. Foster, eds.). Smithsonian Institution Press, Washington, EE.UU.
- KALKO, E. K. V.** 1995. Insect pursuit, prey capture and echolocation in pipistrelle bats (*Microchiroptera*). *Animal Behavior* 50:861-880.
- KALKO, E. K. V., AND C. O. HANDLEY, JR.** 2001. Neotropical bats in the canopy: diversity, community structure, and implications for conservation. *Plant Ecology* 153:319-333.
- KALKO, E. K. V., C. O. HANDLEY, AND D. HANDLEY.** 1996. Organization, diversity, and long term dynamics of a Neotropical bat community. Pp. 503-553 in *Long term studies in vertebrate communities* (Cody, M., and J. Smallwood, eds.). Academic Press. Los Angeles, EE.UU.
- KUNZ, T. H., AND C. E. BROCK.** 1975. A comparison of mist nets and ultrasonic detectors for monitoring flight activity of bats. *Journal Mammalogy* 56:907-911.
- KUNZ, T. H., AND A. KURTA.** 1988. Capture methods and holding devices. Pp. 1-29 in *Ecological and behavioral methods for the study of bats* (Kunz, T. H. ed.). Smithsonian Institution Press. Washington, EE.UU.
- KUNZ, T. H., D. W. THOMAS, G. C. RICHARDS, C. R. TIDEMANN, E. D. PIERSON, AND P. A. RACEY.** 1996. Observational techniques for bats. Pp.105-114 in *Measuring and Monitoring Biological Diversity, Standard Methods for mammals* (Wilson, D. E., F. Russell, J. D. Nichols, R. Rudran, and M. S. Foster, eds.). Smithsonian Institution Press. Washington, EE.UU.
- LIMPENS, H. J. G. A. , AND G. F. MCCracken.** 2002. Choosing a bat detector: theoretical and practical aspects. Pp 28-37 in *Bat Echolocation Research. Tools, techniques and analysis* (R. M. Brigham, E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, and H. J. G. A. Limpens). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.
- LIRA-TORRES, I., AND V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 2006. Nuevo registro de *Conepatus semistriatus* Boddaert, 1784 (Carnívora: Mustelidae) en Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 22:119-121.
- MACSWINEY, M. C., B. BOLIVAR, F. M. CLARKE, AND P. A. RACEY.** 2006. Nuevos registros de *Pteronotus personatus* y *Cynomops mexicanus* (Chiroptera) en el estado de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 10:102-109.
- MACSWINEY, M. C., F. M. CLARKE, AND P. A. RACEY.** 2008. What you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology* 45:1364-1371.
- MEDELLÍN, R. A.** 1993. Estructura y diversidad de una comunidad de murciélagos en el trópico húmedo mexicano. Pp. 333-354 in *Avances en el estudio de los mamíferos de México* (Medellín, R. A., and G. Ceballos, eds.). Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. Ciudad de México, México.
- MEDELLÍN, R. A., H. T. ARITA, AND O. SÁNCHEZ.** 1997. Identificación de los murciélagos de México clave de campo. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C., publicaciones especiales. Ciudad de México, México.

- MILLER, B. W.** 2003. Community ecology of the non-phyllotomid bats of Northwestern Belize, with a landscape level assessment of the bats of Belize. Tesis de Doctorado. University of Kent at Canterbury. Canterbury, Reino Unido.
- MORENO, C. E., AND G. HALFFTER.** 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* 37:149-158.
- MUÑIZ-MARTÍNEZ, R., C. LÓPEZ-GONZÁLEZ, J. ARROYO-CABRALES, AND M. ORTÍZ.** 2003. Noteworthy records of free-tailed bats (Chiroptera: Molossidae) from Durango, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 48:138-144.
- OCHOA, G. J., M. J. O'FARRELL, AND B. W. MILLER.** 2000. Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela. *Acta Chiropterologica* 2:171-183.
- O'FARRELL, M. 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., AND W. L. GANNON.** 1999. A comparison of acoustic versus capture techniques for inventory of bats. *Journal of Mammalogy* 80:24-30.
- O'FARRELL, M. J., AND B. W. MILLER.** 1997. A new examination of echolocation calls of some Neotropical bats (Emballonuridae and Mormoopidae). *Journal of Mammalogy* 78:954-963.
- O'FARRELL, M. J., AND B. W. MILLER.** 1999. Use of vocal signatures for the inventory of free-flying neotropical bats. *Biotropica* 31:507-516.
- O'FARRELL, M. J., B. W. MILLER, AND W. L. GANNON.** 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the anabat detector. *Journal of Mammalogy* 80:11-23.
- OLGUIN, H., L. LEÓN, U. SAMPER-PALACIOS AND V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 2008. Mastofauna de la región de los Chimalapas, Oaxaca, México. Pp. 165-216 in *Avances en el estudio de los mamíferos de México* (C. Lorenzo, E. Espinoza, and J. Ortega, eds.). Publicaciones especiales, Vol. II. Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. Ciudad de México, México.
- ORTEGA, D., G. SÁNCHEZ, C. SOLANO, M. A. HUERTA, V. MEZA, AND C. GALINDO-LEAL.** 2010. Áreas de conservación certificadas en el estado de Oaxaca. World Wildlife Fund, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Oaxaca, México.
- ORTIZ PEREZ, M. A., J. R. HERNÁNDEZ, AND J. M. FIGUEROA MAH-ENG.** 2004. Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. Pp. 43-54 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. A. Ordoñez. and M. Briones-Salas, eds). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México -Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- PARSONS, S., A. M. BOONMAN, AND M. K. OBRIST.** 2000. Advantages and disadvantages of techniques for transforming and analyzing chiropteran echolocation calls. *Journal of Mammalogy* 81:927-938.
- RYDELL, J., H. T. ARITA, M. SANTOS, AND J. GRANADOS.** 2002. Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, México. *Journal of Zoology* 257:27-36.
- RYDELL, J., L. A. MILLER, AND M. E. JENSEN.** 1999. Echolocation constraints of Daubenton's bat foraging over water. *Functional Ecology* 13:247-255.

- SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, C., M. L. ROMÉRO-ALMARAZ, R. OWEN, A. NÚÑEZ-GARDUÑO, AND R. LÓPEZ-WILCHIS.** 1999. Noteworthy records of mammals from Michoacán, México. *The Southwestern Naturalist* 44:231-235.
- SANTOS-MORENO, A., S. GARCÍA, AND E. PÉREZ.** 2010. Records of bats from Oaxaca, México. *Southwestern Naturalist* 55:454-456.
- SCHNITZLER, H.-U., AND E. K. V. KALKO.** 2001. Echolocation by insect-eating bats. *BioScience* 51: 557-569.
- SEMARNAT.** 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental, especies de flora y fauna silvestres de México, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, y lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, Jueves 30 de diciembre de 2010. Ciudad de México, México.
- SILES, L., D. PEÑARANDA, J. C. PÉREZ-ZUBIETA, AND K. BARBOZA.** 2005. Los murciélagos de la ciudad de Cochabamba. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 18:51-64.
- SILES, L., N. ROCHA, A. SELAYA, AND L. ACOSTA.** 2003. Comunidad de murciélagos en el Parque Nacional Kaa Iya del Gran Chaco y su conservación. *Andira* 3:1-3.
- SIMMONS, J. A., M. B. FENTON, AND M. J. O'FARRELL.** 1979. Echolocation and pursuit of prey by bats. *Science* 203:16-21.
- SOSA-ESCALANTE, J.** 1997. Ecología de la comunidad de mamíferos del noreste de la península de Yucatán. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- SWYSTUN, M. B., J. M. PSYLLAKIS, AND R. M. BRIGHAM.** 2001. The influence of residual tree patch isolation on habitat use by bats in central British Columbia. *Acta Chiropterologica* 3:197-201.
- TORRES-COLÍN, R.** 2004. Tipos de vegetación. Pp.105-117 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. A. Ordoñez, and M. Briones-Salas, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México -Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- TREJO, 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, Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México.
- TREJO, I.** 2004. Clima. Pp. 67-85 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. A. Ordoñez, and M. Briones-Salas, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México -Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- TUTTLE, M. D.** 1976. Population ecology of the gray bat (*Myotis grisescens*): factors influencing growth and survival of newly volant young. *Ecology* 57:587-595.
- VARGAS-CONTRERAS, J., G. ESCALONA-SEGURA, J. D. CÚ-VIZCARRA, J. ARROYO-CABRALES, AND R. MEDELLÍN.** 2008. Estructura y diversidad de los ensambles de murciélagos en el centro y sur de Campeche, México. Pp. 551-577 in *Avances en el estudio de los mamíferos de México II* (Lorenzo, C., E. Espinoza, and Ortega, eds.). Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. Ciudad de México, México.

- Voss, R. S., AND L. H. EMMONS.** 1996. Mammalian diversity in Neotropical lowland rainforest: a preliminary assessment. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 230:1-115.
- WATERS, D. A., AND W. L. GANNON.** 2002. Bat call libraries: management and potential use. Pp. 150-156 in *Bat echolocation research. Tools, techniques and analysis* (Bringham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, and H. J. Limpens, eds.). Bat Conservation International y National Fish and Wildlife Foundation.
- WILLIAMS, G., AND I. PERFECTO.** 2011. Ensemble composition and activity levels of insectivorous bats in response to management intensification in coffee agroforestry systems. *PLoS ONE* 6:1-10.

Sometido: 23 de enero de 2013

Revisado: 4 de abril de 2013

Aceptado: 7 de abril de 2013

Editor asociado: Patricia Cortés-Calva

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Descripción de los pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de una selva baja caducifolia en Morelos, México

Lorena Orozco-Lugo^{1*}, Antonio Guillén-Servent²,
David Valenzuela-Galván¹ y Héctor T. Arita³

Abstract

Echolocation calls for insectivorous bats vary within species; therefore a description for each locality of study is needed to allow species identification. We present here description of the echolocation calls for eleven aerial insectivorous bat species from a tropical dry forest in Morelos, México. The ultrasound sequences were recorded in time expansion mode (10x) using Pettersson Elektronik ultrasound detectors. Bat calls recorded, were analyzed using BatSound 1.10 software. Initial and final frequency, frequency of maximum amplitude, pulse length, pulse interval and number of harmonics for pulses from the search phase, were measured. Data were averaged and compared with published data for other localities. At our study site, insectivorous bats from the Molossidae and Mormoopidae families, and the bat *Balantiopteryx plicata*, are easily identifiable based in the quantitative and qualitative characteristics of their calls. The characteristics that presented more variation related to previous descriptions for other localities were the pulse duration and the frequencies, not the arrangement of the components of constant or modulated frequency. Asides, the extent of this variation is bigger for localities far apart.

Key words: acoustic detection, chiroptera, dry forest, Sierra de Huautla, ultrasounds.

Resumen

Los ultrasonidos de los murciélagos insectívoros aéreos varían a nivel intra específico, por ello, es necesario describirlas en las localidades específicas de estudio para la correcta identificación de las especies. Con este fin describimos los ultrasonidos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros aéreos de la selva baja caducifolia en Morelos. Las secuencias se grabaron en tiempo expandido (10x), con

¹Departamento de Ecología Evolutiva. CIByC- UAEM. Av. Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca 62209, Morelos. México. E-mail zotz@uaem.mx (LO-L); dvalen@uaem.mx (DV-G)

²Departamento de Biodiversidad y Ecología Animal. Instituto de Ecología, A. C., Km 2.5 Antigua Carretera a Coatepec 351. Congregación El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México. E-mail antonio.guillen@inecol.edu.mx (A G-S)

³ Laboratorio de Macroecología. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM. Apartado Postal 27-3. Morelia 58089, Michoacán. México. E-mail arita@cieco.unam.mx (HA-W)

*Corresponding autor

detectores Pettersson Elektronik D980 y grabadoras Sony Walkman Profesional WM-D6C, con cintas de metal Tipo II, analizando las grabaciones con el programa BatSound 1.10. En pulsos de la fase de búsqueda, medimos frecuencia inicial, final y de máxima amplitud, duración del pulso, intervalo y número de armónicos. Obtuvimos el valor promedio por característica y las comparamos con descripciones publicadas para otras localidades. De acuerdo a las características cualitativas y cuantitativas los ultrasonidos de mormoópidos, molósidos y *Balantiopterix plicata* son fácilmente identificables a nivel específico o de familia. Las características que más variación presentaron en relación a descripciones de otras localidades fueron la duración y la frecuencia, no así el arreglo de componentes de frecuencia modulada o constante. Además, la variación fue mayor conforme aumenta la distancia entre localidades.

Palabras clave: detección acústica, quiróptera, selva seca, Sierra de Huautla, ultrasonido.

Introducción

La ecolocalización junto con la capacidad de vuelo, son las características biológicas más sobresalientes de los murciélagos; es probable que ambas características evolucionaran conjuntamente (Speakman 2001) y permitieron a este grupo de mamíferos explotar el ambiente nocturno, escapando a depredadores (aves rapaces), posibles competidores (aves insectívoras y frugívoras) y a la hipertermia (Speakman 1995). De manera concreta los ultrasonidos son utilizados por los murciélagos para orientarse en el vuelo, detectar y capturar presas, así como en vocalizaciones de carácter social; siendo producto de adaptaciones a ambientes específicos, aportando valiosa información para el conocimiento de la biología y ecología de las especies (Arita y Fenton 1997; Neuweiler 2000).

Por lo anterior, las características de los pulsos de ecolocalización de los murciélagos, pueden ser utilizados en la identificación de las especies, llegando a ser diagnósticos en buen número de taxa (Fenton *et al.* 1983; Ahlén 1990; O'Farrell y Miller 1997; O'Farrell *et al.* 1999; Parsons y Jones 2000), esto hace de la detección acústica, una herramienta que ha sido empleada para realizar estudios de monitoreo, censos de actividad y estimaciones de abundancia relativa en murciélagos insectívoros aéreos, ya que el uso de redes de niebla, método tradicional y más utilizado para la captura y registro de este grupo de mamíferos, sub representa el ensamble de los insectívoros aéreos (Kalko *et al.* 1996; O'Farrell y Gannon 1999).

La detección acústica presenta varios problemas como: diferencias en la distancia de detección debidas por una parte a la intensidad, modulación y dirección en la emisión de los ultrasonidos, así como de la humedad relativa y del tipo de vegetación en la cual se trabaja; además de la variación de las señales dentro de las poblaciones de una misma especie que se encuentran en distintas regiones geográficas, dicha variación esta relaciona con el tamaño corporal y el tipo de hábitat así como las condiciones ambientales, el tipo de presa, la estrategia por los sitios de alimentación y la presencia de otros murciélagos (Heller y Helversen 1989; Barclay y Brigham 2004; Ratcliffe *et al.* 2004, Jung *et al.* 2007).

Por lo tanto, aun cuando para algunas especies neotropicales ya se han realizado descripciones de los ultrasonidos de ecolocalización con diferente grado de detalle

(Novick 1962; Novick 1963; O'Farrell y Miller 1997; Fenton et al. 1999; Ibáñez et al. 1999; Kössl et al. 1999; O'Farrell y Miller 1999; Ibáñez et al. 2002; Rydell et al. 2002; Macías et al. 2006), es relevante y necesario, describirlos en las diferentes localidades de estudio para la correcta identificación de las especies, además de que en algunos géneros (*Myotis*) o familias (Vespertilionidae) estas vocalizaciones son muy similares en ese nivel taxonómico.

En el presente trabajo se describen los ultrasonidos de ecolocalización para algunas especies de murciélagos insectívoros aéreos de la selva baja caducifolia de la Sierra de Huautla (SH), Morelos; con lo cual se aporta información sobre su variación en diferentes regiones geográficas, además de permitir la identificación de especies con base en los pulsos de ecolocalización.

Material y Métodos

La Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH; Fig. 1) se encuentra al sur del Estado de Morelos, cubre una superficie de 59,030 ha, y tiene un intervalo altitudinal que va de los 700 a los 2,200 m. La precipitación es de 900 mm anuales y se manifiesta durante el verano, entre junio y principios de octubre, el resto de los meses representan la temporada seca del año. El tipo de vegetación que caracteriza a la REBIOSH, corresponde a Selva Baja Caducifolia (SBC), o Bosque Tropical Caducifolio. Sin embargo, también se encuentran algunas áreas con selva mediana subcaducifolia, encinos y una pequeña área de pinos (Dorado et al. 2005).

En esta zona, 26 especies de murciélagos se alimentan de insectos (lo que representa más del 50% de especies de la región) y pertenecen a seis familias (Sánchez-Hernández y Romero 1995; Avila-TorresAgatón et al. 2002; Rhodes 2005). De estas 26 especies, 24 son buscadores de alimento aéreos (IA) y dos son buscadores de alimento de sustrato (IS). Del total, tres especies (*Natalus stramineus*, *Macrotus waterhousii* y *Micronycteris microtis*) no pueden ser identificadas por sus sonidos de ecolocalización ya que son muy débiles y/o indistinguibles (Schnitzler y Kalko 2001; Rydell et al. 2002; Kalko 2004).

Grabación y análisis de sonido. La grabación de los ultrasonidos se realizó en tiempo expandido (10x), con dos detectores Pettersson Elektronik D980 y grabadoras análogas Sony Walkman Profesional WM-D6C, con cintas de metal Tipo II. Las grabaciones fueron analizadas con el programa BatSound 1.10 (Pettersson Elektronik AB).

Las secuencias analizadas fueron grabadas en tres situaciones diferentes: a) Con murciélagos previamente capturados para este fin en redes de niebla, en sitios dentro de la REBIOSH y liberados en cuartos o invernaderos de dimensiones suficientes que permitieran al murciélago emitir los sonidos de la manera más aproximada a las condiciones en las que lo haría en libertad, para asegurar la calidad de las grabaciones; b) liberando al murciélago en áreas abiertas y horas donde no estuvieran forrajeando otros murciélagos, c) se tomaron secuencias de grabaciones hechas en recorridos en sitios de SBC, esto último, en especies de las cuales se tienen buenas descripciones en la literatura, y en las que los pulsos tienen características muy particulares, como es el caso de las especies de la familia Mormoopidae (cuatro especies) y Emballonuridae (una especie). En este caso se analizaron secuencias grabadas en diferentes fechas y recorridos, para tener la mayor certeza de que fueron emitidas por individuos diferentes. Para las situaciones (a) y (b), se identificaron los individuos a nivel de especie y se



Figura 1. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos, México.

tomaron las medidas corporales estándar, sexo y estado reproductivo.

De las secuencias grabadas se eligieron para su análisis pulsos de la fase de búsqueda, midiendo las siguientes características: frecuencia de máxima amplitud - o máxima energía- (FMAXAM), frecuencia inicial (FI), frecuencia final (FF), duración del pulso (en ms), intervalo (tiempo entre un pulso y otro) y presencia y número de armónicos. También se describió el arreglo de los componentes de frecuencia modulada (FM), frecuencia constante (FC) y frecuencia cuasi constante (FQC). En el caso de *Pteronotus davyi* y *P. personatus*, se midieron las características antes mencionadas en los armónicos presentes en cada pulso (Ibañez *et al.* 1999).

Para cada característica se obtuvo el valor promedio de todos los pulsos observados por especie y la desviación estándar. En el caso del intervalo es pertinente considerar que los murciélagos emiten los pulsos de manera regular en la fase de búsqueda, pero en

ocasiones pueden omitir algún pulso, lo que duplicaría la duración del intervalo, por esa razón para obtener una mejor representación de esta característica, en aquellas especies en las que contábamos con varias secuencias, establecimos clases de 10 ms de duración, con esto se obtuvo la moda del intervalo (Ibañez et al. 1999; Ibañez et al. 2002).

Por último como los pulsos de ecolocalización para algunas de las especies presentes en la zona de estudio ya se han descrito con anterioridad en otras áreas geográficas (Novick 1962; Novick 1963; Fenton y Bell 1981; Brigham et al. 1989; O'Farrell y Miller 1997; Ibañez et al. 1999; O'Farrell y Miller 1999; Ochoa et al. 2000; Ibañez et al. 2002; Rydell et al. 2002, Jung et al. 2007, MacSwiney et al. 2008), se incluyeron datos de estas descripciones, para compararlos con nuestros resultados.

Resultados

A continuación se presentan descripciones de los ultrasonidos de ecolocalización para 11 especies de IA: tres vespertiliónidos, tres molósidos, un embalonúrido y cuatro mormoópidos.

Familia Vespertilionidae

Myotis yumanensis. Para este murciélago de tamaño pequeño (entre 4 y 5 g), se analizó una secuencia de 12 pulsos que fue obtenida en un encierro. Sus pulsos presentan una amplitud de banda ancha, con una FI promedio de 76 kHz y una FF de 43 kHz. Los pulsos están formados por una componente de FM con FQC hacia la parte final del pulso, donde se concentra la mayor energía (FMAXAM aproximadamente de 53 kHz), para terminar con una parte de FM muy corta. No se observaron armónicos en la secuencia (Tabla 1, Fig. 2. MYU).

Myotis velífera. Vespertiliónido de tamaño mediano (9 a 11 g). Para esta especie se analizaron 41 pulsos de 5 secuencias, tanto de individuos grabados en encierros como de individuos liberados. Los pulsos de esta especie son parecidos a los de *M. yumanensis*, con una amplitud de banda ancha, con una FI promedio de 82 kHz y una FF promedio de aproximadamente 40 kHz. Presentan una componente de FM, seguido de FQC donde se concentra la mayor energía y que coincide con la FMAXAM con 49 kHz, para terminar en un segmento de FM. En esta especie tanto la FQC como el último segmento de FM son más evidentes, que en los pulsos de *M. yumanensis*. No se observaron armónicos (Tabla 1, Fig. 2. MVE).

Rogheessa parvula. Este murciélago es de tamaño pequeño (alrededor de 4 g.). Se analizaron 12 pulsos de una sola secuencia. Los pulsos están formados por un componente de FM con amplitud de banda ancha, con FI promedio de 111 kHz y una FF de 47 kHz. La FMAXAM 54 kHz, similar a la observada en *M. yumanensis*. En comparación con las dos especies de *Myotis*, los pulsos de *R. parvula* tienen una duración menor (3 ms). No se observaron armónicos (Tabla 1, Fig. 2. RPAR).

Familia Molossidae

Tadarida brasiliensis. Especie de tamaño medio (9 a 11.5 g) para la que se analizaron 17 pulsos de dos secuencias. Estos pulsos son de FM, de amplitud de banda menor que en los vespertiliónidos descritos en este trabajo, ya que presentan una FI de 38 kHz y una FF de 24 kHz, con una FMAXAM promedio de 28 kHz. En esta especie se presentan pulsos

bajos y pulsos altos que difieren en promedio 4 kHz entre ellos. No se observaron armónicos (Tabla 1, Fig. 2. TAD).

Eumops underwoodi. Esta es la especie de murciélago insectívoro aéreo más grande de la región (peso > 50 g). Para esta especie se analizó una secuencia de 6 pulsos, los cuales están formados por un componente de FC de larga duración (20ms) y FMAXAM promedio de 16 kHz, por lo que son audibles para los humanos. Estas vocalizaciones también presentan pulsos altos y bajos con una diferencia promedio de 2.4 kHz entre ellos, se distinguen hasta dos armónicos, de los cuales el primero es el fundamental (Tabla 1, Fig. 2. EUM).

ESPECIE	INTERVALO (ms)	DURACIÓN (ms)	Frecuencia Inicial (kHz)	Frecuencia Final (kHz)	Frecuencia de Máxima amplitud (FMAXAM, kHz)	Frecuencia Cuasi Constante (kHz)	Diferencia en kHz con el pulso anterior	Diferencia entre pulsos altos vs. bajos (kHz)	Armónicos
Vespertilionidae									
<i>M. yumanensis</i>	74.6 ± 0.4	4.05 ± 0.01	76.4 ± 0.16	42.9 ± 0.03	52.9 ± 0.07	46.2 ± 0.03	-	-	NO
<i>M. velifera</i>	68	4 ± 0.02	82.1 ± 0.4	39.5 ± 0.03	49.5 ± 0.2	42.7 ± 0.03	-	-	NO
<i>R. parvula</i>	71.7 ± 0.4	2.9 ± 0.005	110.8 ± 0.09	47.1 ± 0.03	54.2 ± 0.07	-	-	-	NO
Molossidae									
<i>T. brasiliensis</i>	109	8.3 ± 0.03	37.7 ± 0.01	24.4 ± 0.06	28.1 ± 0.01	-	1.8 ± 0.01	4.1	NO
<i>E. underwoodi</i>	405.5 ± 5.7	19.9	24.9 ± 0.05	14.7 ± 0.03	15.9 ± 0.04	-	1.4 ± 0.03	2.4	1-2
<i>M. sinaloae</i>	103	12.1 ± 0.07	32.9 ± 0.09	28.3 ± 0.05	30.8 ± 0.05	-	4.2 ± 0.04	6.5	1-2
Emballonuridae									
<i>B. plicata</i>	135.5	14.9 ± 0.3	39.8 ± 0.03	37.9 ± 0.01	40.1 ± 0.03	-	-	-	3
Mormoopidae									
<i>M. megalophylla</i>	46.4	6.9 ± 0.06	54.7 ± 0.04	44.6 ± 0.06	52.3 ± 0.09	-	-	-	3
<i>P. parnellii</i>	64.8	27.8 ± 3.1	61.3 ± 1.8	55.7 ± 2.8	63.1 ± 1.1	-	-	-	3
					*FMAXAM en la frecuencia constante del armónico 2	*FMAXAM en la frecuencia cuasi constante del armónico 2			
<i>P. davyi</i>	64.8	6.4 ± 0.02	71.5 ± 0.05	59.4 ± 0.03	73.3 ± 0.03	62.1 ± 0.02	-	-	3
<i>P. personatus</i>	55.1	5.7 ± 0.02	82.2 ± 0.05	67.6 ± 0.02	81.4 ± 0.05	64.9 ± 0.02	-	-	3

* Estas características solo se midieron en los pulsos de *P. davyi* y *P. personatus*

Tabla 1. Características cuantitativas promedio (± desviación estándar) o valor modal (ver métodos) de los sonidos de ecolocalización de las especies estudiadas de murciélagos insectívoros de Sierra de Huautla, Morelos, México.

Molossus sinaloae. Este molósido es de tamaño grande (entre 27 y 30 g). Se analizaron 39 pulsos de 4 secuencias. Estos pulsos son de larga duración (ca. 12 ms), con una FMAXAM de aproximadamente 31 kHz. Al igual que los otros miembros de la familia presentan pulsos altos y bajos, que difieren en el arreglo de sus componentes, estos dos tipos de pulsos son de FM, los pulsos bajos generalmente presentan un componente inicial de FM ascendente. La diferencia entre ambos tipos de pulso (altos y bajos) es de 6.5 kHz. Los pulsos presentaron 2 armónicos, de los cuales el primero es el fundamental (Tabla 1, Fig. 2. MSIN).

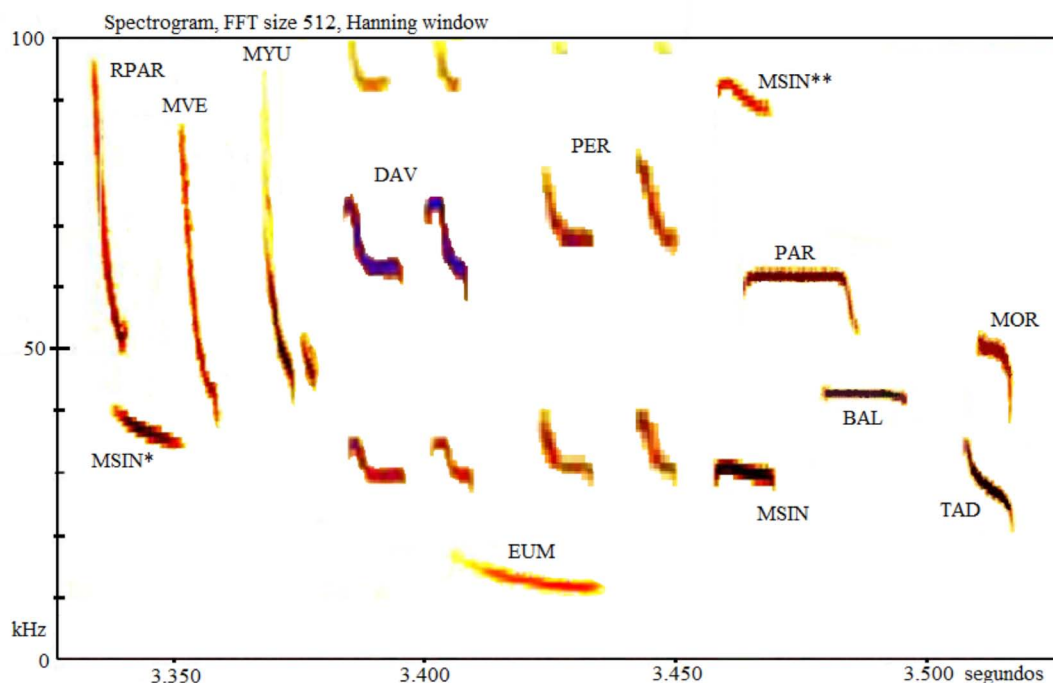
Familia Emballonuridae

Balantiopteryx plicata. Murciélago de tamaño pequeño (6-7 g) para el que se analizaron 33 pulsos de 5 secuencias. Sus pulsos son de FC, con un segmento final de FM descendente. Se pueden apreciar 3 armónicos, de los cuales el segundo, a 40 kHz es el fundamental. La duración de los pulsos es próxima a los 15 ms. Es común observar en el inicio de los pulsos un componente de FM ascendente (Tabla 1, Fig. 2. BAL).

Familia Mormoopidae

Mormoops megalophylla. Este murciélago es de tamaño mediano (14 g). Se analizaron 9 secuencias, con un total de 49 pulsos. Los sonidos de esta especie son muy característicos, están formados por un componente inicial de FM descendente, no

Figura 2. Pulsos de ecolocalización de once especies de murciélagos insectívoros de Sierra de Huautla, Morelos. RPAR: *R. parvula*, MVE: *M. velifera*, MYU: *M. yumanensis*, MSIN: *M. sinaloae* (MSIN* representa un pulso alto de la secuencia, MSIN** representa el segundo armónico, la distancia entre los pulsos de esta especie representa el intervalo real), DAV: *P. davyi*, PER: *P. personatus*, PAR: *P. parnellii*, BAL: *B. plicata*, MOR: *M. megalophylla*, TAD: *T. brasiliensis*, EUM: *E. underwoodi*. En DAV y PER se muestran dos pulsos de la misma secuencia con armónicos, se acorto el intervalo.



obstante, este segmento no siempre se presenta en el pulso. La parte principal del pulso es un componente de FC, en el que se localiza la FMAXAM a 52 kHz, para terminar en un segmento corto de FM descendente. Al igual que en otras especies se pueden apreciar 3 armónicos, de los cuales el segundo es el fundamental (Tabla 1, Fig. 2. MOR).

Pteronotus parnellii. De este murciélago de tamaño mediano (14 g), se analizaron cuatro secuencias, con un total de 22 pulsos. Los sonidos de ecolocalización de esta especie –el arreglo de componentes, frecuencia de máxima amplitud, frecuencias máximas y mínimas– son muy característicos y diagnósticos, además de ser la única especie neotropical con este tipo de pulsos, ya que utiliza el efecto Doppler (al igual que los murciélagos de las familias Rhinolophidae e Hipposideridae en el Viejo Mundo) en su sistema de ecolocalización (Neuweiler 2000). Los pulsos están formados por un pequeño fragmento inicial de FM ascendente, seguido por un componente de FC que domina el pulso en duración y en el que se localiza la FMAXAM a 63 kHz, para terminar en un segmento corto de FM descendente. La duración promedio del pulso es de 28 ms. Los pulsos presentaron 3 armónicos, de los cuales el segundo es el fundamental (Tabla 1, Fig. 2. PAR).

Pteronotus davyi. Este es un murciélago pequeño (alrededor de 7 g), del cual se analizaron 63 pulsos de 8 secuencias. Estos pulsos tienen una forma de “Z” muy característica, con un arreglo de componentes básico de FC-FM-FQC. Tanto al inicio como al final de algunos pulsos se pueden apreciar segmentos de FM ascendentes y descendentes respectivamente. Los pulsos presentan tres armónicos, de los cuales el segundo es el fundamental, con FC promedio de 73 kHz y FQC de 62 kHz (Tabla 1, Fig. 2. DAV). De los 63 pulsos analizados, el 92 % presenta la mayor intensidad en la FQC del segundo armónico.

Pteronotus personatus. Para este murciélago de tamaño pequeño (6 a 7 g; generalmente menor que *P. davyi*) se analizaron 82 pulsos de 8 secuencias. Al igual que en el caso de *P. davyi*, los pulsos tienen forma de “Z” y presentan el mismo arreglo de componentes

básico, es decir: FC-FM-FQC. Es importante destacar que los pulsos de esta especie no presentan los segmentos de FM ascendentes y descendentes al final y principio del pulso.

Se observaron tres armónicos, de los cuales el segundo es el fundamental, con una FC de 81 kHz y una FQC de 65 kHz (Tabla 1, Fig. 2. PER). De los 82 pulsos analizados el 60% presentan la mayor energía en la FQC del segundo armónico, en el restante 40% de los pulsos el componente de FQC del primer armónico es el de mayor energía.

Discusión

Del ensamble de 24 murciélagos IA presentes en SH, describimos en este trabajo el 45% de las especies; es importante precisar que la mayoría de las especies que faltan por describir pertenecen a la familia Vespertilionidae, que son por lo general poco capturadas en redes y que además tienen pulsos de ecolocalización muy similares.

De manera general las características de los pulsos de la familia Vespertilionidae (principalmente para aquellos géneros con especies de tamaño pequeño como *Myotis*, *Rhogeessa* y *Parastrellus*) que los hacen diferentes a las demás especies son: pulsos de FM con amplitud de banda ancha, corta duración (2 - 4 ms) e intervalos de duración media (68 - 74 ms). En este trabajo sólo se presenta descripciones de tres especies de dicha familia, lo que no permite la discriminación de especies de vespertilionidos locales.

Los sonidos de ecolocalización de los vespertilionidos son muy parecidos en el arreglo de sus componentes, todos son de FM con una parte final de FQC que corresponde, por lo general, con la FF, que es el carácter diagnóstico principal en esta familia (O'Farrell y Miller 1999) y aun cuando estas características no son iguales en las 3 especies de las que tenemos grabaciones, debemos tomar en cuenta la variación intra específica y el número de secuencias analizadas.

Por ello consideramos que es muy necesario aumentar la fonoteca de ultrasonidos de ecolocalización de esta familia tanto en número de especies como número de individuos, incluyendo la grabación en diferentes situaciones de vuelo, para tener una mejor representación de la variación inter e intra específica.

Para la mayoría de las especies de las cuales hemos descrito los pulsos en este trabajo, es posible comparar esta información con descripciones previas de otras localidades, lo que permite destacar aspectos generales de las vocalizaciones de cada especie.

Las características de los pulsos de *B. plicata* que describimos, corresponden con las mencionadas por Ibáñez *et al.* (2002) para secuencias de individuos de Michoacán, México, así como las características de pulsos de esta especie para Panamá y Costa Rica de acuerdo a Jung *et al.* (2007).

Las descripciones previas de los pulsos de ecolocalización para *T. brasiliensis*, concuerdan en sus valores para individuos grabados en la Ciudad de México (Ratcliffe *et al.* 2004), y también se encuentran dentro de los valores citados por Gillam y McCracken (2007) para individuos de varias localidades en Estados Unidos. Es interesante que Fenton y Bell (1981) describen los pulsos de esta especie en individuos de Arizona (estado donde también graban pulsos Gillam y McCracken) y señalan frecuencias más altas (FF = 42 kHz, FI = 62 kHz, FMAXAM = 43kHz) y con mayor duración en los pulsos (15 ms); es probable que la variación observada en los valores obtenidos por Fenton

y Bell (1981), sea un efecto de las condiciones climáticas en las que se hicieron las grabaciones (Guillen et al. 2000) o de la plasticidad de los ultrasonidos de la especie.

Aun cuando no es claro el porqué de estas variaciones, trabajos como el de Jiang et al. (2010) estudiando ultrasonidos de diferentes poblaciones de *Hipposideros larvatus* y el de Chen et al. (2009), buscando el origen de las diferencias en las frecuencias de *Rhinolophus monceros*, demuestran que la variación intra específica de las mismas es mayor conforme aumenta la latitud y no esta correlacionada con el tamaño corporal.

Las variaciones en las frecuencias no tienen un patrón consistente, por lo que las diferencias encontradas se atribuyen a la adaptación de los repertorios vocales, a los sitios de alimentación en diferentes hábitats y presas, diferencias en el ruido ambiental causado por insectos (que suelen emitir ultrasonidos) y el estado reproductivo de las hembras (Gillam y McCracken 2007).

Por otra parte Jiang et al. (2010) demuestra una discontinuidad alélica entre las poblaciones de su especie de estudio, lo cual sugiere una base genética para estas diferencias. Tanto Jiang et al. (2010), como Chen et al. (2009), apoyan la idea de que repertorios vocales regionales sirven para identificar a miembros de diferentes colonias y en la comunicación entre individuos y que el origen y mantenimiento de estas variaciones puede tener una influencia en eventos de especiación.

Tadarida brasiliensis, es una especie con poblaciones migratorias y residentes, Russell et al. (2005), no encuentran estructura genética entre las poblaciones de esta especie con diferente tendencia migratoria en una región muy amplia (desde Oregon en Estados Unidos hasta Michoacán en México), lo cual puede explicar que las frecuencias sean similares entre lo reportado por Gillam y McCracken (2007) y las encontradas en SH.

Para *M. sinaloae* existen descripciones previas por O'Farrell y Miller (1999) que solo describe la forma y características cualitativas. Granados-Herrera (2001), describe con mayor detalle los pulsos de esta especie para individuos de Yucatán, y los valores promedio de las características cualitativas y cuantitativas son cercanos a las de los pulsos de SH. Los individuos grabados al norte de la península de Yucatán, México (MacSwiney et al. 2008), presenta valores similares a lo obtenido para SH (esto tomando en cuenta la desviación estándar y el coeficiente de variación).

Los miembros de la familia Molossidae, se caracterizan por emitir pulsos de FM baja (Fenton y Bell 1981) y para las especies que se analizan en este trabajo la FF nunca es mayor a los 40 kHz y los pulsos son de larga duración (salvo *T. brasiliensis* que presenta pulsos de duración cercana a los 8 ms), con intervalos > a 100 ms.

Entre especies el reconocimiento será posible comparando las frecuencias de máxima energía y la duración de sus pulsos, tomando en cuenta la gran variación que se ha observado en las características de los pulsos de *T. brasiliensis* (Ratcliffe et al. 2004) y que miembros de la familia Vespertilionidae como las especies del género *Lasiurus* podrían emitir sonidos muy parecidos en frecuencia, forma y duración (Fenton y Bell 1981), consideramos que la identificación a nivel específico entre especies del género *Lasiurus*, *Tadarida* y *Molossus*, es factible, tomando en cuenta todas las características mencionadas y además el ancho de banda de los pulsos, que suele ser menor a 10 kHz en los molósidos, y con valores mayores en el ancho de banda en las especies del género *Lasiurus* (Orozco-Lugo, observaciones personales).

De los miembros de la familia Mormoopidae, *P. parnellii* es la especie neotropical

más ampliamente estudiada con relación a sus llamados de ecolocalización y es notorio que los parámetros, tanto cualitativos como cuantitativos, no cambian en los diferentes estudios (Henson *et al.* 1980; Bodenhamer y Pollak 1983; Herd 1983; Vater *et al.* 2003). Por ello consideramos que su identificación es correcta utilizando las características cualitativas y cuantitativas descritas con anterioridad y que no difieren con las encontradas en las secuencias de SH.

Los pulsos de *M. megalophylla* fueron descritos previamente por O'Farrell y Miller (1999) para individuos de Belice. Posteriormente Rydell *et al.* (2002) obtienen descripciones de esta especie para individuos de Yucatán, México, las características de forma y frecuencia son similares a las que presenta los llamados de SH, sólo difieren en duración, 7ms en SH vs 4 ms en Yucatán, México. Esto podría deberse a la situación (encierro) en que fueron grabados los pulsos de en esta última localidad.

Las características de los pulsos de *P. davyi*, difieren de las obtenidas por Ibáñez *et al.* (1999) para pulsos grabados en Panamá, siendo las frecuencias promedio más altas en los pulsos de SH. Las secuencias de individuos de Yucatán analizados por Granados-Herrera (2001), tuvieron valores similares a los del presente trabajo y se menciona la alternancia de los pulsos. Los pulsos de *P. personatus* fueron descritos por Ochoa *et al.* (2000), para individuos de Venezuela, la forma y frecuencias son similares a las registradas en este trabajo.

Así, consideramos que la identificación de *P. davyi* y *P. personatus* es posible por el arreglo característico de componentes de FC – FM – FQC, estas dos especies difieren entre sí en las frecuencias. Un rasgo interesante de sus pulsos, es que aún cuando el segundo armónico es el de mayor energía, pueden cambiar a utilizar alguno de los otros armónicos (o solo parte del pulso, como por ejemplo el segmento de FQC) en pulsos de la misma secuencia. Estos cambios en el uso de los armónicos fueron descritos para *P. davyi* por Ibáñez *et al.* (1999), sugiriendo que les ayudan a evitar la atenuación ambiental, el alto costo de emitir frecuencias altas y en la detección de presas en diferentes microhábitats.

Para *P. personatus*, el uso del tercer armónico de manera “activa” o “funcional”, parece ser nula. En esta especie el segundo armónico sigue siendo fundamental (60% del total de pulsos analizados), pero en comparación con *P. davyi*, tiende a utilizar más el componente de FCQ del primer armónico (40 % del total de pulsos analizados).

MacSwiney *et al.* (2008) aportan descripciones de todos los mormoópidos que incluimos en este trabajo para individuos del norte de la península de Yucatán, los valores promedio son similares a los de SH (considerando desviación estándar y el coeficiente de variación). Para algunas especies de murciélagos la mayor distancia geográfica entre localidades hace evidente la diferencia en algunas de las componentes de los pulsos, principalmente en las frecuencias (en los casos de *T. brasiliensis* y *P. davyi*) o la duración (en los casos de *T. brasiliensis* y *M. megalophylla*). Es probable que estas variaciones se deban a la flexibilidad de las vocalizaciones para su uso en diferentes ambientes en la búsqueda de sitios de alimentación, diferencias en los estados reproductivos, así como repertorios vocales específicos a las diferentes poblaciones de una especie (Gillam y McCracken 2007; Chen *et al.* 2009 y Jiang *et al.* 2010).

Por otra parte es necesario generar protocolos estandarizados en la obtención de secuencias de ecolocalización para su descripción, ya que diferentes situaciones de

grabación (vuelo, encierro, diferentes distancias a los detectores, etc.) puede contribuir de manera artificial a la variación observada en las descripciones.

Nuestros resultados son de gran utilidad para el estudio de los murciélagos insectívoros en las selvas secas de esta zona del país ya que esta información facilita investigaciones sobre la ecología de estas especies de murciélagos, así como la implementación de estrategias para el monitoreo a largo plazo, presencia-ausencia en localidades específicas y uso de hábitat, con ello es factible la evaluación del impacto que diferentes actividades humanas o diferentes acciones de manejo pueden tener sobre este componente de la comunidad de murciélagos.

Agradecimientos

Al Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, por facilidades y apoyo otorgado para la realización de este trabajo. A las comunidades de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla que nos permitieron llevar a cabo este estudio en sus tierras. Al CONACYT por financiamiento para hacer este trabajo a través del proyecto J3449-V y de la beca para estudios de maestría otorgada a la autora principal.

Literatura citada

- AHLÉN, I.** 1990. Identification of bats in flight. Swedish Society for Conservation of Nature and Swedish Youth Association for Environmental Studies and Conservation. Estocolmo, Suecia.
- ARITA, H. T., y M. B. FENTON.** 1997. Flight and echolocation in the ecology and evolution of bats. *Trends in Ecology and Evolution* 12:53-58.
- AVILA-TORRES AGATÓN, L. G., A. GUILLÉN, A. PALACIOS-FRANCO, L. OROZCO-LUGO, y D. VALENZUELA-GALVÁN.** 2002. Quirópteros de la Sierra de Huautla (Morelos, México). En: Memorias del VI Congreso Nacional de Mastozoología. Oaxaca, México.
- BARCLAY, R. M. R., y R. M. BRIGHAM.** 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* (Brigham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. J. G. A. Limpens, eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.
- BODENHAMER, R. D., y G. D. POLLAK.** 1983. Response characteristics of single units in the inferior colliculus of mustache bats to sinusoidally frequency modulated signals. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 153:67-79.
- BRIGHAM, R. M., J. E. CEBEK, y M. B. HICKEY.** 1989. Intraspecific variation in the echolocation calls of two species of insectivorous bats. *Journal of Mammalogy* 70:426-428.
- CHEN, S., G. JONES, y S. J. ROSSITER.** 2009. Determinants of echolocation calls frequency variation in the Formosan lesser horseshoe bat (*Rhinolophus monoceros*). *Proceedings of the Royal Society* 276:3901-3909.
- DORADO, O., B. MALDONADO, D. M. ARIAS, V. SORANI, R. RAMÍREZ, E. LEYVA, y D. VALENZUELA.** 2005. Programa de conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México, México.

- FENTON, M. B., Y G. P. BELL. 1981. Recognition of species of insectivorous bats by their echolocation calls. *Journal of Mammalogy* 62:233-243.
- FENTON, M. B., H. G. MERRIAM, Y G. L. HOLROYD. 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.
- FENTON, M. B., J. RYDELL, M. J. VONHOF, J. EKLÖF, Y W. C. LANCASTER. 1999. Constant frequency and frequency-modulate components in the echolocation calls of three species of small bats (Emballonuridae, Thyropteridae, and Vespertilionidae). *Journal of Zoology* 77:1891-1900.
- GILLAM, E. H., Y G. F. McCracken. 2007. Variability in the echolocation of *Tadarida brasiliensis*: effects of geography and local acoustic environment. *Animal Behaviour* 74:277-286.
- GUILLÉN, A., B. J. JUSTE, Y C. IBAÑEZ. 2000. Variation in the frequency of the echolocation calls of *Hipposideros ruber* in the Gulf of Guinea: an exploration of the adaptive meaning of the constant frequency value in rhinolophoid CF bats. *Journal of Evolutionary Biology* 13:70-80.
- GRANADOS-HERRERA, J. 2001. Caracterización de los llamados de ecolocalización de los murciélagos insectívoros del estado de Yucatán, México. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- HELLER, K-G., Y O. V. HELVERSEN. 1989. Resource partitioning of sonar frequency bands in rhinolophoid bats. *Oecologia* 80:178-186.
- HENSON, O. W. JR, M. M. HENSON, J. B. KOBLER, Y G. D. POLLACK. 1980. The constant frequency component of the biosonar signals of the bat *Pteronotus parnellii*. Pp. 913-916 in *Animal Sonar Systems* (Busnel, R-G., y J. F. Fish, eds.). Plenum Press. New York, EE.UU.
- HERD, R. M. 1983. *Pteronotus parnellii*. *Mammalian Species* 209:1-5.
- IBÁÑEZ, C., A. GUILLÉN, J. JUSTE B., Y J. L. PÉREZ-JORDÁ. 1999. Echolocation calls of *Pteronotus davyi* (Chiroptera: Mormoopidae) from Panama. *Journal of Mammalogy* 80:924-928.
- IBÁÑEZ, C., J. JUSTE, R. LÓPEZ-WILCHIS, L. ALBUJA V., Y A. NÚÑEZ-GARDUÑO. 2002. Echolocation of three species of sac-winged bats (*Balantiopterix*). *Journal of Mammalogy* 83:1049-1057.
- JIANG, T., R. LIU, W. METZNER, Y. YOU, S. LI, S. LIU, Y J. FENG. 2010. Geographical and individual variation in echolocation calls of the intermediate leaf-nosed bat, *Hipposideros larvatus*. *Ethology* 116:691-703.
- JUNG, K., E. K. V. KALKO, Y O. VON HELVERSEN. 2007. Echolocation calls in Central American emballonurid bats: signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology* 272:125-137.
- KALKO, E. K. V. 2004. Neotropical leaf-nosed bat (Phyllostomidae): "Whispering" bats as candidates for acoustic surveys? Pp. 63-69 in *Bat echolocation research: tools, techniques and analysis* (Brigham, M., E. K.V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. J. G. A. Limpens, eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.

- KALKO, E. K. V., C. O. HANDLEY, Y D. HANDLEY.** 1996. Organization, diversity, and long term dynamics of a Neotropical bat community. Pp. 503-553 in Long term studies in vertebrate communities (Cody, M., y J. Smallwood, eds.). Academic Press. Los Angeles, EE.UU.
- KÖSSL, M., E. MORA, F. CORO, Y M. VATER.** 1999. Two-toned echolocation calls from *Molossus molossus* in Cuba. *Journal of Mammalogy* 80:929-932.
- MACIAS, S. E., C. MORA, Y A. GARCÍA.** 2006. Acoustic identification of mormoopid bats a survey during the evening exodus. *Journal of Mammalogy* 87:324-330.
- MACSWINEY, M. C., F. M. CLARKE, Y P. A. RACEY.** 2008. What you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology* 45:1364-1371.
- NEUWEILER, G.** 2000. Echolocation. Pp. 140-260 in *The Biology of bats* (Neuweiler, G., ed.). Oxford University Press. Oxford, EE.UU.
- NOVICK, A.** 1962. Orientation in neotropical bats. I. Natalidae and Emballonuridae. *Journal of Mammalogy* 43:449-455.
- NOVICK, A.** 1963. Orientation in neotropical bats. II Phyllostomatidae and Desmodontidae. *Journal of Mammalogy* 44:44-56.
- O'FARRELL, M. J., Y B. W. MILLER.** 1997. A new examination of echolocation calls of some neotropical bats (Emballonuridae and Mormoopidae). *Journal of Mammalogy* 78:954-963.
- O'FARRELL, M. J., Y B. W. MILLER.** 1999. Use of vocal signatures for the inventory of free-flying neotropical bats. *Biotropica* 31:507-516.
- O'FARRELL, M. J., Y W. L. GANNON.** 1999. A comparison of acoustic versus capture techniques for the inventory of bats. *Journal of Mammalogy* 80:24-30.
- O'FARRELL, M. J., B. W. MILLER, Y W. L. GANNON.** 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the Anabat detector. *Journal of Mammalogy* 80:11-23.
- OCHOA, G. J., M. J. O'FARRELL, Y B. W. MILLER.** 2000. Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela. *Acta Chiropterologica* 2:171-183.
- PARSONS, S., Y G. JONES.** 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.
- RATCLIFFE, J. M., H. M. TER HOFSTEDE, R. AVILA-FLORES, M. B. FENTON, G. F. MCCracken, S. BISCARDI, J. BLASKO, E. GILLAM, J. ORPRECIO, Y G. SPANJER.** 2004. Conespecific influence call design in the Brazilian free-tailed bat, *Tadarida brasiliensis*. *Canadian Journal of Zoology* 82:966-971.
- RHODES, A. J.** 2005. Estructura y diversidad espacio temporal de la comunidad de murciélagos con relación a gradientes ambientales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. Tesis Licenciatura. Escuela de Ciencias, Universidad de Las Américas-Puebla. Puebla, México.
- RUSSELL, A. L., R. A. MEDELLÍN, Y G. F. MCCracken.** 2005. Genetic variation and migration in the Mexican free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis mexicana*). *Molecular Ecology* 14:2207-2222.

- RYDELL, J., H. T. ARITA, M. SANTOS, Y J. GRANADOS.** 2002. Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatán, México. *Journal of Zoology* 257:27-36.
- SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, C., Y M. L. ROMERO.** 1995. Mastofauna silvestre del área de Reserva Sierra de Huautla (con énfasis en la región noreste). Centro de Investigaciones Biológicas Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México.
- SCHNITZLER, H-U., Y E. K. V. B. KALKO.** 2001. Echolocation by insect-eating bats. *BioScience* 51:557-569.
- SPEAKMAN, J. R.** 1995. Chiropteran nocturnality. Pp. 187-201 in *Ecology, Evolution and Behaviour of Bats* (Racey, P. A., y M. S. Swift, eds.). Oxford Clarendon Press. London, Reino Unido.
- SPEAKMAN, J. R.** 2001. The evolution of flight and echolocation in bats: another leap in the dark. *Mammal Review* 31:111-130.
- VATER, M., M. KÖSSL, E. FOELLER, F. CORO, E. MORA, Y I. J. RUSSELL.** 2003. Development of echolocation calls in the Mustached bat, *Pteronotus parnellii*. *Journal of Neurophysiology* 90:2274-2290.

Sometido: 11 de enero de 2013
Revisado: 28 de febrero de 2013
Aceptado: 16 de abril de 2013
Editor asociado: Patricia Cortés-Calva
Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Catálogo de los murciélagos de la región del delta del Río Colorado, México

Aldo A. Guevara-Carrizales^{1*}, Verónica Zamora-Gutiérrez²,
Ricardo Gonzáles-Gómez¹ y Roberto Martínez-Gallardo¹

Abstract

The area of the Colorado River Delta is recognized as a priority terrestrial region that includes ecologically important areas such as Biosphere Reserve Upper Gulf of California and Colorado River Delta. In spite of its biological value, the current knowledge of the bat community is scarce. Therefore, this study aims to develop the first catalog of the bats of this region, in order to increase and update the knowledge of this group of mammals. We documented 34 records of voucher specimens from scientific collections, and complemented this list with field collections during the summer of 2006 and 2010, using of combined manner mist nets and bat detectors (Anabat II™ and SD1™ models). We collected 118 specimens and identified 1,525 records of echolocation calls. Nine species were registered for the region of Colorado River Delta, which belong to three families and eight genera. *Antrozous pallidus* is recorded for the first time in the study area. Our results confirm the importance of the combined use of mist nets and bat detectors for increasing the quality and quantity of information for the bat inventories.

Key words: Baja California, bats, Chiroptera, Colorado River, conservation, Sonora.

Resumen

El área del Delta del Río Colorado es reconocida como región terrestre prioritaria que incluye áreas de gran importancia ecológica como la Reserva de la Biósfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. A pesar de su valor biológico, el conocimiento existente sobre grupos específicos como los quirópteros es escaso. Por tal motivo, el presente estudio tiene como objetivo elaborar el primer catálogo de los murciélagos de esta región, mismo que incrementará y actualizará el estado de conocimiento sobre este grupo de mamíferos. Para su elaboración se recopilaron 34 registros de especímenes depositados en colecciones científicas y se complementó el listado mediante la recolecta en campo durante el verano del 2006 y 2010, empleando de manera combinada redes de niebla y detectores ultrasónicos (modelos Anabat II™ y SD1™). Se recolectaron 118 especímenes y se identificaron 1,525 registros de llamadas de ecolocalización. Se registran nueve especies agrupadas en tres familias y ocho géneros. La especie *Antrozous pallidus* es registrada por primera vez en la Región del Delta del Río Colorado. Los

¹Facultad de Ciencias, Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Universidad Autónoma de Baja California. Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada 22800, Baja California, México. E-mail: aldo.guevara@uabc.edu.mx (AAGC), oderick@yahoo.com (RGG)

²Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Km 15.5 Carretera a Nogales, Predio las Agujas, Zapopan 44600, Jalisco, México. E-mail: zamora.gt@gmail.com (VZG)

*Corresponding autor

resultados obtenidos corroboran la importancia del uso combinado de redes de niebla y detectores ultrasónicos para incrementar en calidad y cantidad la información de los inventarios de murciélagos.

Palabras clave: Baja California, Chiroptera, conservación, detectores ultrasónicos, inventario, murciélagos, Río Colorado, Sonora.

Introducción

México está considerado entre los países megadiversos del mundo ya que alberga una alta diversidad de especies (Mittermeier *et al.* 1998) y una de las estrategias de conservación más utilizadas para proteger esa biodiversidad ha sido la creación de Áreas Naturales Protegidas (ANPs), las cuales abarcan actualmente aproximadamente el 7% del territorio (CONABIO 1998). Sin embargo, aún existen varias ANPs que cuentan con un conocimiento incompleto de la fauna que albergan lo que implica a su vez un desconocimiento del estado de conservación de varias especies. Para lograr desarrollar planes de manejo, eficientes y enfocados en las necesidades particulares más apremiantes de cada ANP, es necesario realizar mayores estudios sobre las especies que se encuentran dentro de estos límites de protección. La elaboración de listados de especies representa un importante aporte al conocimiento y han mostrado ser de gran utilidad para la conservación de las especies presentes en un área (Jones *et al.* 1977). En Baja California los murciélagos constituyen el segundo grupo de mamíferos más numeroso con 20 especies (Ramírez Pulido *et al.* 2005). No obstante, el desconocimiento de este grupo en el estado es amplio debido a la escasa información disponible o la falta de estudios locales.

La región del Delta del Río Colorado es reconocida como Región Terrestre Prioritaria (RTP-13) por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO; Arriaga Cabrera *et al.* 2000]. Incluye áreas de gran importancia ecológica como la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, que presenta hábitats remanentes del antiguo delta del Río Colorado como la Ciénega de Santa Clara e importantes afloramientos de agua dulce en la franja costera desértica, como la Ciénega de El Doctor y los pozos de Bahía de Adair (SEMARNAT 2007).

A pesar de la importancia biológica de la región del Delta del Río Colorado, el conocimiento que existe sobre grupos específicos como los murciélagos es escaso. El único trabajo que enlista los quirópteros de la región describe 19 especies basándose únicamente en la distribución marginal y se refiere en el programa de conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (SEMARNAT 2007). Debido a lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo elaborar el primer catálogo de murciélagos con la finalidad de contribuir al conocimiento de este grupo, que permita desarrollar acciones de manejo para su conservación. Para este propósito se generó un listado de especies recopilando la información disponible en colecciones científicas y mediante la colecta en campo empleando simultáneamente diferentes métodos de registro como redes de nylon tipo niebla y detectores ultrasónicos para obtener un inventario más completo.

Material y Métodos

La región del Delta del Río Colorado se localiza en el noroeste del país en los estados de Baja California y Sonora, entre las coordenadas 32.72 ° a 31.44 ° de latitud norte y -116.24 ° a -114.44° de longitud oeste. Posee una superficie de 4,310 km² y se encuentra limitada al oeste por las sierras El Mayor y Las Tinajas, al este por la Sierra El Rosario y el desierto de Altar (Arriaga Cabrera *et al.* 2000). Presenta un clima predominantemente muy árido (KW (x') y BW (h')(x')), con una temperatura media anual mayor de 22° y lluvias en verano e invierno.

Las topoformas representativas las constituyen llanuras costeras y depósitos deltaicos (SEMARNAT 2007), constituidas principalmente por unidades de suelo Solonchak háplico y Arenosol háplico (Arriaga Cabrera *et al.* 2000). Pertenecen a la provincia fisiográfica del Desierto Sonorense dentro de la sub-división del valle del bajo Río Colorado (Brown 1994). Según Rzedowski (1978), la región presenta los siguientes tipos de vegetación: vegetación marina, de marismas, de dunas, de desiertos arenosos, vegetación halófila, vegetación acuática emergente, matorral inerme y vegetación secundaria arbustiva.

Para referenciar las especies de murciélagos presentes en el área de estudio se visitaron y revisaron las colecciones científicas de California Museum of Vertebrate Zoology (MVZ); State University- Long Beach (CSULB); Los Ángeles County Natural History Museum (LACM); San Diego Natural History Museum (SDNHM); California Academy of Science (CAS); Nuevo México Southwestern College Natural History Museum (SCNHM); Colección de mamíferos de la Universidad Autónoma de Baja California (CVUABC); Colección de Mamíferos de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAMI); Colección Mastozoológica de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional (ENCB) y la Colección Nacional de Mamíferos del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (CNMA). Adicionalmente se consultó el portal Mammal Networked Information System ([MaNIS]; Wieczorek 2001), para examinar las bases de datos disponibles.

Para actualizar la información, se realizó la colecta de especímenes durante los meses de junio y julio de 2006 y 2010, empleando redes de nylon tipo niebla (Kunz y Parsons 1988), ubicadas transversalmente sobre los cuerpos de agua y corredores entre la vegetación. Adicionalmente se utilizaron detectores ultrasónicos modelos AnaBat II™ y SD1™, situados en la misma área donde se situaron las redes. Ambos métodos estuvieron en operación de las 17:00 h a las 23:00 h y fueron empleados simultáneamente con el propósito de incrementar la efectividad de la colecta (O'Farrell y Gannon 1999; Gannon *et al.* 2004).

Los ejemplares colectados fueron identificados mediante el uso de la clave de campo de Medellín *et al.* (1997; 2008), sexados según Racey (1988) y medidos siguiendo las consideraciones de Hall (1981). Adicionalmente se tomó una muestra representativa de los especímenes colectados, los cuales fueron preparados convencionalmente según Hall (1981) para su depósito en la Colección de Vertebrados de la Universidad Autónoma de Baja California (CVUABC).

Las grabaciones obtenidas con el AnaBat II™ y SD1™ fueron descargadas a una computadora portátil HP G60 (Hewlett-Packard Company™) para su análisis, el cual,

se realizó utilizando el software AnalookW (Titley Electronics™). La identificación de las especies se realizó de manera visualmente reconociendo parámetros como la frecuencia mínima (Fmin), frecuencia máxima (Fmax) y la estructura del pulso (O'Farrell *et al.* 1999), mediante valores definidos por el software.

La determinación a nivel de especie se efectuó utilizando como referencias la descripciones obtenidas por Flores Rojas (2006) y la clave de llamadas de ecolocación de los murciélagos de Baja California elaborado por Frick (2006), ver apéndice 1. Del total de llamadas obtenidas se descartaron aquellas cuyos valores y estructura no permitieron su identificación. Con la información obtenida se elaboró un catálogo taxonómico considerando el orden sistemático de Simmons (2005) y se determinó el estado de conservación de las especies de acuerdo a la NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT 2010) y la lista roja de la IUCN (IUCN 2012).

Resultados

Riqueza y composición. Se recopilaron 34 registros históricos correspondientes a las siguientes colecciones científicas: 19 de SDNHM, 9 de MVZ, 3 de FMNH, 2 de LACM y 1 de MSB, procedentes de siete localidades de colecta y representados por tres familias, siete géneros y ocho especies (ver catálogo taxonómico).

Mediante la colecta en campo se muestrearon 21 localidades (Tabla 1) empleando un esfuerzo de muestreo fue de 612 m/red/15 noches. Se capturaron 118 especímenes en siete localidades (ver catálogo taxonómico) agrupados por tres familias, seis géneros y seis especies (Fig. 1), de los cuales, 55 especímenes fueron depositados en la Colección de Vertebrados de la Universidad Autónoma de Baja California (CVUABC). Las especies colectadas mejor representadas corresponden a *Parastrellus hesperus*, *Macrotus californicus*, *Antrozous pallidus*, *Myotis californicus*, *M. yumanensis*, *Eptesicus fuscus* y *Tadarida brasiliensis* respectivamente (Fig. 1).

Empleando detectores ultrasónicos se realizó un esfuerzo de muestreo de 76 horas de grabación en 19 localidades (Tabla 1) y se identificaron un total de 1,525 llamadas de ecolocación, correspondientes a tres familias, seis géneros y seis especies. Las especies que registraron la mayor cantidad de llamados fueron *P. hesperus*, *E. fuscus*, *M. yumanensis*, *A. pallidus*, *T. brasiliensis*, *M. californicus* y *Macrotus californicus* (Fig. 1). Las especies registradas históricamente y las obtenidas en el presente trabajo totalizan nueve especies, agrupadas en tres familias y ocho géneros para la región del Delta del Río Colorado; ninguna de las especies se encuentra catalogada bajo algún estatus de conservación en NOM 059-ECOL-2010 (SEMARNAT 2010), ni en la lista Roja de la UICN.

Catálogo taxonómico. A continuación se describe por especie el número de registros históricos recopilados y los especímenes colectados y depositados en la Colección de Vertebrados de la Universidad Autónoma de Baja California (CVUABC), precisando la localidad de colecta por entidad federativa, acrónimo de la colección donde se encuentran depositados y el número de llamadas de ecolocación identificados (ver apéndice 2 para información completaria).

FAMILIA PHYLLOSTOMIDAE (Gray 1825)

Macrotus californicus (Baird 1858). Registros históricos: *Baja California*: San Felipe, Mexicali (16; SDNHM). Especímenes colectados: *Baja California*: Mina La Corquida, Sierra Cucapa. Llamadas de ecolocación ($n = 32$).

Tabla 1. Localidades muestreadas referidas de norte a sur descritas por entidad federativa, coordenadas geográficas y altitud en metros. El tipo de vegetación corresponde con Rzedowski (1978) y se representa de la siguiente manera: Vegetación acuática emergente (VAE); vegetación de dunas costeras (VDC); vegetación de desiertos arenosos (VDA); matorral inerme (MI) y vegetación secundaria arbustiva (VSA).

Localidad	Estado	Este	Oeste	Altitud	VH	VAE	VDC	VDA	MI	VSA
Puente San Felipe, Río Colorado	B.C.	32.239706°	-115.052731°	14	X					
Vado Carranza, Río Hardy	B.C.	32.227167°	-115.287772°	10	X					
Río Colorado, 3.5 km al S del Puente San Felipe	B.C.	32.218614°	-115.071494°	13	X					
Campo Mosqueda, Río Hardy	B.C.	32.157108°	-115.277289°	0	X					
3 km NO de Campo Mosqueda	B.C.	32.146775°	-115.246039°	7						X
Mina 2.3 km al NO del Mayor	B.C.	32.142861°	-115.287064°	4					X	
Campo Escondido, Río Hardy	B.C.	32.054961°	-115.206258°	0						X
5 km al N Ciénega de Santa Clara	Son.	32.073272°	-114.919603°	7	X					
Campo AEURHYC, Río Hardy	B.C.	32.040169°	-115.207667°	9	X					
Campo Ramona, Río Hardy	B.C.	32.031117°	-115.199036°	0						X
Mina La Corquida, Sierra Cucapa	B.C.	32.003261°	-115.297522°	85					X	
Ciénega Santa Clara	Son.	32.04010°	-114.909883°	6	X					
Ciénega El Doctor	Son.	31.947528°	-114.747653°	0	X					
Km 90 Carr Mexicali-San Felipe	B.C.	31.845075°	-115.160625°	0					X	
La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara	Son.	31.852483°	-114.638219	9				X		
5 km al N La Ventana, Mexicali	B.C.	31.784425°	-115.085544°	0					X	
El Columpio, 15.6 km al NO del Golfo de Santa Clara	Son.	31.804556°	-114.586889°	50		X		X		
16 km al NO del Golfo de Santa Clara	Son.	31.798656°	-114.595314°	0		X				
Antena microondas, 3.8 km al S de la Ventana	B.C.	31.71750°	-115.052533°	88						X
Pozo El Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara	Son.	31.575506°	-114.306475°	0				X		
Campo Villa de Cortez, 18.6 km al N de San Felipe	B.C.	31.188625°	-114.888514°	0				X		

FAMILIA MOLOSSIDAE (Gervais In De Castelnau 1855)

Eumops perotis (Schinz 1821). Registros históricos: *Baja California*: Cerro Prieto, 20 mi (32.1 km) SW Mexicali (1; MVZ). No se colectaron especímenes ni se registró su presencia mediante detectores ultrasónicos.

Nyctinomops femorosaccus (Merriam 1889). Registros Históricos: Boca del Río Colorado (1 MSB). No se colectaron especímenes ni se registró su presencia mediante detectores ultrasónicos.

Tadarida brasiliensis (L. Geoffroy Saint-Hilaire 1824). Registros históricos: *Baja California*: Cerro Prieto, 20 mi (32.1 km) al SW de Mexicali (1, MVZ); Punta San Felipe (1, MVZ). Especímenes colectados: *Baja California*: Puente San Felipe (2). Llamadas de ecolocación ($n = 152$).

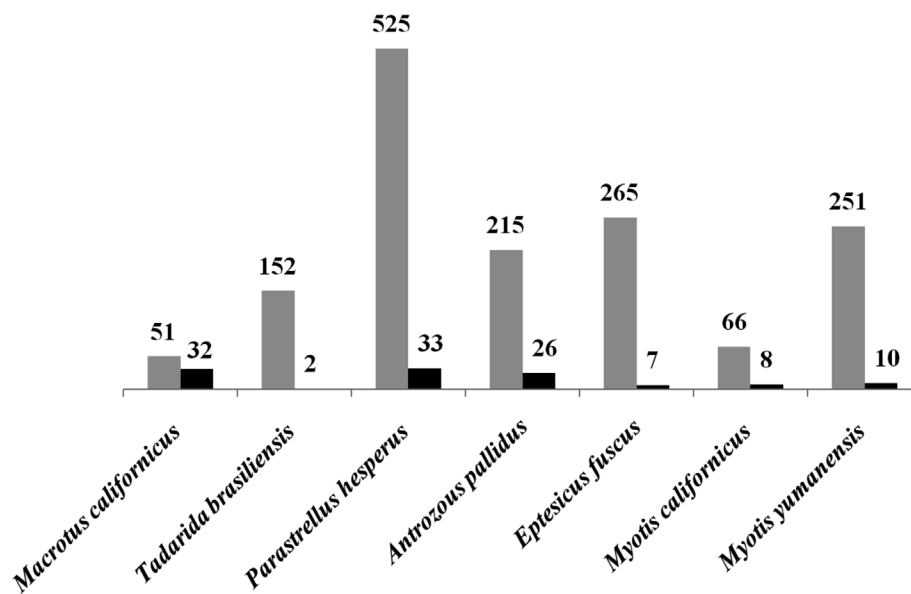


Figura 1. Número de llamadas de ecolocalización (barras grises) y especímenes colectados (barras negras) correspondientes a las especies registradas durante 2006 y 2010 en la región del Delta del Río Colorado, México.

FAMILIA VESPERTILIONIDAE (Grey 1821)

Eptesicus fuscus (Palisot de Beauvois 1796). Registros históricos: Baja California: Cerro Prieto (1, MVZ); El Mayor (1, MVZ); 13 mi (20.9 km) al N del Mayor (1 MVZ). Especímenes colectados: Sonora: Puente San Felipe; Ciénega El Doctor (2). Llamadas de ecolocalización ($n = 265$).

Parastrellus hesperus (H. Allen 1864). Registros históricos: Baja California: San Felipe (3, FMNH; 2, SDNHM). Especímenes colectados: Sonora: La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara (2); Pozo el Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara (2). Llamadas de ecolocalización ($n = 525$).

Antrozous pallidus (Le Conte 1856). Registros históricos: No se encontraron especímenes de referencia. Especímenes colectados: Sonora: La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara (1). Llamadas de ecolocalización ($n = 215$).

Myotis californicus (Audubon y Bachman 1842). Registros históricos: Baja California: El Mayor (1, LACM). Especímenes colectados: Sonora; Pozo El Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara (1). Llamadas de ecolocalización ($n = 66$).

Myotis yumanensis (H. Allen, 1864). Registros históricos: 20 mi (32.1 km) al S de Pilot Knob Colorado River (2, MVZ). Especímenes colectados: Sonora: Puente San Felipe (3); Pozo El Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara (2). Llamadas de ecolocalización ($n = 251$).

Discusión

En la región del Delta del Río Colorado se registraron un total de nueve especies de murciélagos, que representan el 45 % de la quiroptero fauna estatal. Por primera vez se registró para el área de estudio *Antrozous pallidus* mientras que *Eumops perotis* y *Nyctinomops femorosaccus* referidas históricamente no fueron colectadas durante el trabajo de campo. La ausencia de registros actuales de *E. perotis* y *N. femorosaccus* puede atribuirse a que las localidades muestreadas no corresponden con el hábitat descrito por Krutzsch (1945); Kumirai y Jones (1990), Best *et al.* (1996); así como a la estacionalidad del muestreo (temporada de verano).

La región del Delta del Río Colorado registra la menor riqueza de especies en relación con otras áreas de Baja California *v. gr.*: Valle de los Cirios ([18 especies]; Álvarez-Castañeda *et al.* 2008), Sierra de Juárez y Sierra San Pedro Mártir con 15 y 14 especies respectivamente (Flores Rojas 1996). Esto puede atribuirse a la poca heterogeneidad ambiental y las temperaturas extremas de la región. De esta última se expone lo observado el verano del 2007 en las riveras del Río Hardy, donde se registró la muerte de especímenes de *Parastrellus hesperus*, *Myotis californicus*, *M. yumanensis* y durante los días con temperaturas superiores a 50° C, además de avistarse comportamientos anormales como la salida de refugios y vuelos de *Antrozous pallidus* y *Macrotus californicus* entre las 12 y 14 h.

Otro factor que podría explicar la poca diversidad de quirópteros en el área es la transformación del hábitat natural a campos agrícolas, lo que coincide con lo descrito por Couoh de la Garza (2005), quien en un estudio realizado en las zonas agrícolas del estado registró una menor riqueza de especies en relación con sitios menos perturbados. La poca riqueza de especies presentes coincide con los resultados obtenidos por Couoh de la Garza (2005), Flores Rojas (2006), y Guevara Carrizales (2008), en otras áreas del estado, lo cual, aparentemente es un rasgo que caracteriza las poblaciones de murciélagos de Baja California, según lo indican estudios realizados del 2004 al 2012, por Martínez Gallardo (datos no publicados).

Los resultados obtenidos corroboran la importancia de emplear simultáneamente redes de nylon y detectores ultrasónicos para mejorar la calidad de los inventarios, pues el empleo complementario de ambos métodos no solo permite obtener listados de especies más completos (O'Farrell y Gannon 1999; Ochoa *et al.* 2000; Gannon *et al.* 2004), sino también registrar un mayor número de especies por localidad para obtener una mejor caracterización (Pech-Canche *et al.* 2010). Aunque en este trabajo no existió diferencia entre el número de especies registradas mediante ambos métodos, el detector ultrasónico permitió evidenciar la presencia de al menos una especie de murciélago en las 19 localidades donde fue empleado, mientras que utilizando redes de nylon únicamente se pudo registrar al menos una especie en siete localidades de las 21 muestreadas.

Finalmente, se identificaron con base en las observaciones realizadas en campo, cinco áreas importantes para la conservación de los murciélagos en la región. Para esto se consideró la presencia de elementos estructurales del hábitat indispensable para el mantenimiento de la comunidad de quirópteros como: la existencia de refugios, la presencia de cuerpos de agua y áreas con cobertura vegetal como zonas riparias (Villa 1967; Kunz 1982; Mickleburgh *et al.* 1992; Pierson 1998; Tuttle *et al.* 2000; Warren 2000; Hutson *et al.* 2001; Tuttle y Moreno-Valdez 2005). Estas áreas son: el Río Colorado, la Sierra Cucapá, el Río Hardy, la Ciénega de Santa Clara y los humedales del Doctor. En ellas se recomienda desarrollar acciones de manejo para la conservación de las comunidades de murciélagos, considerando la fuerte amenaza que representa para este grupo de mamíferos y su hábitat, la reducción del flujo de agua del Río Colorado y el progresivo desarrollo agrícola y urbano de la región.

Agradecimientos

Al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (proyecto EFC-06-011) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (proyecto GT-026) por el financiamiento. A la Dirección General de Vida Silvestre por la licencia de colecta FAUT-0156. A la Reserva de la Biósfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, en particular a J. Campoy (†) y Ma. J. Martínez; PRONATURA, Campo Mosqueda y Campo Cortez. A los asistentes de campo L. Mexicano, E. Flores, G. González, P. Castillo, A. Blanco, B. Cabrera, A. Montijo, B. García, Á. Milanés, N. Leal, I. Hernández, D. Martínez y J. Escobar. A G. Ruiz, C. Gonzales, A. Jullian, D. Borjes y Y. Sánchez por sus observaciones y sugerencias, así como a P. Cortés-Calva, S. T. Álvarez y a los revisores anónimos que con sus comentarios contribuyeron a mejorar este manuscrito.

Literatura citada

- ÁLVAREZ-CASTAÑEDA, S. T., E. RIOS, P. CORTÉS-CALVA, N. GONZÁLEZ-RUIZ, Y C. G. SUAREZ-GRACIDA** 2008. Mamíferos de las Reservas de Valle de los Cirios y Vizcaíno. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- ARRIAGA CABRERA, L., J. M. ESPINOZA, C. AGUILAR, E. MARTÍNEZ, L. GÓMEZ, Y E. LOA** (eds.). 2000. Regiones Terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- BEST, T. I., W. M. KISER, Y P. FREEMAN.** 1996. *Eumops perotis*. Mammalian Species 534:1-8.
- BROWN, D. E.** (ed.). 1994. Biotic Communities of the American Southwest-United States and México. University of Utah Press. Salt Lake City, EE.UU.
- CONABIO** (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- COUOH DE LA GARZA, R. E.** 2005. Estado de conservación de la quirópterofauna en el matorral Rosetofilo Costero de Baja California, México. Tesis de Maestría. Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México.
- FLORES ROJAS, E. G.** 2006. Composición de la quirópterofauna de Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez. Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México.
- FRICK, W. F.** 2006. Una Clave de Llamadas Ecolocación de los Murciélagos de Baja California, México. Central Coast Bat Research Group. EE.UU.
- GANNON, W. L., M. O'FARRELL, C. CORBEN, Y E. BEDRICK.** 2004. Call Characters lexicon and analysis of field recorded bats echolocation calls en Echolocation. Pp. 478-484 in Bats and Dolphins (Moss T. J., y M. Vater, eds.). The University Chicago Press. Chicago, EE.UU.
- GUEVARA CARRIZALES, A. A.** 2008. Propuesta de sitios prioritarios para la conservación de la quirópterofauna en el Área de Protección de Flora y Fauna Valle de los Cirios, Baja California. Tesis de Maestría. Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México.
- HALL, E. R.** 1981. The mammals of North America. Wiley and Sons. New York, EE.UU.

- HUTSON A., S. MICKLEBURGH, Y P. RACEY** (eds.). 2001. *Microchiroptera Bats*. Internaciotional Union for Conservation of nature/Species Survival Commission Chiroptera Specialist Group. Oxford, Reino Unido.
- UICN (UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA)**. 2012. Red List of Threatened Species. V. 2011.2 en <http://www.iucnredlist.org>. Consultado el 10 de diciembre de 2012.
- JONES, J., P. SWANEPOEL, Y D. CARTER**. 1977. Annotated checklist of the bats of Mexico and Centroamerica. *Occasional Papers the Museum, Texas Tech University* 47:1-35.
- KRUTZSCH, P. H.** 1945. Observations on a colony of molossids. *Journal of Mammalogy* 26:196.
- KUMIRAI, A., Y J.K. JR. JONES**. 1990. *Nyctinomops femorosaccus*. *Mammalian Species*. 349:1-5
- KUNZ, T. H.** 1982. Roosting ecology of bats. Pp. 1–55 in *Ecology of bats* (Kunz, T. H., ed.). Plenum Publishing Corporation. New York, EE.UU.
- KUNZ, T. H., Y S. PARSONS** (eds.). 1988. *Ecological and behavioral methods for the study of bats*. Smithsonian Institution Press. Washington, EE.UU.
- MANIS (MAMMAL NETWORKED INFORMATION SYSTEM)**. 2012. en <http://manisnet.org>. Consultado el 1 de noviembre de 2012.
- MEDELLÍN, R., H. T. ARITA, Y O. SÁNCHEZ**. 1997. Identificación de murciélagos de México. Clave de campo. *Publicaciones Especiales 2*, Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. Ciudad de México, México.
- MEDELLÍN, R. A., H. T. ARITA, Y O. SÁNCHEZ**. 2008. Identificación de los Murciélagos de México, claves de campo. Segunda Edición. Asociación Mexicana de Mastozoología, Publicaciones especiales. Ciudad de México, México.
- MICKLEBURGH, S. P., A. HUTSON, Y P. RACEY**. 2002. A review of the global conservation status of bats. *Oryx* 36:18-32.
- MITTERMEIER, R. A., N. MYERS, J. B. THOMSEN, G. A. B. DA FONSECA, Y S. OLIVIERI**. 1998. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. *Conservation Biology* 12:516–520.
- OCHOA G. J., M. J. O'FARRELL, Y B. W. MILLER**. 2000. Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela. *Acta Chiropterologica* 2:171-183.
- O'FARRELL, M. J., Y M. R. GANNON**. 1999. A comparison of acoustic versus capture techniques for the inventory of bats. *Journal of Mammalogy* 80:24-30.
- O'FARRELL, M. J., B. W. MILLER, Y W. L. GANNON**. 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the Anabat detector. *Journal of Mammalogy* 80:11-23.
- PECH-CANCHE J. P., C. MACSWINEY, Y E. ESTRELLA**. 2010. Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya* 1:221-228.
- PIERSON, E.** 1998. Tall trees, deep holes and scarred landscapes: Conservation biology of North America bats. Pp. 306-325 in *Bats Biology and conservation* (Kunz, T., y P. Racey, eds.). Smithsonian Institution Press. Washington, EE.UU.
- RACEY, P.** 1988. Reproductive Assessment in Bats. Pp. 31-43 in *Ecological and Behavioral Methods for the study bats*. (Kunz, T. H., ed.). Smithsonian Institution Press.

Washington, EE.UU.

- RAMÍREZ-PULIDO, J., J. ARROYO-CABRALES, Y A. CASTRO-CAMPILLO.** 2005. estado actual y relación nomenclatural de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana* 21:21-82.
- RZEDOWSKI, J.** 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. Ciudad de México, México.
- SEMARNAT (SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES).** 2007. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Ciudad de México, México.
- SEMARNAT (SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES).** 2010. Norma Oficial Mexicana NOM 059-ECOL-2010. Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México, México.
- SIMMONS, N. B.** 2005. Order Chiroptera. Pp. 312-529 in *Mammal species of the World: a taxonomic and geographic reference* (Wilson, D. E., y D. M Reeder, eds.). Johns Hopkins University Press. Baltimore, EE.UU.
- TUTTLE, M., Y A. MORENO VALDEZ.** 2005. Murciélagos cavernícolas del norte de México, su importancia y problemas de conservación. *Bat Conservation International*. Austin, EE.UU.
- TUTTLE, M., D. TAYLOR, R. MEDELLÍN, Y S. WALTER.** 2000. *Murciélagos y Minas*. Bat Conservation International. Austin, EE.UU.
- VILLA, R. B.** 1967. *Los Murciélagos de México*. Universidad Autónoma de México. Instituto de Biología. Ciudad de México, México.
- WARREN, R. D., D. WALTERS, J. ALTRINGHAMS, Y D. BULLOCK.** 2000. The distribution of Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*) and pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) (Vespertilionidae) in relation to small-scale variation in river line habitat. *Biological Conservation* 92:85-91.
- WIECZOREK, J.** 2001. Mammal Networked Information System (MaNIS). University of California, Berkeley en <http://manisnet.org/>. Consultado el 1 de marzo de 2013.

Sometido: 29 de enero de 2013

Revisado: 11 de marzo de 2013

Aceptado: 19 de abril de 2013

Editor asociado: Patricia Cortés-Calva

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Apéndice 1

Parámetros de los llamados de ecolocalización las especies de murciélagos registradas durante 2006 y 2010 en la región del Delta del Río Colorado, México. Tomados de Flores Rojas (2006) y Frick (2006). Donde se describe los valores de la frecuencia mínima (**Fmin**), frecuencia máxima (**Fmax**) en kHz, la duración del pulso (**pulso**) en segundos y algunas características generales.

Espece	Fmin	Fmax	Pulso	Características generales
<i>Macrotus californicus</i>	48-60	60-70	0.002	Formas diagonales sin curvatura. Las llamadas son de corta duración con pulsos de aproximadamente de 0.002 s.
<i>Tadarida brasiliensis</i>	25	35	0.006-0.008	Formas principalmente planas o ligeramente cóncavas con barridos cerca de 25 kHz (Fmin).
<i>Eptesicus fuscus</i>	25-30	50-40	0.006-0.011	Curvas cóncava ligeramente ganchuda. A diferencia de <i>Antrozous pallidus</i> , las formas son más curvas.
<i>Parastrellus hesperus</i>	45	48-55	0.002-0.005	Curvas muy pronunciadas con una característica forma de “coma invertida” que terminan en pulsos de 45 kHz (Fmin) y son fácilmente distinguibles por su regularidad.
<i>Antrozous pallidus</i>	30-35	80-60	0.004-0.008	Formas verticales en ocasiones con gancho terminal en 30 kHz (Fmin).
<i>Myotis californicus</i>	50	100-70	0.004	Formas lineales, ocasionalmente muestra un leve gancho terminal entre 50 a 45 kHz (Fmin). Presentan una Fmax de (100 a 70 kHz).
<i>Myotis yumanensis</i>	45-50	90-70		Estructura muy similar a <i>Myotis californicus</i> , aunque difiere de ésta por su pendiente menos pronunciada.

Descripción de los registros históricos y especímenes colectados, especificados por entidad federativa, localidad, acrónimo de la colección donde se encuentran depositados, sexo y el número(s) de catálogo. Se Incluyen adicionalmente un listado de localidades donde se registró su presencia mediante llamadas de ecolocalización.

FAMILIA PHYLLOSTOMIDAE (Gray 1825)

Macrotus californicus (Baird 1858)

Registros históricos: *Baja California*: San Felipe, Mexicali (SDNHM, 8674 – 8677, 8692 – 8694, 8756, 8757, 8759 – 8765).

Especímenes colectados: *Baja California*: Mina La Corquida, Sierra Cucapa (347, ♀360, ♂361, 376, 377, ♀378, ♀379, ♀380, 381, ♂382, ♂383, ♂384, ♂385, ♂386, ♀387, ♂388, ♂389, ♂390, ♂391, ♂392, ♂393, ♂394, ♂395, ♂396, ♂397, ♂398, ♀399, ♂426, ♂427, ♂582).

Llamadas de ecolocalización : *Baja California*: Campo Mosqueda, Río Hardy; 3 km NW de Campo Mosqueda; Campo Escondido, Río Hardy; Campo AEURHYC, Río Hardy; Campo Ramona, Río Hardy.

FAMILIA MOLOSSIDAE (Gervains In De Castelnau 1855)

Eumops perotis (Schinz 1821)

Registros históricos: *Baja California*: Cerro Prieto, 20 Mi SW Mexicali (MVZ; 110877).

Nyctinomops femorosaccus (Merriam 1889)

Registros Históricos: Boca del Río Colorado (MSB; 11170).

Tadarida brasiliensis

Registros históricos: *Baja California*: Cerro Prieto, 20 mi al SW de Mexicali (MVZ; ♀ 110744); Punta San Felipe (MVZ; ♂ 110745).

Especímenes colectados: *Baja California*: Puente San Felipito (CVUABC; ♂342, ♂347).

Llamadas de ecolocalización: *Baja California*: Vado Carranza , Río Hardy; Río Colorado, 3.5 km al sur del Puente San Felipito; Campo Mosqueda, Río Hardy; 3 km NO de Campo Mosqueda; Campo Escondido, Río Hardy; Campo AEURHYC, Río Hardy; Campo Ramona, Río Hardy; 5 km al N La Ventana, Mexicali; Antena microondas, 3.8 km al S de la Ventana. *Sonora*: Puente San Felipito, Río Colorado; 5 km al N Ciénega de Santa Clara; Ciénega Santa Clara; La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara.

FAMILIA VESPERTILIONIDAE (Grey 1821)

Eptesicus fuscus (Palisot de Beavois 1796)

Registros históricos: *Baja California*: Cerro Prieto (MVZ; ♀ 110537); El Mayor (MVZ; ♂ 37624); 13 mi al N del Mayor (MVZ; ♂ 3762).

Especímenes colectados: *Sonora*: Puente San Felipito (♂340, ♀341, ♀343); Ciénega El Doctor (♀362, ♀363).

Llamadas de ecolocalización : *Baja California*: Vado Carranza, Río Hardy; Río Colorado, 3.5 km al sur del Puente San Felipito; Campo Mosqueda, Río Hardy; 3 km NO de Campo Mosqueda; Campo Escondido, Río Hardy; Campo AEURHYC, Río Hardy; Campo

Ramona, Río Hardy; Km 90 Carr Mexicali-San Felipe; 5 km al N la Ventana, Mexicali; Campo Villa de Cortez, 18.6 km al N de San Felipe. *Sonora*: Puente San Felipito, Río Colorado; 5 km al N Ciénaga de Santa Clara; Ciénega Santa Clara; Ciénega El Doctor; La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara; 16 km al NO del Golfo de Santa Clara.

Parastrellus hesperus (H. Allen 1864)

Registros históricos: *Baja California*: San Felipe (FMNH 10857, 10858, 15858; SDNHM ♂5242, ♂5243).

Especímenes colectados: *Sonora*: La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara (♀354, ♀422); Pozo el Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara (♀353, ♀599).

Llamadas de ecolocación: *Baja California*: Vado Carranza, Río Hardy; Río Colorado, 3.5 km al sur del Puente San Felipito; Campo Mosqueda, Río Hardy; 3 km NO de Campo Mosqueda; Campo Escondido, Río Hardy; Campo AEURHYC, Río Hardy; Campo Ramona, Río Hardy; Km 90 Carr Mexicali-San Felipe; 5 km al N la Ventana, Mexicali; Campo Villa de Cortez, 18.6 km al N de San Felipe. *Sonora*: Puente San Felipito, Río Colorado; 5 km al N Ciénaga de Santa Clara; Ciénega Santa Clara; Ciénega El Doctor; La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara El Columpio, 15.6 km al NO del Golfo de Santa Clara; 16 km al NO del Golfo de Santa Clara; Pozo El Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara.

Antrozous pallidus (Le Conte 1856)

Registros históricos: No se encontraron especímenes de referencia.

Especímenes colectados: *Sonora*: La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara (♀694)

Llamadas de ecolocación: *Baja California*: Vado Carranza, Río Hardy; Río Colorado, 3.5 km al sur del Puente San Felipito; Campo Mosqueda, Río Hardy; 3 km NO de Campo Mosqueda; Campo Escondido, Río Hardy; Campo AEURHYC, Río Hardy; Campo Ramona, Río Hardy; Km 90 Carr Mexicali-San Felipe; Campo Villa de Cortez, 18.6 km al N de San Felipe. *Sonora*: Puente San Felipito, Río Colorado; 5 km al N Ciénaga de Santa Clara; Ciénega Santa Clara; Ciénega El Doctor; La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara; 16 km al NO del Golfo de Santa Clara; Pozo El Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara.

Myotis californicus (Audubon y Bachman 1842)

Registros históricos: *Baja California*: El Mayor (LACM, 21408).

Especímenes colectados: *Sonora*; Pozo El Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara (♂1154).

Llamadas de ecolocación: *Baja California*: Campo Mosqueda, Río Hardy; Campo Escondido, Río Hardy; Campo AEURHYC, Río Hardy; 5 km al N La Ventana, Mexicali *Sonora*: 5 km al N Ciénega de Santa Clara; Ciénega Santa Clara; Ciénega el Doctor; Pozo El Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara.

Myotis yumanensis (H. Allen 1864)

Registros históricos: 20 mi al S de Pilot Knob Colorado River (MVZ: ♂39007, ♂39008).

Especímenes colectados: *Sonora*: Puente San Felipito (♂337, ♀338, ♀339); Pozo El Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara (♂428, ♀429).

Llamadas de ecolocación: *Baja California*: Vado Carranza, Río Hardy; Río Colorado, 3.5 km al sur del Puente San Felipito; Campo Mosqueda, Río Hardy; 3 km NO de Campo Mosqueda; Campo Escondido, Río Hardy; Campo AEURHYC, Río Hardy; Campo Ramona, Río Hardy; Km 90 Carr Mexicali-San Felipe; 5 km al N La Ventana, Mexicali; Campo Villa de Cortez, 18.6 km al N de San Felipe. *Sonora*: Puente San Felipito, Río Colorado; 5 km al N Ciénega de Santa Clara; Ciénega Santa Clara; Ciénega El Doctor; La Pila de Lolo, 21.9 km al NO del Golfo de Santa Clara; 16 km al NO del Golfo de Santa Clara; Pozo El Tornillal, 21.4 km al SE del Golfo de Santa Clara.

Comparación de sistemas de detección ultrasónica para actividad relativa de murciélagos insectívoros

Antonio Santos-Moreno^{1*} y Cristian Kraker-Castañeda^{1,2}

Abstract

We compared three acoustic systems for monitoring ultrasound (UltraMic200K, Rome, Italy; Echo Meter EM3, Concord, USA; and Anabat™ SD2, Brisbane, Australia) in order to infer relative activity of insectivorous bats under similar conditions, which presumably could implicate bias, but is evidence of the difficulty of comparing data sets generated in the same area with different detectors. The detectors were placed together for five days in an oak forest ecotone in Santa María Tiltepec, municipality of San Pedro Topiltepec, Sierra Mixteca of Oaxaca, Mexico. For each device we obtained 15 hours of recordings. The Ultramic200k is the cheapest system, although the space required for storing the files is very superior to the other devices, and requires connection to an external energy source. The Echo Meter EM3 is a medium priced dispositive, with less memory demands, but recorded significantly fewer ultrasound files and required a full load of batteries per recording session. The Anabat™ SD2 has been more widely used, requires significantly less storage space than the other two devices, and operates with less energy; however, it is the most expensive of the detectors tested.

Key words: Anabat™ SD2, Echo Meter EM3, relative activity, UltraMic200k.

Resumen

Se compararon tres sistemas de detección de ultrasonido (UltraMic200K, Roma, Italia; Echo Meter EM3, Concord, EE.UU. y Anabat™ SD2, Brisbane, Australia), para inferir la actividad relativa de murciélagos insectívoros, como evidencia de la dificultad para comparar conjuntos de datos generados con distintos dispositivos en una misma área de estudio. Los detectores se colocaron bajo condiciones de muestreo estandarizadas durante cinco días en un ecotono de bosque de encino en Santa María Tiltepec, municipio de San Pedro Topiltepec, Sierra Mixteca de Oaxaca, México. Para cada dispositivo se obtuvieron 15 horas de grabaciones. El Ultramic200k es el sistema más económico, aunque el espacio requerido para el almacenamiento de los archivos es muy superior a los otros, y requiere una fuente de energía externa. El Echo Meter EM3 tiene un precio intermedio, los archivos de sonido que genera tienen

¹Laboratorio de Ecología Animal. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, 71230. E-mail: asantasm90@hotmail.com (AS-M).

²Departamento de Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Panamericana y Periférico Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México, 29290. E-mail: ckraker@ecosur.edu.mx (CK-C).

*Corresponding author

menor demanda de memoria, sin embargo registra un número significativamente menor de archivos de ultrasonido, y requiere una carga completa de baterías por sesión de grabación. El Anabat™ SD2 ha sido más ampliamente utilizado, requiere menor espacio de almacenamiento y energía que los otros dos dispositivos, pero es el más caro de los detectores analizados en este estudio.

Palabras clave: actividad relativa, Anabat™ SD2, Echo Meter EM3, UltraMic200k.

Introducción

Los murciélagos utilizan la emisión de señales ultrasónicas en un amplio intervalo de frecuencias (desde los 10 a los 200 kHz; Fenton 2002), principalmente para obtener información de los objetos reflejados por el eco, comportamiento conocido como ecolocalización (Schnitzler y Kalko 2001). Actualmente existen detectores y micrófonos ultrasónicos para el estudio de los murciélagos (Pech-Canche *et al.* 2010). Estos dispositivos incorporan distintos mecanismos para transformar los ultrasonidos en frecuencias audibles para el humano (hasta aproximadamente 20 kHz; Fenton 2002) y para extraer el contenido espectral de los mismos (Parsons *et al.* 2000), lo que permite entre otras cosas, la distinción de especies y el estudio de patrones de actividad (Adams *et al.* 2012).

Debido a que los murciélagos individuales no pueden ser contados con métodos acústicos, su actividad relativa puede ser cuantificada a través del número de pases por un intervalo de tiempo estandarizado (Fenton 1970; Miller 2001). Este método permite estimar la intensidad de la actividad en un punto de muestreo más que la abundancia, aunque ambas variables están correlacionadas (Wickramasinghe *et al.* 2003). Las herramientas de detección acústica han variado con el tiempo, de manera que en la actualidad se tienen modelos básicos con diferentes capacidades y limitantes técnicas (Limpens y McCracken 2000; Parsons *et al.* 2000; Adams *et al.* 2012), por lo que es importante estimar la variación en el rendimiento de los sistemas de grabación y su impacto en los resultados de detección (Adams *et al.* 2012).

Como resultado de algunas valoraciones hechas en el monitoreo de quirópteros, se considera que deben reunir características tales como eficiencia en el equipamiento (cantidad y calidad) y recursos financieros (Danielsen *et al.* 2000), que permitan la obtención de información ecológica y biológica adecuada. Además, se debe considerar que la información recopilada responda a necesidades específicas del grupo en estudio, haciendo necesaria una evaluación de las opciones de equipo disponibles en el mercado.

En México, los estudios de ecolocalización que se han efectuado en años recientes muestran la gran cantidad de opciones de equipo disponibles en el mercado y estas herramientas están ocupando un papel preponderante en evaluaciones ecológicas (e. g. efecto de la urbanización, fragmentación y transformación de hábitats; Estrada *et al.* 2003; Avila-Flores y Fenton 2005; MacSwiney *et al.* 2009; Williams-Guillén y Perfecto 2011). Recientemente en el monitoreo para proyectos de alto impacto como parques eólicos, para los cuáles no se cuenta con protocolos estandarizados. Con base en la actividad relativa de murciélagos insectívoros se comparó el resultado de tres detectores con distinto tipo de muestreo del ultrasonido (Ultramic200k, Roma, Italia; Echo Meter EM3, Concord, EE.UU.; y Anabat™ SD2, Brisbane, Australia), con la finalidad

de evidenciar la dificultad para comparar conjuntos de datos en una misma área de estudio, valorar la efectividad y accesibilidad de estos dispositivos en los programas de monitoreo de murciélagos.

Material y Métodos

El sitio de grabación se encuentra en un pequeño cerro inmerso en el pueblo de Santa María Tiltepec (17.465278° N, -97.355556° W, altitud 2,080 m), en el municipio de San Pedro Topiltepec, Sierra Mixteca de Oaxaca, México. El muestreo acústico se realizó durante cinco noches consecutivas en octubre de 2012, por un periodo de tres horas, en un ambiente transicional de cultivos de maíz y bosque de encino. Se utilizó un sistema Echo Meter Active Ultrasonic Bat Detector/Recorder (EM3), el cuál utiliza la tecnología de grabación “full spectrum” de 16-bit y graba los archivos en un tarjeta SDHC incorporada, un UltraMic200K (UltraMic) con tasa de muestreo de 200 kHz/s y resolución de 16-bit que solamente graba los archivos en dispositivos externos (en este caso una tableta digital marca Acer), y un AnaBat™ SD2 (Anabat) con tecnología de cero-cruzamiento o “zero-crossing” que graba los archivos en un “Compact Flash” incorporado.

Los detectores se colocaron en una mesa a un metro sobre el nivel del suelo, con una distancia aproximada de 10 cm entre cada uno, y una orientación de 45° S, pues se sabe que estas variables tienen un efecto directo en la cantidad y calidad de las grabaciones (Weller y Zabel 2002; Adams *et al.* 2012). Los dispositivos se programaron de la siguiente forma: 1) para el EM3 con los parámetros de fabricación (“default parameters”) y duración de bloques de un min, generando archivos en formato *.wac, 2) para el UltraMic en opción de archivos múltiples y duración de un min., que genera archivos en formato *.wav y 3) para el Anabat con división de frecuencia de ocho y sensibilidad de siete, que genera archivos en formato nativo de Anabat.

Las grabaciones obtenidas en campo se revisaron e identificó la presencia de dos o más pulsos sucesivos, definiéndose como secuencias de llamados de ecolocalización (Williams-Guillén y Perfecto 2011), para el posterior reconocimiento general de especies o grupos basados en intervalos de frecuencia (de baja o alta frecuencia, fijando como límite arbitrario 40 kHz). Para la visualización de los espectrogramas se utilizaron los programas acústicos Song Scope 4.1.3A, SeaWave Sound Emission Analyzer Wave 2.0 y AnalookW ver. 3.8s.

Para describir la tasa de detección de cada dispositivo se utilizó el índice de actividad relativa (AI), que considera la presencia/ausencia de llamados en intervalos de un minuto (Miller 2001). Además se comparó el número promedio de bloques de un minuto con evidencia de actividad de murciélagos registrados por sesión de muestreo entre dispositivos por medio de un análisis de varianza (ANDEVA), previamente establecida la normalidad en la distribución de los datos, y cuando éste mostró diferencias significativas, se aplicó la prueba comparativa múltiple de Tukey-Kramer.

Resultados

Se obtuvieron en total 45 horas de grabación, 15 h por cada detector ultrasónico. Durante el monitoreo acústico, se registró el mayor número de archivos con el detector Anabat, seguido en igual número de archivos por los detectores EM3 y UltraMic (Tabla

1). Los valores obtenidos del índice de actividad relativa (AI) fueron distintos entre los dispositivos, destacando el número de secuencias registradas con el detector UltraMic, seguido de Anabat y EM3, respectivamente (Tabla 1).

	EM3	UltraMic	Anabat
No. de archivos	900	900	3243
AI	151.8	177.4	164.8
s	12.9	3.1	10.4

Tabla 1. Datos generados con los sistemas de detección ultrasónica en Santa María Tiltepec, Oaxaca. Se presenta el número de archivos explorados, índice de actividad relativa (AI) y su desviación estándar (s).

El análisis estadístico efectuado con los datos de secuencias de ecolocalización con los tres dispositivos señalan diferencias estadísticamente significativas en el registro de llamados ($F = 8.168$, $GL = 2$, $P = 0.0048$), y con base a la prueba de Tukey-Kramer se reconoció la diferencia en el promedio de actividad relativa registrada entre el EM3 y el UltraMic ($q = 5.871$, $P < 0.05$). En este caso el EM3 grabó un número promedio menor de bloques con evidencia de ecolocalización. En la Figura 1 se presentan los valores promedio por sistema de detección junto con sus intervalos de confianza del 95%.

Los archivos generados con el UltraMic en bloques de un minuto tuvieron un tamaño de 22.9 MB, y el promedio por sesión de grabación de tres horas fue de 3.9 GB. Con el detector EM3, los archivos obtenidos variaron de tamaño entre 366 KB a 9,860 KB por min, y el promedio por sesión fue de 384.8 MB; mientras que con el detector Anabat las grabaciones oscilaron entre 1 Kb y 22 Kb, y el promedio por sesión fue de 5.5 MB.

En cuanto a la identidad de las especies grabadas, con base a una muestra de los archivos generados con el Anabat, se identificó a *Lasiurus cinereus* ($n = 20$, frecuencia máxima = 25.2 ± 1.2 y frecuencia mínima = 22.4 ± 0.4), especie previamente capturada en el área. Así mismo se reconocieron sonotipos del género *Myotis* (pulsos de frecuencia modulada, de banda ancha, por arriba de 40 kHz).

Discusión

La funcionalidad de los distintos sistemas de detección acústica empleados en el estudio de murciélagos, puede estar influenciada por factores climáticos, físicos, estructurales y ensamble de especies (Adams *et al.* 2012); en esta ocasión se pudo determinar que bajo condiciones similares de muestreo en tiempos simultáneos, la respuesta de cada equipo es diferente, observándose ciertas limitantes en la detección.

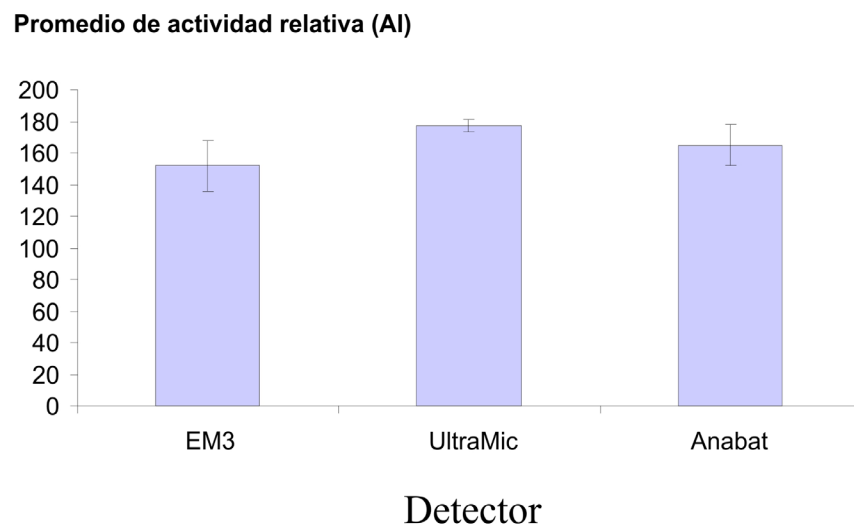
En este estudio los resultados obtenidos con el EM3 mostraron un promedio significativamente menor de detecciones de ultrasonido de murciélagos. Al utilizar simultáneamente este dispositivo con otros detectores (*i.e.* Anabat) se pudo comprobar que pasan desapercibidos algunos pulsos de ecolocalización; por otro lado el consumo de energía del EM3 es un factor a tomar en consideración, especialmente en estudios intensivos de largo plazo, ya que requiere de una gran cantidad de energía, y durante este monitoreo fue requerido un juego completo de baterías por sesión de grabación (3 h), lo que es una desventaja, ya que eleva los costos empleados en el monitoreo, el cuál se trata sea lo más eficiente posible (tiempo y costo, Wildlife Acoustics; Danielsen *et al.* 2000).

El micrófono UltraMic percibió el mayor promedio de archivos con evidencia de secuencias de ultrasonido. La duración de las sesiones con este dispositivo depende de la energía de la fuente externa a la cual está conectada, siendo una limitante. No

es conveniente su uso en monitoreos pasivos, sin embargo, debido a su portabilidad este puede ser de utilidad en monitoreos activos utilizando un equipo digital ligero. Este micrófono es útil para el registro de datos en estudios enfocados a la evaluación ecológica de ensamblajes de especies de murciélagos insectívoros, y tiene la ventaja de bajo costo y la posibilidad de observar las detecciones en tiempo real con un dispositivo adecuado.

De los tres detectores comparados, el Anabat, aunque es el más costoso (Titley Scientific), es el que ha sido más ampliamente utilizado (e.g. O'Farrell y Miller 1997; O'Farrell *et al.* 1999; O'Farrell y Miller 1999; Ochoa *et al.* 2000; Miller 2003; García-García *et al.* 2010). Esto ha permitido mejorar muchas de sus características; es efectivo en la captación de la actividad relativa de los murciélagos insectívoros, sin embargo presenta limitantes para la caracterización de especies debido a su respuesta más eficiente a los pulsos más intensos. De acuerdo con Adams *et al.* (2012), el sistema Anabat SD2 detecta un número menor de señales al ser puesto a prueba junto con otros dispositivos (Avisoft UltrasoundGate 116 CM16/CMPA, Batrecorder 2.0, Batlogger y Song Meter SM2BAT); para dicho estudio se consideró la emisión de sonidos artificiales a cuatro frecuencias (25, 55, 85 y 115 kHz), intervalos de 5 ms, y distintos ángulos entre la fuente y los detectores (0°, 45° y 90°). A pesar de esto en EE.UU. y recientemente en México, este sistema ha tenido un uso relativamente intensivo, y en la región se han generado una importante cantidad de bibliotecas acústicas (e.g., O'Farrell y Miller 1997; 1999; O'Farrell *et al.* 1999; Ochoa *et al.* 2000; Miller 2003; García-García *et al.* 2010), lo que permite la identificación cualitativa de las especies por comparación directa con ellas (O'Farrell *et al.* 1999).

Figura 1. Promedio de actividad relativa de murciélagos insectívoros registrada con tres sistemas de detección ultrasónica en Santa María Tiltepec, Oaxaca. Las líneas verticales corresponden a los intervalos de confianza de 95% para la media



Es necesario tomar en cuenta que la probabilidad de detectar los llamados de ecolocalización de los murciélagos es afectada por la intensidad de la señal, así como la direccionalidad y respuesta a las distintas frecuencias. Por ejemplo, la respuesta a las frecuencias bajas de alta intensidad y las frecuencias altas de baja intensidad varía entre

dispositivos; la detección aparentemente es más afectada por la frecuencia que domina la señal y la distancia a la fuente emisora (Adams *et al.* 2012). En nuestro caso solamente se evaluó la actividad relativa de murciélagos, pero sí dentro de los objetivos del estudio se encuentra la identificación de las especies, el problema es aún más complejo y la elección del detector debe considerar esta necesidad, así como el efecto de la variación en las condiciones climáticas como la humedad, la temperatura, y velocidad del viento en la calidad y cantidad de datos que se generan con distintos dispositivos de detección.

La capacidad para detectar los llamados de ecolocalización de los murciélagos está influenciada por la selección adecuada de los detectores y características del tipo de micrófono, direccionalidad, tasa de re muestreo y la tecnología de registro (Adams *et al.* 2012). Actualmente se fabrican distintos sistemas de detección de ultrasonidos, muchos de ellos accesibles y que pueden ser considerados para el monitoreo de murciélagos. Es necesario valorar sus características y asegurarse que provean la información necesaria para evaluar en forma adecuada el estado de conservación de las especies que pasan desapercibidas por los métodos convencionales de captura.

Así mismo, es importante considerar las características del software para visualización y análisis asociado a cada dispositivo, aunque en la actualidad los formatos de audio que se utilizan son compatibles con varios de los paquetes disponibles. Para decidir qué sistema de detección ultrasónica adquirir es necesario tomar en cuenta la finalidad del estudio, así como tomar en cuenta el balance entre costos, capacidades y limitaciones.

Agradecimientos

El Instituto Politécnico Nacional de México proporcionó el apoyo económico para la realización del proyecto (proyectos SIP-20110395 y SIP-20120962). Agradecemos especialmente la amable invitación de P. Cortés-Calva para participar en este número especial, así como sus sugerencias y correcciones de los revisores anónimos que permitieron mejorar significativamente este manuscrito. R. Barragán Lara, G. Antonio Castellanos, M. Á. García García y C. Benítez Díaz brindaron una invaluable ayuda en el trabajo de campo.

Literatura citada

- ADAMS, A. M., M. K. JANTZEN, R. M. HAMILTON, Y M. B. FENTON. 2012. Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution* 3:992-998
- AVILA-FLORES, R., Y B. FENTON. 2005. Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of Mammalogy* 86:1193-1204.
- DANIELSEN, F., D. S. BALETE, M.O K. POULSEN, M. ENGHOF, C. M. NOZAWA, Y A. E. JENSEN. 2000. A simple system for monitoring biodiversity in protected areas of a developing country. *Biodiversity and Conservation* 9:1671-1705.
- ESTRADA, A., C. JIMÉNEZ, A. RIVERA, Y E. FUENTES. 2003. General bat activity measured with an ultrasound detector in a fragmented landscape in Los Tuxtlas, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation* 27:1-9.
- 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.

- FENTON, M. B. 2002. Bat natural history and echolocation. Pp. 2-6 in *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis* (Brigham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. J. G. A. Limpens, eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.
- FLAQUER, C., I. TORRE, Y A. ARRIZABALAGA. 2007. Comparison of sampling methods for inventory of bat communities. *Journal of Mammalogy* 88:526–533.
- GARCÍA-GARCÍA, J. L., A. SANTOS-MORENO, A. E. HERNÁNDEZ-CRUZ, Y M. PÉREZ-LUSTRE. 2009. Murciélagos de La Ventosa, Oaxaca: comparación entre el método de muestreo convencional y el muestreo acústico. *Naturaleza y Desarrollo* 7:19-29.
- LIMPENS, H. J. G. A., Y G. F. McCRACKEN. 2000. Choosing a bat detector: theoretical and practical aspects. Pp. 28-37 in *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis* (Brigham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. J. G. A. Limpens, eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.
- MACSWINEY, M. C., B. BOLÍVAR, F. M. CLARKE, Y P. A. RACEY. 2009. Insectivorous bat activity at cenotes in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Chiropterologica* 11:139-147.
- MILLER, B. W. 2001. A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. *Acta Chiropterologica* 3:93-105.
- MILLER B. W. 2003. Community Ecology of the Non-Phyllostomid Bats of Northwestern Belize, with a Landscape Level Assessment of the Bats of Belize. Tesis de Doctorado. Universidad de Kent. Canterbury, Reino Unido.
- OCHOA, J., M. J. O'FARRELL, Y B. W. MILLER. 2000. Contribution of acoustic methods to the study of insectivorous bat diversity in protected areas from northern Venezuela. *Acta Chiropterologica* 2:171-183.
- O'FARRELL, M. J., Y B. W. MILLER. 1997. A new examination of echolocation calls of some Neotropical bats (Emballonuridae and Mormoopidae). *Journal of Mammalogy* 78:954-963.
- O'FARRELL, M. J., Y B. W. MILLER. 1999. Use of vocal signatures for the inventory of free-flying neotropical bats. *Biotropica* 31:507-516.
- O'FARRELL, M. J., B. W. MILLER, Y W. L. GANNON. 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the Anabat detector. *Journal of Mammalogy* 80:11-23.
- PARSONS, S., A. M. BOONMAN, Y M. K. OBRIST. 2000. Advantages and disadvantages of techniques for transforming and analyzing chiropteran echolocation calls. *Journal of Mammalogy* 81:927-938.
- PECH-CANCHE, J. M., C. MAC SWINEY, Y E. ESTRELLA. 2010. Importancia de los detectores ultrasónicos para mejorar los inventarios de murciélagos Neotropicales. *Therya* 1:227-234.
- SCHNITZLER, H., Y E. K. V. KALKO. 2001. Echolocation by insect-eating bats. *Bioscience* 51:557-569.
- WELLER, T. J., Y C. J. ZABEL. 2002. Variation in bat detections due to detector orientation in a forest. *Wildlife Society Bulletin* 30:922-930.
- WICKRAMASINGHE, L. P., S. HARRIS, G. JONES, Y N. VAUGHAN. 2003. Bat activity and species richness on organic and conventional farms: impact of agricultural intensification. *Journal of Applied Ecology* 40:984–993.

WILLIAMS-GUILLÉN, K., Y I. PERFECTO. 2011. Ensemble composition and activity levels of insectivorous bats in response to management intensification in coffee agroforestry systems. PLoS One 6:16502.

Sometido: 11 de enero de 2013

Revisado: 5 de marzo de 2012

Aceptado: 19 de abril de 2013

Editor asociado: Patricia Cortés-Calva

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Acoustic monitoring of bats, considerations of options for long-term monitoring

Winifred F. Frick¹

Abstract

Acoustic recording of echolocation activity of bats is a means of monitoring bat activity or habitat use over time and space. Advances in technology permit long-term monitoring of echolocation activity relatively cheaply and there is much interest in developing acoustic monitoring protocols for long-term monitoring of bat populations. There are many challenges to using acoustic recordings for monitoring underlying changes in bat populations, but acoustic recordings can be used to evaluate changes in use and activity. There has been much recent attention and effort to develop automated species identification/classification and to make these tools available through both commercial software or free online. More work needs to be done, however, before automated species classification can be implemented for monitoring bats on continental or global scales. Here, I provide a brief overview of current popular systems for long-term echolocation monitoring and discuss some of the challenges and advantages of current acoustic monitoring systems.

Key words: bats, detector systems, echolocation activity, acoustic monitoring, ultrasonic signals.

Resumen

La detección de los pulsos de ecolocalización permite monitorear la actividad de los murciélagos y/o su uso del hábitat a través del tiempo y del espacio. Los avances tecnológicos recientes permiten desarrollar monitoreo de ecolocalización a largo plazo de forma relativamente barata; existe interés en el desarrollo de protocolos de monitoreo acústico para el seguimiento a largo plazo de las poblaciones de murciélagos. Son muchos los desafíos que presenta la aplicación de la detección acústica para evaluar los cambios en las poblaciones de murciélagos, pero esta técnica se puede utilizar para evaluar los cambios en el uso del hábitat y la actividad del ensamble de especies de murciélagos. Recientemente ha habido mucha atención y esfuerzos para desarrollar herramientas automatizados de identificación / clasificación de especies y hacerlas disponibles a través de software comercial o en línea de forma gratuita. Se requiere aun mucho trabajo antes de que sea posible la clasificación automatizada de las especies y el monitoreo de murciélagos a escala continental o global. A continuación, se presenta una breve descripción de algunos sistemas populares para el monitoreo de la ecolocalización a largo plazo, discutiendo algunas de sus ventajas y desventajas.

¹Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of California, Santa Cruz, Santa Cruz, USA 95064. E-mail wfrick@ucsc.edu (WF)

Palabras clave: detectores ultrasónicos, ecolocalización, monitoreo acústico, murciélagos, señales ultrasónicas, sistemas de detección.

Introduction

Bats are cryptic, nocturnal mammals that are often difficult to study. In particular, monitoring population trends of bats presents considerable challenges because standard wildlife management methods for estimating population sizes or densities on the landscape are often not feasible. Yet monitoring bats is a high priority given the important role they play in ecosystems and their potential sensitivity to both land-use and global climate change (Jones *et al.* 2009).

Technological advancements in acoustic detector systems and computer hardware accessories permit recording echolocation calls emitted by bats as a means of monitoring bat echolocation activity. Bats use echolocation to find insect prey and these echolocation calls can be detected with high frequency microphones and recorded onto storage media for later analysis with computer software packages. There are a number of different methods and systems for acoustic monitoring of bat echolocation activity and each system has advantages and disadvantages depending on the goals and objectives of a project (Parsons and Szewczak 2009).

In contrast to the way in which songbirds produce complex and unique call signatures during mating displays, bats use echolocation sound primarily for detecting prey. Therefore, there can be considerable inter-species overlap in echolocation call morphologies based on foraging strategies and diet preferences. There is also considerable intra-species and even intra-individual variation in echolocation properties based on habitat type and foraging mode (Hayes *et al.* 2009). The inter-species overlap and intra-species variation in bat echolocation signatures make automated species-specific call identification challenging (Hayes *et al.* 2009; Parsons and Szewczak 2009). Sophisticated multi-variate statistical methods, such as neural networks and discriminant function analyses, have permitted development of automated call classification algorithms to be incorporated into software packages for call identification (Parsons and Jones 2009; Walters *et al.* 2012). These analytical tools have improved the feasibility of using acoustic monitoring for tracking spatio-temporal changes in bat activity by species or species groups with a repeatable, automated post-processing data management flow. Although variation in species echolocation call morphologies may never permit absolute certainty in species identification, having a repeatable automated classification system provides a reasonable means for assessing bat use of habitats through time and with expected further advancements in acoustic monitoring technologies, identification will likely become more accurate in the future.

Acoustic monitoring is a well-established method for monitoring bat activity patterns and changes in habitat use and activity of bats across habitats (Hayes 1997; 2000; Broders 2003; Gehrt and Chelsvig 2003; Gehrt and Chelsvig 2004; Gorresen *et al.* 2008; Hayes *et al.* 2009; Parsons and Szewczak 2009). The relationship between bat echolocation activity and abundance of bats has not been conveniently evaluated and at this time cannot be used to directly infer population densities (Hayes *et al.* 2009). A classic conundrum is whether, for instance, 10 bat passes represent 10 bats flying by the detector or one bat passing by 10 times.

Acoustic activity indices (Miller 2001) can be used in lieu of counting bat passes to provide a simple and less biased means to quantify bat activity. Acoustic activity indices generally use a presence/absence of a call within a defined temporal interval (e.g. 1 minute; Miller 2001). In general, researchers tend to equate higher levels of bat activity with higher quality habitat; however, density (or in this case activity) is not always a good indicator of habitat quality (Van Horne 1983).

Acoustic monitoring provides information on the level of use of a habitat by bats. It is reasonable to assume that sites with greater levels of bat activity receive greater use by bats than sites with less bat activity. It is also reasonable to assume that changes in activity over time equates to changes in use of those habitats over time. These changes may be due to underlying changes in populations and provide an index of the status of a population although the causal mechanisms for such changes may not always be clear. In order for echolocation monitoring to be useful for assessing changes in relative use of different habitats and over time, it is necessary to have proper replication (at the appropriate spatial and temporal scales) of sampled sites and a valid study design (Hayes *et al.* 2009).

Echolocation data vary greatly both spatially and temporally. Changes in nightly conditions such as temperature, humidity, and relative insect availability influence the amount of nightly bat activity (Hayes 1997). Hayes (1997) recommends approximately six nights of recording per site to account for night-to-night variation in echolocation activity. Likewise, individual heterogeneity in site characteristics can influence the amount of variation.

Therefore, replication is needed within habitat types in order to have a proper scope of inference to assess differences in bat use of habitats. High spatio-temporal variation in data can reduce statistical power to detect biologically significant differences in use either among habitats or across time. A monitoring program should encompass enough spatial and temporal replication to account for high variability and permit enough statistical power to make meaningful comparisons for the stated objectives of comparing use among habitats through time.

Acoustic Monitoring Systems

There are currently several options for long-term acoustic monitoring that involve either hardware components or software options for analyzing bat calls. I discuss here three systems for long-term acoustic monitoring based on my familiarity with these options. The reader is advised that other options are available and should be carefully considered before deciding which system best fits their research needs. The systems discussed here are not meant to be an exhaustive review of all available options. The three systems discussed here, include 1) Anabat detecting and recording system by Titley electronics (www.titley.com.au). 2) the AR125 detector and FR125 field recorder by Binary Acoustic Technology (BAT; www.binaryacoustictech.com); and 3) Song Meter SM2BAT+ detector/recorder by Wildlife Acoustics (www.wildlifeacoustics.com). These systems provide the necessary hardware for detecting the ultrasonic frequencies of bats and recording them onto a storage media for later analysis on a computer. The process of recording echolocation calls may require transforming the high-frequency sound as well as recording that sound in a digital or analog format (Parsons and Szewczak 2009).

There are several methods for transforming high frequency sound. The details can be found in (Parsons and Szewczak 2009). For designing an effective acoustic monitoring system, it is necessary to determine the appropriate and cost-effective hardware and the software analysis tools that will be useful for subsequent analysis of the bat activity. This requires an understanding of the differences in methods of transforming and storing high-frequency sound.

Anabat. The Anabat hardware uses a frequency-division system for transforming the high frequency sound by reducing the number of cycles. The advantages of frequency division include: 1) it records/operates in real time; 2) it is broadband and can detect/record across the entire range of frequencies that an ensemble of bats may use (Parsons and Szewczak 2009); 3) it retains most of the time and frequency information for calls; and 4) is not memory intensive because it reduces the information in each call to frequency versus time.

Frequency division is compatible with zero-crossing analysis that displays the frequency-divided calls in a time versus frequency graphical display for visualization and analysis.

The main disadvantages of the frequency division system coupled with zero-crossing analysis of Anabat are that it only detects the harmonic with the greatest energy and do not retain the information on the amplitude structure of the call, which may be important for species identification. It may also cut the initial and final parts of the calls because it uses an intensity threshold for the detection (e.g. Fenton 2000). The final result might not be an accurate representation of the call, but still may contain enough information for the identification of the species. Anabat may also be considerably less sensitive than systems based on direct digitalization (Adams *et al.* 2012). Until recent improvements in storage media capabilities and processor speeds, the Anabat system was the only viable option for long-term field deployment for real-time recordings of bat activity. Thus, many past efforts have used frequency-division and zero-crossing analysis for monitoring bat activity and developing call libraries. The analysis software for analyzing Anabat calls is based on free-ware written by Chris Corben (Analook or AnalookW). Documentation and freeware downloads can be found at <http://users.lmi.net/corben/anabat.htm>. Zero-crossing analysis can be used with species identification algorithms either through Analook, or through third party systems (e.g. Bat Call IDentification). BCID is a program compatible with Analook that uses zero-crossing data for automated species identification. It performs quite well compared to Sonobat 3's classification algorithms, but is currently only available for eastern North American bat species (<http://www.batcallid.com/>).

B.A.T. and Song Meter SM2. Both the Binary Acoustics Technology (B.A.T.) and Song Meter SM2BAT+ systems use a direct recording system that digitalizes at high sampling speed the full-spectrum sound onto storage media. The advantages of these systems for direct recorded, full-spectrum include: 1) recording/operating in real-time; 2) they use broadband microphones that detect/record across the entire range of frequencies that an ensemble of bats may use (Parsons and Szewczak 2009); and 3) they retain all the sound information, including amplitude and information about harmonics, which in many cases gives you more parameters to use for multivariate algorithms for species identification. However, whether additional parameters improve automated species identification has not been empirically demonstrated. The ability to directly record full spectrum sound in real time was a major breakthrough for acoustic monitoring of bats because previously

there was a significant trade-off between using Anabat for greater temporal sampling (real time) but only retaining the frequency versus time information for analysis versus a time-expansion recording that was not capable of real-time recording but retained the full-spectrum sound (Parsons and Szewczak 2009). The main disadvantage of real-time recordings of full spectrum sound is that it requires much greater memory storage, but high capacity memory storage media (e.g. secure digital [SD] cards and Universal Serial Bus [USB] drives) are now available at relatively low cost.

The Song Meter SM2BAT+ system is currently the most flexible commercial product as it directly records full spectrum sound as well as can directly record in zero-crossings or convert full-spectrum sound to zero-crossings depending on user preference. Zero-crossing compatibility is useful if reliable automated detection algorithms using zero-crossings are available (e.g. in eastern North America) or for comparing with other monitoring projects that use this system. However, the comparison of relative bat activity across detecting/recording platforms is not advised due to the likely bias in detectability based on hardware differences among microphones and detectors (e.g. Adams *et al.* 2012). These differences include the relative sensitivity of the microphones and the fact that Song Meter SM2BAT+ microphones are omnidirectional, whereas Anabat microphones are not.

The descriptions above focus on systems designed for long-term acoustic monitoring. Several of these companies also make units suitable for hand-held or active acoustic monitoring, such as the Echo Meter (EM3+) by Wildlife Acoustics or Anabat SD2 active monitoring kit. Active acoustic monitoring should be used to record echolocation calls on release from capture to build a reference echolocation library (O'Farrell *et al.* 1999). An accurate reference library built from hand-released identified bats is the basis for all automated species identification training algorithms as well as training human observers for accurate identification of calls. Active monitoring can also be used with driving or walking transects, depending on study objectives and needs.

Automated Call Analysis

Automated species identification is an area of active research and tool development. Automated species identification requires two major steps: 1) recognizing a bat call from background noise and accurately measuring call parameters of interest; 2) using measured call parameters in a multivariate analysis for classifying a call to a given species. Walters *et al.* (2012) demonstrated the need for standardized protocols to permit comparability for broad scale and long-term monitoring and advocates for free online tools for call processing. Here, I describe what is currently available in North America, but note that future developments in this area are rapid.

Sonobat 3 is a commercially available software package that has an automated call detection and measuring tool and built-in species identification filters for bat species in different geographic areas of the United States (but not for Mexico). Sonobat requires use of full-spectrum recordings and therefore is not compatible with Anabat recordings. Sonobat was designed to work with recordings made with Pettersson microphones and the BAT system, which have very low levels of noise. A new release of Sonobat has resolved certain issues with visualizing bat calls from SongMeter recordings, which have more background noise than Pettersson detectors due to differences in microphone

design and components (Szewczak, personal communication). The current version of Sonobat resolves better visualization of calls recorded with SongMeter, but performance of automated identification of species is still being improved and tested. This is an area of active development and it is anticipated that improvements will continue into the future.

According to current field tests, version 3.1 of Sonobat, which uses a compensation filter for post-processing resolution of the frequency response of SongMeter microphones, performs equally well to recordings made with Pettersson detectors or the B.A.T. system for bats that are within close range of the microphone (Szewczak, personal communication). For calls that are recorded at the edge of the microphone detection range, the signal to noise ratio is sufficiently high to currently obscure sufficient resolution for positive species identification. Such calls can be classified into broad groups of low-frequency calls (so called LoBat) or high-frequency calls (HiBat), but may not be identifiable to species level. Therefore, these more distant recordings are useful for monitoring overall bat activity levels, but are not of sufficient quality for species identification. This may produce the appearance of unsatisfactory low levels of species identification if there is a large ratio of distant (lower quality) calls to closer (higher quality) calls. However, restricting species-level monitoring to closer calls that are of sufficiently high quality for species identification (*i.e.* ignoring poorer-quality distant calls) should produce a reliable means for tracking trends in species-level bat activity through time. In effect, the range of the microphone is smaller for identifying species than it is for identifying overall bat activity. Note, however, that if automated processing algorithms change in the future for better processing of distant calls, observer bias will be introduced into studies that aim to measure long-term trends in bat activity across years as it will essentially increase the range of detection of identifiable calls. If significant changes are made to automated species classification, data should be analyzed using the same system to avoid introducing observer bias.

<i>System Type</i>	<i>Advantages</i>	<i>Disadvantages</i>
Anabat	<ul style="list-style-type: none"> - Low memory usage - Easily adjust settings - Fewer noise files - Analysis software is freeware 	<ul style="list-style-type: none"> - Expensive - Not weatherproof - Only zero-crossings
BAT	<ul style="list-style-type: none"> - Data easy to download - Microphone sensitive - Full spectrum/Sonobat compatible - Ability to send data electronically where cell phone reception occurs for long-term monitoring 	<ul style="list-style-type: none"> - Expensive - Memory intensive - Power consumptive - Not weatherproof - Multi-piece
Song Meter SM2BAT+	<ul style="list-style-type: none"> - Least expensive - One piece of equipment - Weatherproof - Sensitive omnidirectional microphone - Temp logger can be incorporated - Flexible recording schedule - Full spectrum or zero-crossing compatible 	<ul style="list-style-type: none"> - Memory intensive - Noiser microphone leads to fewer recorded calls identified to species by Sonobat (compared to Pettersson's microphones)

Table 1. Comparison of three commercial acoustic systems for long-term acoustic monitoring of bats

Wildlife Acoustics recently announced a commercial release of their own automated species identification program: Kaleidoscope Pro. The initial release includes classifiers for 20 species in North America and 10 species in the United Kingdom. This new system

has not yet been tested by independent researchers. There are other commercially available software packages (e.g. Raven, BatSound, Avisoft, SasLab) that can be used for visualizing and measure call parameters from bats. To date, only Kaleidoscope and Sonobat have a built in automated species identification tools; AnlookW software allows the automated measuring of many call parameters and call sequence data of Anabat zero-crossing files, but does not currently implement an automated identification tool. AnlookW can be complemented with the species identification tool of BCID for bats in eastern North America (<http://www.batcallid.com/>).

Survey Implementation Considerations

Nightly Temporal Sampling. The standard protocol for recording bat echolocation calls typically involves recording from sunset to sunrise. This sampling scheme is based more on the fact that the default recording system for long-term acoustic monitoring was the Anabat system that had simple all-night recording scheduling rules and was not memory or power consumptive. The Song Meter SM2 system and other recording systems such as Avisoft Recorder, permit a more flexible recording schedule that are capable of sub-sampling recorded times throughout the night (e.g. record 10 minutes of every hour).

The advantage of all-night recording is that you have sampled the bat activity for a given night and have a complete record of activity on each sampled night. The disadvantage of recording all night activity is that for full-spectrum direct recordings, this is memory and power consumptive. Manually analyzing recordings, without automated measuring or automated identification tools, may require an inordinate amount of time. Until studies indicating whether a temporal sub-sampling scheme within a night produces comparable estimates of bat activity to all night sampling, an all-night sampling schedule is recommended. However, analysis of pilot data to compare results from all night sampling to within-night sub-sampling could be useful to determine if sub-sampling is sufficient for characterizing bat activity patterns across habitats for target species. Some species of bats may concentrate activity in very short periods at the beginning and the end of the night, making irrelevant an all-night sampling (e.g. *Molossus* spp.; Holland *et al.* 2011). Clearly, study objectives should drive the appropriate research design in setting up a temporal monitoring scheme.

Conditions for Highest Quality Field Recordings of Ultrasonic Signals. To maximize call quality for species identification, it is advisable to place the microphone in situations that avoid and reduce background noise and distortion effects. Placement of the microphone also depends on study objectives and placement in open settings away from clutter may bias the species composition of species detected. The Sonobat website (www.sonobat.com) has a detailed section of “Recording Advice” which includes the following advice:

1. Place microphone at least 1 – 2 meters above ground, to reduce surface echoes, avoid thermal layering, or near-ground air convection currents, which can distort ultrasound signals.
2. Place microphone in open ‘flyways’ and away from clutter
3. Avoid placing microphones next to large echo-producing surfaces, such as asphalt, building facades, bridge structural surfaces, flat water, etc. These considerations are likely more important for recording in full-spectrum than if using frequency-division. Placing the detector in open areas at higher heights above

the ground (e.g. > 5.5 meters/ 18 feet) should effectively increase the sample volume with an omnidirectional microphone. As most bats aren't expected to fly much below 2 meters, a microphone at that height will be sampling areas that bats can't realistically be expected to fly. An exception is trawling bats that fly low above water and understory aerial insectivores such as *Pteronotus parnellii*. In addition, placing the microphone at higher heights above ground and in open settings will also increase the chance that recorded calls will be longer duration/search phase calls typical of bats in open-air flight. These calls typically provide greater information content associated with higher species-discrimination confidence (www.sonobat.com).

Data Analysis for Monitoring Trends in Bat Activity. The basic unit of measurement for assessing bat activity is the number of bat passes per species (or species group) per some unit time (usually by night). Acoustic data are not usually normally distributed and therefore do not conform to the assumptions of normality and equal variance imposed by standard statistical tests like an analysis of variance (ANOVA). For monitoring purposes, analyses of data to compare mean number of bat passes among habitat types or years can be accomplished by transforming the bat passes response variable by a log transformation or by using more sophisticated statistical tests that assume a different underlying distribution of the response variable (i.e. Generalized Linear Models – GLMs).

Acoustic data are notoriously “noisy”, meaning that there is high night-to-night variation in the amount of bat activity (Hayes 1997). This type of noisy variability can often make detecting statistically or biologically significant differences challenging. Environmental variables can be included as covariates within a statistical modeling framework to account for variation caused by identified factors and allow for a more robust test for biologically and statistically significant differences. Covariates such as a nightly minimum temperature, maximum nightly wind speed, and moon phase can be included and tested using a model selection framework, such as Akaike's Information Criteria (AIC). AIC measures the relative fit of a model given the set of candidate models and can be used to assess which parameters do the best job in explaining the variation in the data (Burnham and Anderson 2002). To use AIC model selection effectively, it is important to clearly define a set of *a priori* candidate models that correspond to biological hypotheses about the system of interest.

Training Opportunities. Researchers embarking on implementing acoustic monitoring techniques should investigate training or workshop opportunities to become familiar with the technologies available for recording and data processing as well as background on bat echolocation. There are several training options available, including system-specific training workshops held by companies such as Wildlife Acoustics and Titley Electronics. Cori Lausen currently offers training workshops in both Anabat/AnalogW platforms and SongMeter Bat+ platforms (<http://www.batsrus.ca/training.html>). Bat Conservation International also provides acoustic monitoring workshops that include information on multiple different recording/processing platforms (www.batcon.org).

Conclusions

Use of acoustic monitoring for bat research has grown substantially over the past few decades. The ability to record and store large amounts of echolocation data in the field has greatly increased ability to monitor activity of bats across space and time. However, our ability to accurately identify species from echolocation data and interpret biological meaning behind differences in echolocation activity is still playing catch-up to some degree. Automated species identification is an area of exciting and rapid progress that is seeing both commercial and open-source development, which will propel the field even further forward. Standardizing systems and building a common framework for analyzing and interpreting echolocation data will aid efforts to build a global bat monitoring program.

Acknowledgements

I thank P. Cortés-Calva for the invitation to write this article. Three anonymous reviewers provided helpful feedback on the manuscript. Funding provided by National Science Foundation DEB-1115895.

Literature Cited

- ADAMS, A. M., M. K. JANTZEN, R. M. HAMILTON, AND M. B. FENTON. 2012. Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution* 3:992-998.
- BRODERS, H. 2003. Another quantitative measure of bat species activity and sampling intensity considerations for the design of ultrasonic monitoring studies. *Acta Chiropterologica* 5:235-241.
- BURNHAM, K. P., AND D. R. ANDERSON. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer, EE.UU.
- GEHRT, S. D., AND J. E. CHELSVIG. 2003. Bat activity in an urban landscape: patterns at the landscape and microhabitat scale. *Ecological Applications* 13:939-950.
- GEHRT, S. D., AND J. E. CHELSVIG. 2004. Species-specific patterns of bat activity in an urban landscape. *Ecological Applications* 14:625-635.
- GORRESEN, P., A. MILES, C. TODD, F. BONACCORSO, AND T. WELLER. 2008. Assessing bat detectability and occupancy with multiple automated echolocation detectors. *Journal of Mammalogy* 89:11-17.
- FENTON, M. B. 2000. Choosing the 'correct' bat detector. *Acta Chiropterologica* 2:215-224.
- HAYES, J. P. 1997. Temporal variation in activity of bats and the design of echolocation-monitoring studies. *Journal of Mammalogy* 78:514-524.
- HAYES, J. P. 2000. Assumptions and practical considerations in the design and interpretation of echolocation-monitoring studies. *Acta Chiropterologica* 2:225-236.
- HAYES, J. P., H. K. OBER, AND R. E. SHERWIN. 2009. Survey and monitoring of bats. Pp. 112-132 in *The Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats* (Kunz, T. H., and S. Parsons, eds.). The John Hopkins University Press. Baltimore, EE.UU.

- HOLLAND, R. A., C. F. J. MEYER, E. K. V. KALKO, R. KAYS, AND M. WILKELSKI.** 2011. Emergence Time and Foraging Activity in Pallas' Mastiff Bat, *Molossus molossus* (Chiroptera: Molossidae) in Relation to Sunset/Sunrise and Phase of the Moon. *Acta Chiropterologica* 13:399-404.
- JONES, G., D. S. JACOBS, T. H. KUNZ, M. R. WILLIG, AND P. A. RACEY.** 2009. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research* 8:93-115.
- MILLER, B. W.** 2001. A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. *Acta Chiropterologica* 3:93-105.
- NORBERG, U. M., AND J. M. V. RAYNER.** 1987. Ecological morphology and flight in bats (mammalia; chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 316:337-419.
- O'FARRELL, M. J., B. W. MILLER, AND W. L. GANNON.** 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the Anabat detector. *Journal of Mammalogy* 80:11-23.
- PARSONS, S., AND G. JONES.** 2009. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *The Journal of Experimental Biology* 203:2641-2656.
- PARSONS, S., AND J. M. SZEWCZAK.** 2009. Detecting, Recording, and Analyzing the Vocalizations of Bats. Pp. 91-111 in *Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats* (Kunz, T. H., and S. Parsons, eds.). The John Hopkins University Press. Baltimore, EE.UU.
- SCHNITZLER, H. U., AND E. K. V. KALKO.** 2001. Echolocation by insect-eating bats. *Bioscience* 51:557-569.
- SIMMONS, J. A., M. B. FENTON, AND M. J. O'FARRELL.** 1979. Echolocation and pursuit of prey by bats. *Science* 203:16-21.
- VAN HORNE, B.** 1983. Density as a misleading indicator of habitat quality. *The Journal of Wildlife Management* 47:893-901.
- WALTERS, C. L., R. FREEMAN, A. COLLEN, C. DIETZ, M. B. FENTON, G. JONES, M. K. OBRIST, S. J. PUECHMAILLE, T. SATTLER, 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.

Sometido: 18 de febrero de 2013

Revisado: 6 de abril de 2013

Aceptado: 18 de abril de 2013

Editor asociado: Patricia Cortés-Calva

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Primera biblioteca de llamadas de ecolocalización de murciélagos del Ecuador

Pamela Rivera-Parra¹ y Santiago F. Burneo^{2*}

Abstract

Echolocation calls in bats have several functions including orientation and searching for prey both in the approach and terminal phases of prey capture. These searching calls are species specific and can be used for identification to the species level. The research of echolocation calls has a long history in studies of the Chiroptera and has recently has been enhanced through digital technology. Although there is an extensive literature on echolocation related matters, there are only a limited number of calls in echolocation call libraries. Scientists in the Mammal Collection of the Zoology Museum of the Pontifical Catholic University of Ecuador began working with echolocation calls in 2010. The Museum maintains a web site, FaunaWeb, with a section, MammaliaWeb-Ecuador, which has a library of bat echolocation calls. As of November 2012, there were recordings of 28 species of bats in the library. We are expanding this call library as calls with reliable species identification become available.

Key words: bats, echolocation, Ecuador, library, search calls.

Resumen

Las llamadas de ecolocalización en murciélagos cumplen varias funciones incluyendo orientación y búsqueda de alimento tanto en fases de acercamiento como terminales de la captura de presas. Las llamadas de fase de búsqueda son específicas y pueden ser usadas para la identificación a nivel de especies. La investigación de llamadas de ecolocalización en quirópteros tiene una larga historia y recientemente se ha visto potenciada por la tecnología digital; sin embargo existen pocas bibliotecas de llamadas de ecolocalización. Científicos en la Colección de Mastozoología del Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en Quito iniciaron el trabajo sobre llamadas de ecolocalización en 2010. El Museo mantiene actualmente un portal en línea denominado FaunaWeb, con una sección, MammaliaWeb Ecuador que alberga una biblioteca de sonidos de murciélagos. Hasta noviembre de 2012 este portal cuenta con grabaciones de 28 especies. La biblioteca es alimentada cuando grabaciones con identificaciones confiables están disponibles.

Palabras clave: biblioteca acústica, ecolocalización, Ecuador, llamadas de búsqueda, murciélagos.

¹Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Programa para la Conservación de los Mamíferos del Ecuador. Av. 12 de Octubre 1076 y Roca. Quito, Ecuador. E-mail: riveraparra.dp@gmail.com (PRP)

²Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Programa para la Conservación de los Mamíferos del Ecuador. Av. 12 de Octubre 1076 y Roca. Quito, Ecuador. E-mail: sburneo@puce.edu.ec (SFB)

*Corresponding author

Las llamadas de ecolocalización cumplen varias funciones, dependiendo de las cuales, varían tanto en el intervalo y la estructura de su frecuencia como en su duración e intervalos de pulso (Jennings *et al.* 2004). Las llamadas difieren según la actividad del murciélago, en llamadas de orientación, búsqueda de alimento y sociales; las llamadas de búsqueda presentan fases de acercamiento y terminal (Fenton y Bell 1981; Schnitzler y Kalko 2001). El patrón de las llamadas de búsqueda está directamente relacionado con el ambiente en el cual forrajea el animal, por lo que muchas de las diferencias ecológicas entre especies son evidentes en este tipo de llamadas (Kalko 1995; Schnitzler y Kalko 1998). Las llamadas de búsqueda son, además, relativamente uniformes a lo largo de su emisión, pues cambios en parámetros de tiempo o de frecuencia ocurren principalmente en las fases de acercamiento o terminal (Obrist 1995; Schnitzler y Kalko 2001; Miller 2003). Por esta razón, las llamadas de fase de búsqueda son las secuencias que se usan para la identificación de especies (Ahlén y Baagoe 1999; O'Farrell *et al.* 1999).

El estudio de la acústica de llamadas de ecolocalización en murciélagos inició hace unos 50 años. En el trabajo de Griffin *et al.* (1960) se describen las llamadas de murciélagos insectívoros, las fases y los cambios que se dan en frecuencia y duración. Simmons *et al.* (1979) y Aldrige y Rautenbach (1987) describen la actividad de forrajeo de murciélagos insectívoros y el cambio en sus llamadas de ecolocalización en diferentes ambientes. Fenton y Bell (1981) utilizan llamadas de ecolocalización para identificar 39 especies de murciélagos basándose en las diferencias que existen en frecuencia, duración e intervalos de pulso. Lawrence y Simmons (1982) describen los aspectos físicos de las llamadas de ecolocalización dependientes de la frecuencia y atenuación atmosférica.

En los últimos años el número de estudios de ecolocalización se ha visto potenciado por la amplia disponibilidad y variedad de equipos de detección, grabación y análisis acústicos, lo que ha llevado al desarrollo de técnicas no invasivas y más eficientes en estudios ecológicos y de inventario de especies de murciélagos (Ahlén y Baagoe 1999; Fenton *et al.* 2001; MacSwiney *et al.* 2008).

Pese a que las técnicas de grabación y análisis de ecolocalización están muy extendidas, la información disponible en la literatura presenta limitaciones; las publicaciones existentes, suelen incluir solamente sonogramas y resúmenes de los parámetros métricos más importantes; aun cuando estos parámetros ayuden a la identificación de una sonoespecie (MacSwiney *et al.* 2008), el trabajo que se puede realizar en base a esta información es restringido. Además, muy poca de esta información se encuentra disponible en bibliotecas de llamadas de ecolocalización, especialmente para especies neotropicales.

Para obtener llamadas de ecolocalización de una especie que sean de utilidad taxonómica y permitan comparaciones a futuro se debe intentar adquirir un repertorio que incluya todos los posibles ambientes en los que el murciélago produce llamadas de orientación y búsqueda (Biscardi *et al.* 2004). Métodos ampliamente usados incluyen grabaciones cuando se libera un murciélago (Parsons 1998), grabaciones cerca de refugios (Szewczak 2004), grabaciones de murciélagos en vuelo libre de los cuales se

puede tener una identificación visual (O'Farrell *et al.* 1999; Miller 2003), grabaciones de murciélagos liberados con marcadores fluorescentes y línea de vuelo (Szewczak 2004; Corcoran 2007), cuartos de grabación (Parsons 1998). Todos estos métodos asumen que las llamadas no presentan cambios en su duración o frecuencia por situaciones de estrés o de cambio en sus sitios de alimentación a las que se somete al animal para obtener la grabación (Parsons 1998; Fenton *et al.* 2001; Brigham *et al.* 2004).

Por la amplia variedad de métodos de grabación y análisis existentes y para poder obtener el mayor número de llamadas de alta calidad y adecuadas para una identificación confiable, se vuelve necesario utilizar protocolos y metodologías estandarizados, como los propuestos por Biscardi *et al.* (2004). La Sección de Mastozoología del Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (QCAZ) desarrolló en 2010 el proyecto "Estudio de diversidad del orden Chiroptera en el Ecuador mediante técnicas de detección de llamadas de ecolocalización" siendo la base del protocolo de elaboración de la biblioteca de llamadas de ecolocalización de acceso público en el portal de FaunaWeb. Además de la elaboración de protocolos de grabación y análisis de llamadas de ecolocalización. El presente trabajo describe las técnicas utilizadas en la grabación y análisis como propuesta de estandarización de métodos e invita al uso de la información recopilada almacenada en el portal FaunaWeb Ecuador <<http://zoologia.puce.edu.ec/vertebrados/mamiferos/ListaLlamadas.aspx>> (FaunaWebEcuador 2012).

Material y Métodos

Se realizaron grabaciones de llamadas de ecolocalización de las especies capturadas en redes de niebla (Kalko 2004; Szewczak 2004; Rivera-Parra 2011) usando un detector de ultrasonido Pettersson 240x (Pettersson Elektronik AB, Uppsala, Suecia) con tiempo de almacenamiento de 3.4 segundos y en modalidad de activación manual con factor de tiempo expandido de 10x. Las llamadas fueron almacenadas en formato digital de audio *waveform* (WAV) usando una grabadora Marantz PMD670 (D&M Professional, Itasca, Estados Unidos) con frecuencia de muestreo de 44.1 kHz. Se utilizaron dos metodologías para la obtención de los datos: cuarto de vuelo y línea de vuelo.

Grabación en cuarto de vuelo. Se usó un mariposario temporalmente en desuso, construido con tela malla que es un material que se comprobó que no refleja el sonido (Rivera-Parra 2011), ubicado en condiciones lo más parecidas al ambiente natural a los sitios de alimentación natural del murciélago (Siemers 2004). Las grabaciones se efectuaron dentro del cuarto, la liberación del murciélago fue en orientación al equipo de grabación, una vez obtenidas distintas grabaciones de cada individuo se recapturó el murciélago asignando un número único de identificación asociado a las pistas grabadas.

Grabación de murciélagos en línea de vuelo. Se eligió un lugar abierto, donde se podía apreciar una mínima presencia de murciélagos volando para evitar interferencias en las grabaciones. Alternativamente, se realizó un barrido acústico previo en el lugar escogido para identificar a las especies presentes y poder diferenciarlas de las del individuo a ser grabado. Se extendió una hebra de hilo de nylon entre dos tubos de aluminio, entre los cuales había una distancia mayor a cinco metros, en la hebra se colocó un anillo metálico el cual se encontraba amarrado a su vez a un hilo elástico y enganchado a otro anillo unido a un marcador fluorescente (Fig. 1). El hilo elástico tuvo una longitud de mínima de 1.5 m, suficiente como para alcanzar el suelo. El extremo

se amarró a manera de lazo alrededor del cuello del murciélago, teniendo cuidado de que el lazo quede lo suficientemente suelto en el cuello del murciélago para no dañar al animal pero lo suficientemente ajustado como para que no escapara.



Figura 1. Diagrama de línea de vuelo.

Para la obtención de la grabación detector y murciélago ocuparon lugares opuestos, una vez listo el equipo y el espécimen se apagaban las linternas y se liberaba al murciélago. Se realizó la grabación mientras el murciélago se encontraba volando, utilizando el marcador fluorescente como guía para dirigir el detector; de ser necesario se repitió el proceso. Una vez realizadas las grabaciones se liberó al animal del hilo elástico y se lo colocó en una funda de tela para su posterior procesamiento (Szewcak 2004). Se disponía de hilo elástico en varios grosores, de acuerdo al tamaño y peso del murciélago, para especies pequeñas se utilizó el hilo más delgado (0.5 mm), para especies más grandes hilo grueso (1.5 mm)

Murciélagos en vuelo libre. Se utilizaron dos tipos de equipos de grabación, el primero es de grabación activa, en el cual el investigador escucha en tiempo real las llamadas de ecolocalización y elige las pistas a guardar, el equipo que se utilizó fue un detector de ultrasonido Petterson 240x (Petterson Elektronik AB, Uppsala, Suecia) con tiempo de almacenamiento de 3.4 segundos y en modalidad de activación manual con factor de tiempo expandido de 10x; las llamadas fueron almacenadas en formato digital de audio wave form (*.wav) usando una grabadora Marantz PMD670 (D&M Professional, Itasca, Estados Unidos) con frecuencia de muestreo de 44.1 kHz.

El segundo es un equipo de grabación pasiva, el cual funciona con activación automática de manera que el detector se coloca en el sitio elegido y al detectar un murciélago inicia automáticamente la grabación; este tipo de equipo puede ser programado con intervalos de frecuencia de activación, tiempo máximo de cada pista y marcaje de la hora de inicio y fin de las grabaciones. Se utilizó un detector de ultrasonido de BioAcoustic Technology AR125 (Bynary Acoustic Technology LLC, Tucson, Estados Unidos) conectado a una grabadora remota FR125-III (Bynary Acoustic Technology LLC, Tucson, Estados Unidos). Para realizar las grabaciones se muestrearon sitios como bordes de vegetación, cuerpos de agua, espacios abiertos y sitios donde se evidenció la actividad de murciélagos.

Análisis acústico. Para el análisis de las llamadas, se utilizó el programa Sonobat versión 3.01 (DNDesign, Arcata, Estados Unidos). Para asegurar la calidad de los datos y la siguiente identificación del sonotipo se tomaron en cuenta algunos parámetros:

1. Se trabajó únicamente con secuencias de llamadas de búsqueda.

2. Se usaron secuencias que tuvieron un mínimo de tres llamadas o pulsos consecutivos.
3. Se usaron secuencias en ausencia de co-específicos y libres de llamadas de otras especies.
4. De ser necesario se filtró el ruido de insectos.

Los parámetros acústicos más importantes e informativos son los relacionados con frecuencia, medidas en kilohertzios (kHz) que son: frecuencia más alta, es la frecuencia en el punto de mayor amplitud. Frecuencia inicial, es la frecuencia al inicio de la llamada. Frecuencia más baja, es la frecuencia en el punto más bajo de la llamada. Frecuencia final, es la frecuencia al final de la llamada. Frecuencia del punto de inflexión, es la frecuencia del punto de transición que se da en un cambio de ángulo en la llamada. Frecuencia de mayor energía, es la frecuencia a la cual se coloca la mayor energía en la emisión de la llamada. Ancho de banda, es la medida de cuantos kilohertzios abarca una llamada. Los armónicos son repeticiones de la frecuencia dominante en la cual se encuentra la mayor energía (Fig. 2).

Los parámetros importantes relacionados con tiempo medidos en milisegundos (ms) son: duración, que es el tiempo entre el punto de inicio y el punto final de la llamada; e intervalo de pulso, es el tiempo entre en punto final de un pulso y el inicio del siguiente. Además se debe tomar en cuenta los componentes de las llamadas que son frecuencia modulada (FM), frecuencia cuasi-constante (QCF) y frecuencia constante (CF); los cuales están relacionados con el patrón de la llamada (Schnitzler y Kalko 1998).

Para los análisis se obtuvieron estadísticos descriptivos como la media y la variancia de cada llamada, como base para análisis posteriores. Se midió la mayor cantidad de secuencias de llamadas posible de cada especie. Las identificaciones de especies de vuelo libre se hicieron mediante comparaciones con publicaciones, mientras que para los murciélagos capturados en redes se realizó la identificación previa en campo y posteriormente se verificó en la Colección de Mamíferos del Museo.

Construcción de la biblioteca en línea. Una biblioteca de llamadas de ecolocalización que tenga utilidad en estudios similares en el Ecuador u otras regiones neotropicales, debe incluir además de los parámetros métricos, sonidos crudos y sonogramas para cada especie, un compendio de información asociada a las grabaciones así como parámetros importantes en el análisis como: especificaciones del equipo utilizado, paquetes informáticos usados en el análisis, información del responsable de la grabación y metodología de grabación usada.

El Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (QCAZ) mantiene un portal de Internet denominado FaunaWeb <<http://zoologia.puce.edu.ec/vertebrados/mamiferos/ListaLlamadas.aspx>> (FaunaWebEcuador 2012), que se origina con la intención de poner a disposición de la comunidad científica nacional e internacional, además de la sociedad en general, información sobre la diversidad de vertebrados tetrápodos en el Ecuador.

El portal está dividido en cuatro secciones: AmphibiaWeb, ReptiliaWeb, AvesWeb y MammaliaWeb. La sección de MammaliaWeb Ecuador (Burneo y Boada 2012) presenta un índice taxonómico en el que se incluye información de las especies de mamíferos que ocurren en el territorio ecuatoriano, cuya diversidad actual alcanza las 407 especies de las cuales 167 son de murciélagos (Tirira 2011). Para el orden Chiroptera, se dispone

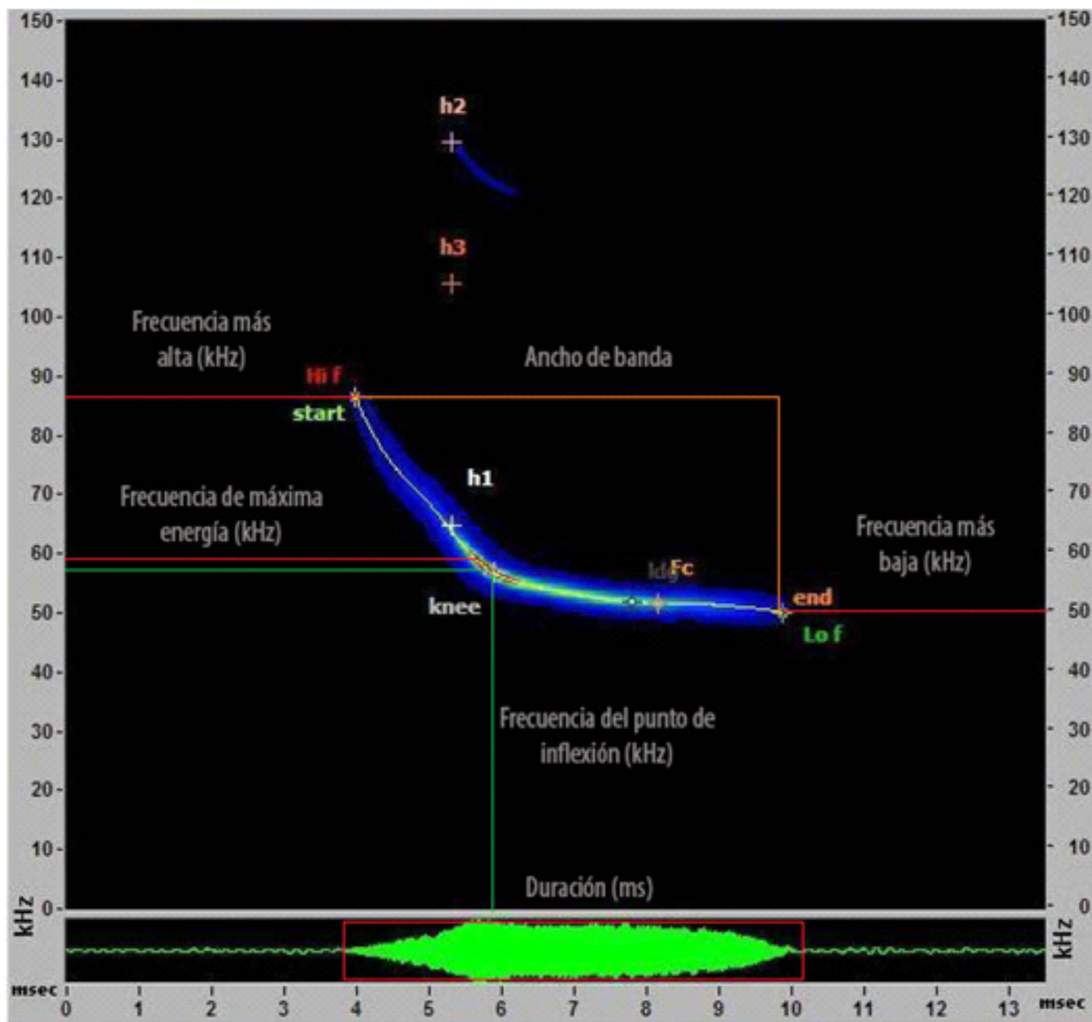


Figura 2. Parámetros medidos de las diferentes llamadas, frecuencia más alta (*Hii f*), frecuencia más baja (*Lof*), frecuencia inicial (*start*), frecuencia final (*end*), frecuencia del punto de inflexión (*knee*), número de armónico (*h1*), frecuencia característica (*Fc*), parte de la llamada con la mayor intensidad (*kd*), duración y ancho de banda.

de una sección de sonidos en la que se incluyen los parámetros de las llamadas de ecolocalización que se han registrado y cuya identificación ha sido confirmada siguiendo los protocolos mencionados en el presente documento.

Resultados

Hasta noviembre de 2012 se cuentan con grabaciones de 28 especies (Tabla 1), las cuales están alojadas dentro de una ficha por cada especie y además se puede acceder a ellas directamente desde el portal. La base de datos se actualizan constantemente con datos de grabaciones que enriquecen alimentándola base de datos provenientes de un proyecto de investigación a largo plazo financiado por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Adicionalmente, el QCAZ cuenta con archivos de todas las llamadas de ecolocalización grabadas en las salidas de campo a diferentes partes del país, de esta forma, se tiene acceso a llamadas de varias especies y de una especie en varias localidades.

Parte de los datos que se han obtenido son llamadas grabadas de murciélagos en vuelo libre que no han podido todavía ser identificadas a nivel de especie ya que no se han podido relacionar con parámetros publicados en la literatura o en otras bases de datos disponibles en línea.

Discusión

La cantidad de información que se obtiene con métodos de grabación y análisis acústicos en vuelo libre requiere menos tiempo de trabajo en el campo. Se puede compilar información automáticamente durante las noches, con equipos de grabación pasiva, o de forma controlada para poder muestrear un solo ambiente o durante un solo periodo de tiempo; además, son métodos poco invasivos. Es de suma importancia que todo estudio que incluya metodologías de registro acústico se inicie con el desarrollo de una biblioteca de referencia.

Es necesario mejorar los métodos de reconocimiento e identificación de sonoespecies para no depender únicamente de comparaciones bibliográficas sino también trabajar mediante esfuerzos colectivos con otros grupos de investigadores para mantener bases de datos acústicas disponibles en línea. Por esta razón invitamos a los científicos que trabajan con especies neotropicales a que contribuyan al crecimiento de la biblioteca acústica del Ecuador con sus grabaciones o identificaciones. Su aporte será reconocido en el portal [MammaliaWeb](#) y será de utilidad para estudios futuros.

Tabla 1. Listado de especies disponibles en la biblioteca de llamadas de ecolocalización de murciélagos.

Especies disponibles en la biblioteca	
Familia	Especie
Emballonuridae	<i>Cormura brevirostris</i>
	<i>Peropteryx macrotis</i>
	<i>Rhynchonycteris naso</i>
	<i>Saccopteryx bilineata</i>
	<i>Saccopteryx leptura</i>
Molossidae	<i>Molossus molossus</i>
	<i>Molossus rufus</i>
	<i>Promops centralis</i>
Mormoopidae	<i>Pteronotus parnellii</i>
Noctilionidae	<i>Noctilio albiventris</i>
	<i>Noctilio leporinus</i>
Phyllostomidae	<i>Artibeus lituratus</i>
	<i>Artibeus obscurus</i>
	<i>Artibeus planirostris</i>
	<i>Carollia brevicauda</i>
	<i>Carollia castanea</i>
	<i>Carollia perspicillata</i>
	<i>Lonchophylla thomasi</i>
	<i>Lophostoma silvicolium</i>
	<i>Mesophylla macconelli</i>
	<i>Phyllostomus elongatus</i>
	<i>Sturnira lilium</i>
	<i>Tonatia saurophila</i>
<i>Trachops cirrhosus</i>	
Thyropteridae	<i>Thyroptera tricolor</i>
Vespertilionidae	<i>Eptesicus furinalis</i>
	<i>Lasiurus blossevillii</i>
	<i>Myotis riparius</i>

Los métodos de registro acústicos constituyen una herramienta muy útil para el estudio de murciélagos, es una metodología replicable, confiable y de la cual se obtienen resultados inmediatos, abundantes y útiles. Es de suma importancia tener una biblioteca de referencia para tener una lista de las especies presentes en un lugar antes de iniciar estudios que requieran identificación hasta nivel de especie.

Los parámetros acústicos obtenidos al utilizar los métodos de grabación descritos, son consistentes con aquellos disponibles en literatura especializada y otras bases de datos, por lo cual tienen una gran utilidad en estudios comparativos. Por esta razón hemos considerado importante ponerlos a disposición de la comunidad científica a través de un portal de Internet.

La obtención de llamados de ecolocalización es un trabajo constante y de continuo crecimiento, para lo cual se necesita utilizar protocolos estandarizados, donde se implementen los métodos de registro acústico como un complemento en el muestreo de murciélagos para lograr aumentar el conocimiento de la fauna de quirópteros.

Agradecimientos

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a los colegas y amigos del Programa para la Conservación de los Murciélagos del Ecuador y de la Red Latinoamericana para la Conservación de los Murciélagos por motivar estudios científicos en este importante grupo de mamíferos.

Literatura citada

- AHLÉN, I., Y H. J. BAAGOE.** 1999. Use of ultrasound detectors for bat studies in Europe: experiences from field identification, surveys, and monitoring. *Acta Chiropterologica* 1:137-150.
- ALDRIGE, H. D. J. N., Y I. L. RAUTENBACH.** 1987. Morphology, Echolocation and Resource Partitioning in Insectivorous Bats. *Journal of Animal Ecology* 3:763-778.
- BISCARDI, S., J. ORPRECIO, M. B. FENTON, A. TSOAR, Y J. M. RATCLIFFE.** 2004. Data, sample sizes and statistics affect the recognition of species of bats by their echolocation calls. *Acta Chiropterologica* 6:347-363.
- BRIGHAM, R. M., E. K. V. KALKO, G. JONES, S. PARSONS, Y J. G. LIMPENS.** 2004. Bat echolocation research: tools, techniques and analysis. Bat Conservation International. Austin, Texas.
- BURNEO, S., Y C. BOADA.** 2012. MammaliaWebEcuador. Versión 2012.1. (En línea) Museo de Zoología QCAZ, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. [Fecha de acceso Diciembre 2012] <<http://zoologia.puce.edu.ec/vertebrados/mamiferos/MamiferosEcuador/Default.aspx>>.
- CORCORAN, A. J.** 2007. Automated acoustic identification of nine bat species of the eastern United States. Dissertation of Master of Arts in Biology, Humboldt State University. Arcata, EE.UU.
- FAUNAWEBECUADOR.** 2009. Enciclopedia electrónica de vertebrados de Ecuador. Ver. 1.0 (En línea) Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. [Fecha de acceso: Diciembre 2012] <<<http://zoologia.puce.edu.ec/vertebrados>>>
- FENTON, M. B., Y G. P. BELL.** 1981. Recognition of species of insectivorous bats by their

- echolocation calls. *Journal of Mammalogy* 2:233-243.
- FENTON, M. B., S. BOUCHARD, M. J. VONHOF, Y J. ZIGOURIS. 2001. Time-expansion and zero-crossing period meter systems present significantly different views of echolocation calls of bats. *Journal of Mammalogy* 82:721-727.
- GRIFFIN, D. R., F. A. WEBSTER, Y C. R. MICHAEL. 1960. The echolocation of flying insects by bats. *Animal Behavior* 3:141-154.
- JENNINGS, N. V., S. PARSONS, K. E. BARLOW, Y M. R. GANNON. 2004. Echolocation calls and wing morphology of bats from the West Indies. *Acta Chiropterologica* 6:75-90.
- KALKO, E. K. V. 1995. Insect pursuit, prey capture and echolocation in pipistrelle bats (Microchiroptera). *Animal Behavior* 50:861-880.
- KALKO, E. K. V. 2004. Neotropical leaf-nosed bats (Phyllostomidae): 'whispering' bats or candidates for acoustic surveys? Pp 63-69 in *Bat echolocation research: tools, techniques, and analysis* (Brigham, R.M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. J. G. A. Limpens, eds). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.
- LAWRENCE, B. D., Y J. A. SIMMONS. 1982. Measurements of atmospheric attenuation at ultrasonic frequencies and the significance for echolocation by bats. *Journal of the Acoustical Society of America* 3:585-590.
- MACSWINEY, M. G., F. M. CLARKE, Y P. A. RACEY. 2008. What you see is not what you get: the role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology* 45:1364-1371.
- MILLER, B. W. 2003. Community ecology of the non-phyllotomid bats of northwestern Belize, with a landscape level assessment of the bats of Belize. Dissertation of Doctor of Philosophy by Research. University of Kent Durrell Institute of Conservation and Ecology. Canterbury, Reino Unido.
- O'FARRELL, M. J., B. W. MILLER, Y W. L. GANNON. 1999. Qualitative identification of free-flying bats using the Anabat detector. *Journal of Mammalogy* 80:11-23.
- OBRIST, M. K. 1995. Flexible bat echolocation: the influence of individual, habitat and conspecifics on sonar signal design. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 36:207-219.
- PARSONS, S. 1998. The effect of recording situation on the echolocation calls of the New Zealand lesser short-tailed bat (*Mystacina tuberculata* Gray). *New Zealand Journal of Zoology* 25:147-156.
- RIVERA-PARRA, P. 2011. Caracterización de la fauna de quirópteros del Parque Nacional Yasuní en base a llamadas de ecolocación. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- SCHNITZLER, H. U., Y E. K. V. KALKO. 1998. How echolocating bats search and find food. Pp 183-196 in *Bat Biology and Conservation*. (Kunz, T. H., y P. A. Racey, eds). Smithsonian Institution Press. Washington, EE.UU.
- SCHNITZLER, H. U. Y E. K. V. KALKO. 2001. Echolocation by insect-eating bats. *BioScience* 51:557-569.
- SIEMERS, B. M. 2004. Bats in the field and in a flight cage: recording and analysis of their echolocation calls and behavior. Pp 63-69 in *Bat echolocation research: tools, techniques, and analysis* (Brigham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. J. G. A. Limpens, eds.). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.
- SIMMONS, J. A., M. B. FENTON, Y M. J. O'FARRELL. 1979. Echolocation and pursuit of prey

by bats. *Science* 203:16-21.

SZEWCAK, J. M. 2004. Advanced analysis techniques for identifying bat species. Pp 121-127 in *Bat echolocation research: tools, techniques, and analysis* (Brigham, R. M., E. K. V. Kalko, G. Jones, S. Parsons, y H. J. G. A. Limpens, eds). Bat Conservation International. Austin, EE.UU.

TIRIRA, D. G. 2011. Lista actualizada de especies de mamíferos en el Ecuador. Versión 2011.2. (En línea) Fundación Mamíferos y Conservación y Editorial Murciélago Blanco. [Fecha de acceso Diciembre 2012] <<www.mamiferosdeecuador.com>>

Sometido: 11 de enero de 2013
Revisado: 22 de febrero de 2013
Aceptado: 18 de abril de 2013
Editor asociado: Patricia Cortés-Calva
Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Abundancia de tepezcuintle (*Cuniculus paca*) y relación de su presencia con la de competidores y depredadores en una selva tropical

Antonio Santos-Moreno^{1*} y Gabriela Pérez-Irineo¹

Abstract

The tepezcuintle (*Cuniculus paca*) is one of the largest living rodents of Latin America. In many rural and indigenous communities, it is the most consumed wild mammal by its inhabitants, so its populations are subjected to considerable pressure, mainly by hunting and alteration and removal of its habitat. Our study estimated population density of the tepezcuintle and its temporal variation in a high evergreen forest in the eastern part of the state of Oaxaca, Mexico. We used camera traps and the ideal gas model, as well as the relationship between the presence of this species and the presence of their mammalian predators and competitors. The monthly average population density was 0.492 ± 0.361 individuals per hectare, and its variations are probably due ultimately to changes in precipitation. The presence of tepezcuintle showed an inverse and statistically significant relationship with that of its competitors (agouti) and predators (ocelot and jaguar). The tepezcuintles are mainly active between 18:00 and 02:00, while agouties are diurnal.

Key words: density, phototrapping, gas ideal model, Oaxaca, Mexico.

Resumen

El tepezcuintle (*Cuniculus paca*) es uno de los roedores vivientes más grandes de América Latina. En muchas comunidades rurales e indígenas es el mamífero silvestre más consumido por sus pobladores, por lo que se ejerce en ella una fuerte presión por la cacería, además hay que considerar el efecto por la alteración y eliminación de su hábitat. En este estudio se estima la densidad poblacional del tepezcuintle y sus variaciones temporales en una selva alta perennifolia en el este del estado de Oaxaca, México. Se utiliza fototrampeo y el modelo de gas ideal, así como la relación entre su presencia y la de sus mamíferos depredadores y competidores. La densidad poblacional promedio mensual se estimó en 0.492 ± 0.361 individuos por hectárea, y sus variaciones probablemente se deban en última instancia a las fluctuaciones en la precipitación. La presencia del tepezcuintle tuvo una relación estadísticamente significativa e inversa con la de sus competidores (serete) y depredadores (ocelote y

¹Laboratorio de Ecología Animal. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, 71230. E-mail: asantasm90@hotmail.com (AS-M), gabyririneo@hotmail.com (GP-I).

* Corresponding author

jaguar). Los tepezcuintles están activos principalmente entre las 18:00 y las 02:00, mientras que los seretes son de hábitos diurnos.

Palabras clave: densidad, fototrampeo, México, modelo de gas ideal, Oaxaca.

Introducción

Los roedores comprenden una porción sustancial de la carne de origen silvestre consumida por el ser humano, especialmente en zonas tropicales como América Latina, donde varias especies de caviás (*Cavia* spp., *Dolichotis* spp., *Microcavia* sp.), ratas espinosas (*Proechimys* sp.), seretes (*Dasyprocta* spp.) y tepezcuintles (*Cuniculus paca*) han sido consumidas por siglos (Fiedler 1990). Los seretes y tepezcuintles, pertenecen a los roedores vivientes más grandes (Pérez 1992), cuyos ejemplares adultos pesan entre 5 y 12 kg, llegando incluso hasta los 14 kg (Matamoros 1985; Aranda 2000).

El área de distribución del tepezcuintle incluye desde el sureste de San Luís Potosí, en México, hasta Paraguay, Guyana, sur de Brasil y noreste de Argentina (Woods y Kilpatrick 2005). Principalmente, habita en bosques tropicales lluviosos, aunque se le puede encontrar en una amplia variedad de hábitats boscosos (Pérez 1992). En muchas comunidades rurales e indígenas de América Latina, es el mamífero silvestre más consumido (Ayres *et al.* 1991; Zúñiga-Rodríguez 1994; Altrichter 1999-2000). Aunque se han desarrollado varios intentos para establecer criaderos en cautiverio, estos han tenido poco éxito por diversas razones, entre las que destacan, problemas reproductivos y de baja rentabilidad (Chacón-Vargas 1996). Por lo tanto, las poblaciones silvestres se ven sujetas a presión por la cacería y la alteración y eliminación de su hábitat (Barquero Rodríguez y Barquero Arroyo 2008). En varias zonas de su área de distribución, el tepezcuintle sufre importantes presiones de cacería, superiores incluso a las tasa de cosecha sostenibles (Baluarte Vásquez 1995; Zapata Ríos 2001; Sánchez y Vásquez 2007), y aunque no se han realizado estudios sistemáticos por largos periodos de tiempo, se ha podido observar una disminución considerable en la cosecha de esta especie en un tiempo corto (Rosales Meda *et al.* 2010).

El tamaño de las poblaciones de tepezcuintles está determinado por varios factores, principalmente los depredadores y competidores. En el caso del tepezcuintle, sus principales depredadores además del hombre, son el jaguar (*Panthera onca*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el tigrillo (*Leopardus wiedii*), el puma (*Puma concolor*), el jaguarundi (*Puma yagouaroundi*) y el coyote (*Canis latrans*; Pérez 1992). Por otra parte, en cuanto a los competidores, aunque existen distintos grados de superposición en la dieta de *C. paca* y la de varias especies de marsupiales, roedores, ungulados, prociónidos y primates (Glanz 1983), probablemente la competencia alimentaria más fuerte ocurre con el serete (*Dasyprocta punctata*), otro roedor de hábitos conductuales similares al tepezcuintle. Ambas especies muestran una superposición alta en su dieta, aunque con diferencias en la cantidad de consumo (Smythe *et al.* 1982), defienden territorios pequeños de menos de dos hectáreas (Heaney y Thorington 1978; Smythe 1978; Smythe *et al.* 1982), prefieren sitios similares para construir madrigueras (Smythe 1978; Marcus 1984), e incluso muestran la misma respuesta a la presencia del hombre (Wright *et al.* 1994). La abundancia de especies frugívoras como *C. paca* y *D. punctata* parece también estar limitada por la disponibilidad de recursos alimentarios (Smythe *et al.* 1982).

Debido a su importancia como fuente de proteína y a las presiones a que las poblaciones del tepezcuintle están sujetas, resulta relevante conocer cuál es el tamaño de sus poblaciones. El objetivo de este estudio es estimar la densidad de tepezcuintles en una selva tropical del sureste del estado de Oaxaca, México, por medio de fototrampeo, así como la relación entre su presencia y la de sus depredadores y competidores.

Material y Métodos

Área de estudio. El estudio se llevó a cabo en el municipio de Santa María Chimalapa, en el este del estado de Oaxaca, México. Este municipio, junto con San Miguel Chimalapa integran la región conocida como Los Chimalapas, que abarcan una superficie estimada en 590,993 hectáreas, de las cuales 462,000 corresponden a un mosaico complejo de selvas y bosques en un buen estado de conservación, pero que en los últimos años ha comenzado a verse alterada (Salas-Morales *et al.* 2001; Martínez Pacheco 2012). En Los Chimalapas están representados alrededor del 20 al 40% de las especies de vertebrados de México, por lo tanto, es de las zonas faunísticas más ricas del país (Navarro-Sigüenza *et al.* 2008). Es considerada, además, un centro de diversidad de plantas y árboles tropicales, una de las áreas de concentración de especies endémicas de la flora de México y un refugio del Pleistoceno (Navarro-Sigüenza *et al.* 2008). La vegetación dominante es el bosque tropical perennifolio, con árboles que sobrepasan los 30 m de altura e incluye especies como *Gutteria anomala*, *Dialium guianense*, *Terminalia amazonia*, *Sloanea tuerkheimii*, *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Lonchocarpus* sp. y *Guarea* spp. en el estrato más alto (Salas-Morales *et al.* 2001).

Obtención de datos de campo. Los estudios de campo basados en observaciones directas o capturas de tepezcuintles son difíciles y los resultados en muchas ocasiones están sesgados e incompletos porque los animales son nocturnos y evitan las trampas (Beck-King *et al.* 1999). Aunque se han realizado algunos intentos a partir de métodos indirectos como huellas (Contreras-Díaz *et al.* 2009) o conteos de madrigueras (Beck-King *et al.* 1999; Parroquín Pérez *et al.* 2010), estos también se ven limitados por las condiciones de visibilidad y las características del terreno. Una alternativa es el uso de datos de fototrampeo. De julio a diciembre de 2008, se estableció cada mes un transecto diferente de 5 km de longitud, ubicado al azar, en el cual se colocaron 10 fototampas *Cuddeback® digital scouting cameras* (Non Typical, Inc., Park Falls, WI, EUA), una cada 500 m. Esta distancia se eligió porque el área de actividad estimada para el tepezcuintle a partir de radiotelemetría es de 3.34 ha (Beck-King *et al.* 1999) y suponiendo áreas de forma circular, el diámetro de cada una de estas es de 209.28 m y aún en el caso de que existan áreas adyacentes, dado el comportamiento territorial (Ortega-R. y Arita 2005).

La distancia seleccionada hace poco probable que un mismo individuo sea registrado en más de una fototrampa. Cada cámara se ubicó y aseguró en la base de un árbol, a una altura de aproximadamente 50 cm y frente a ellas, a aproximadamente 2 m, se colocaron frutas (plátano, mango y manzana) como atrayentes. Las trampas permanecieron activas por cinco días cada mes las 24 horas del día.

Para estimar la densidad del tepezcuintle a partir de fototrampeo se utilizó el modelo de gas ideal (Hutchinson y Waser 2007), que una aproximación física que no requiere del reconocimiento individual. Dicho modelo consiste en predecir las tasas y la duración de los encuentros entre los animales o grupos sociales que se mueven aleatoria

e independientemente, dadas una densidad poblacional, una velocidad y distancia determinadas a la que los encuentros se producen (Hutchinson y Waser 2007), en forma análoga a como se mueven las partículas de un gas. Aunque las marcas naturales como las franjas y las manchas varían notablemente entre individuos de tepezcuintle (Miththapala *et al.* 1989) y pueden servir como un sistema natural de marcaje, estas son asimétricas (Karanth *et al.* 2004), por lo que la identificación confiable requiere de fotografías de buena calidad de ambos costados de cada individuo que se registra por primera vez (Di Bitetti *et al.* 2006) y aun cuando se cuente con estas imágenes, existe la posibilidad de errores en la identificación, pues ésta depende de la experiencia de la persona que la realiza.

Así, conociendo la tasa promedio de obtención de fotografías por periodo de actividad (y/t), la velocidad promedio de desplazamiento de los miembros de la especie en el área de estudio (v) y el arco (θ) y la distancia de detección (r) de las fototrampas, es posible estimar la densidad poblacional (D) de acuerdo a Rowcliffe *et al.* (2008):

$$D = \frac{y}{t} \frac{\pi}{vr(2 + \theta)}$$

Los valores de los parámetros de las fototrampas (θ y r ; Tabla 1) se determinaron pasando en forma repetida frente a una fototrampa activa y midiendo el ángulo y la distancia en la cual se activaba el sensor (Rowcliffe *et al.* 2008). Debido a que no existen datos publicados específicos de movimientos y velocidad de desplazamiento para tepezcuintle, la velocidad promedio de desplazamiento se consideró igual a la de *D. punctata* (Aliaga-Rossel *et al.* 2008). Los miembros de esta especie se mueven en promedio 831 m por noche y están activos aproximadamente por 8.5 h, lo que determina una velocidad promedio (v) de 97.76 m/h. Aunque las fototrampas permanecieron activas permanentemente, la mayor cantidad de fotografías de tepezcuintles en el área de estudio se obtuvieron en un periodo de ocho horas (t ; Tabla 1). Se calculó la densidad mensual, su promedio a lo largo de todo el estudio y una estimación total considerando todos los datos de los seis meses que duró el estudio.

Se evaluó si la presencia de tepezcuintle es dependiente de la de competidores como el serete, depredadores como el ocelote y el jaguar, o de ambas clases, por medio de tablas de contingencia de 2 x 2. En cada caso, se consideró el número total de fototrampas en las cuales se registró al menos una fotografía de tepezcuintle y al menos una de cada una de las especies de las clases anteriores por mes. Las tablas se construyeron considerando el total de fototrampas en que se registró únicamente tepezcuintle, únicamente competidores, depredadores ó ambos, así como el total en que se registraron ambas en todo el estudio. Para conocer el sentido y la significancia de esta relación, se empleó el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman (ρ).

Resultados

Se realizó un esfuerzo de muestreo total de 300 trampas-día, con el que se obtuvieron 29 fotografías de tepezcuintle, la mayor cantidad de ellas (37.93%) en el mes de noviembre. Los registros fotográficos indicaron que esta especie estuvo activa desde las 2:25 hasta las 24:17, aunque el 79.3% de estos registros (23) ocurrieron entre las 18:00 y las 02:00 horas (Fig. 1). Considerando este lapso de ocho horas como el periodo de actividad

de la especie en el área de estudio, y con un esfuerzo total de 7,200 horas-trampa, se obtuvo una densidad promedio mensual de tepezcuintles (\pm la desviación estándar) de 0.492 ± 0.361 individuos/ha, con el valor más bajo (0.098) en octubre y el mayor (1.083) en noviembre (Tabla 1). Se indican también los datos de horarios de actividad máxima por especies registradas en este estudio en el Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de detección de fototrampas, características de desplazamiento, número de fotografías y horario de actividad máxima de *Cuniculus paca*, de sus competidores (serete) y depredadores (ocelote y jaguar) en Santa María Chimalapa, Oaxaca, México.

Parámetro	Mes							Total
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
Fototrampas								
Distancia de detección (km)	0.01							
Ángulo de detección	0.175							
<i>Cuniculus paca</i>								
Horas de muestreo	1200							7200
Tasa de fototrampeo en 8 h	0.027	0.033	0.027	0.007	0.073	0.027	0.032	
Velocidad (km/h)	0.097							
No. de fotografías	4	5	4	1	11	4	29	
Densidad (individuos/ha)	0.394	0.492	0.394	0.098	1.083	0.394		
Horario de actividad máxima	De 18:00 a 02:00							
<i>Dasyprocta mexicana</i>								
No. de fotografías	0	2	0	0	0	3	5	
Horario de actividad máxima	De 06:00 a 16:00							
<i>Leopardus pardalis</i>								
No. de fotografías	3	1	0	0	0	2	6	
Horario de actividad máxima	De 04:00 a 07:00 y de 14:00 a 15:00							
<i>Panthera onca</i>								
No. de fotografía	0	0	1	0	0	0	1	

Adicionalmente, durante el periodo de estudio, se obtuvieron 68 fotografías de otras 12 especies de mamíferos de talla media y grande, entre ellas el serete (*Dasyprocta mexicana*; $n = 5$), el ocelote ($n = 6$) y el jaguar ($n = 1$). La primera fue analizada como especie competidora y las dos últimas como especies depredadoras del tepezcuintle. Debido a que sólo se obtuvo una fotografía para el jaguar, las tablas de contingencia se analizaron comparando entre tepezcuintle y serete, tepezcuintle y ocelote, tepezcuintle y depredadores, que incluyeron registros de ocelote y de jaguar, así como tepezcuintle y serete + depredadores. La presencia de tepezcuintle mostró una relación inversa y significativa con la del serete ($\chi^2 = 4.996$, $df = 1$, $P = 0.0253$, $\rho = -0.639$, $P = 0.0185$), ocelote en particular ($\chi^2 = 13$, $df = 1$, $P = 0.0003$, $\rho = -1$, $P = 0$), depredadores en general (ocelote + jaguar, $\chi^2 = 14$, $df = 1$, $P = 0.0001$, $\rho = -0.825$, $P = 0.0002$) y de serete + depredadores ($\chi^2 = 7.463$, $df = 1$, $P = 0.0062$, $\rho = -0.738$, $P = 0.0016$).

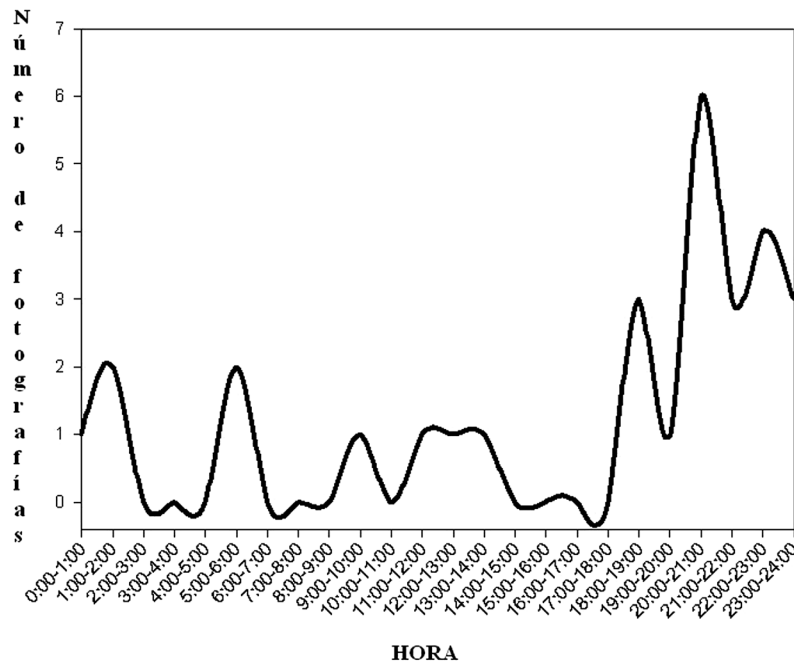


Figura 1. Actividad circadiana de *Cuniculus paca* en Santa María Chimalapa, Oaxaca, México.

Discusión

El valor de 0.492 ± 0.361 individuos/ha estimado con el modelo de gas ideal se encuentran dentro del intervalo observado en selvas tropicales de Centro y Sudamérica, como Barro Colorado, Panamá (0.26, Eisenberg y Thorington 1973; 0.70, Smythe *et al.* 1982; 0.40, Glanz 1983; 0.71, Wright *et al.* 1994), la Estación Biológica Cocha Cashu, Perú (0.03, Emmons 1987) y la costa del Pacífico en Costa Rica (de 0.67 a 0.70 cuando se estimó con observaciones directas y 0.93 por medio del número de madrigueras; Beck-King *et al.* 1999) y concuerda con la afirmación de que en general su abundancia típicamente es de menos de un individuo por hectárea (Eisenberg 1980), aunque dependiendo de la disponibilidad de alimento y la presión de cacería local, este puede ser mucho mayor. Las variaciones mensuales probablemente se deban a la disponibilidad de frutos maduros, que a su vez está determinada principalmente por la cantidad de lluvia. En la zona de estudio la mayor precipitación ocurre en los meses de septiembre y octubre (INIFAP 2012), antes de que se observe la mayor densidad de tepezcuintles, que ocurrió en noviembre.

Aunque se ha estimado la densidad poblacional de tepezcuintles con otros métodos, algunos de ellos presentan limitantes. Por ejemplo, los censos sobre transectos, que son una forma común de estimar la densidad poblacional de aves y mamíferos, tienden a subestimarla, en ocasiones hasta la mitad de su número real (Beck-King *et al.* 1999). Por otra parte, el conteo de madrigueras arroja estimaciones confiables (Beck-King *et al.* 1999), pero en zonas con vegetación densa, como el área de estudio del presente trabajo, su ubicación es difícil y por lo tanto, las estimaciones en estas condiciones pueden subestimar el valor real.

En la comunidad de mamíferos de Santa María Chimalapa destacan como posibles competidores del tepezcuintle el serete, y como depredadores el ocelote y jaguar,

respectivamente. El tepezcuintle parece evitar los lugares con presencia tanto del serete como de los depredadores, tal como lo sugiere el número bajo de fototampas en las que se registró a ambos, quizá como una estrategia para disminuir la competencia en el caso del serete o para evitar la depredación, en el caso del ocelote y el jaguar. Por otra parte, los datos indican una separación temporal de las actividades de tepezcuintles y seretes, en donde el primero mostró actividad principalmente nocturna, mientras que el segundo fue de hábitos diurnos. Esta separación ha sido observada en la isla de Barro Colorado, Panamá entre tepezcuintles y otra especie de serete, *D. punctata* (Smythe 1978).

Se registró una relación inversa de la presencia del tepezcuintle y las de ocelote y jaguar. Aunque ambos son considerados como depredadores importantes en aquellas zonas en que son simpátricos (Pérez 1992; Wright *et al.* 1994; Moreno *et al.* 2006; Estrada Hernández 2008). En este estudio la presencia de tepezcuintle puede ser limitada principalmente por la del ocelote, ya que tanto el tepezcuintle como el serete aportan la mayor cantidad de biomasa para este depredador (de Oliveira *et al.* 2010). Además, tanto el tepezcuintle como el ocelote son nocturnos, aunque los máximos de actividad no coinciden exactamente. Esta diferencia en los horarios de actividad puede minimizar el riesgo de depredación y maximizar la permanencia del tepezcuintle en la zona.

Por otra parte, en este estudio sólo se evaluó la relación entre la presencia de tepezcuintles y sus depredadores y competidores; sin embargo, otros factores que podría determinar la densidad poblacional y que no fueron considerados son la caería y la disponibilidad de alimento, que es de suma importancia en la determinación de la abundancia de especies frugívoras, como *C. paca* y *D. punctata* (Smythe *et al.* 1982).

El fototrampeo y el modelo de gas ideal presentan la ventaja de permitir muestrear áreas más grandes con el mismo número de fototampas que sí la estimación se realizara por medio del reconocimiento individual, pues este último requiere que al menos una proporción de las estaciones de fototrampeo cuenten con dos fototampas para obtener fotografías simultáneas de ambos costados de los individuos, pues se sabe que estas son asimétricas, mientras que el modelo del gas ideal sólo requiere de estaciones de fototrampeo con una sola fototampa. Esta aproximación tiene las desventajas de no permitir obtener información confiable sobre otros aspectos relacionados con el reconocimiento individual, como la proporción de sexos, la estructura de edades o los movimientos de los individuos.

Agradecimientos

El Instituto Politécnico Nacional de México proporcionó el apoyo económico para la realización del proyecto SIP-20080431, las autoridades del municipio de Santa María Chimalapa dieron facilidades para la realización del estudio. S. García Orozco y E. E. Pérez Cruz proporcionaron importante apoyo en el trabajo de campo.

Literatura citada

- ALIAGA-ROSSEL, E. R., R. W. KAYS, Y J. M. V. FRAGOSO. 2008. Home-range use by the Central American agouti (*Dasyprocta punctata*) on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Tropical Ecology* 24:367–374.
- ALTRICHTER, M. 1999-2000. Importancia de los mamíferos silvestres en la dieta de pobladores de la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Mexicana de Mastozoología*

4:95-103.

- ARANDA, M.** 2000. Huellas y rastros de los mamíferos grandes y medianos de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ecología, A. C. Ciudad de México, México.
- AYRES, M., D. MAGALHAES-LIMA, E. DE SOUSA MARTINS, Y J. L. BARREIROS.** 1991. On the tract of the road: changes in subsistence hunting in a Brazilian Amazonian village. Pp. 82-92 in Neotropical wildlife use and conservation (Robinson, J. G., y K. H. Redford, eds.). University of Chicago Press. Chicago, EE.UU.
- BALUARTE VÁSQUEZ, J.** 1995. Diagnóstico del sector fauna Región Amazónica. Documento técnico 17. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Iquitos, Perú.
- BARQUERO RODRÍGUEZ, M. A., Y M. D. BARQUERO ARROYO.** 2008. Efecto de la dieta sobre la ganancia de peso en individuos de *Agouti paca* (Rodentia: Agoutidae) en cautiverio. *Revista Mexicana de Mastozoología* 12:6-16.
- BECK-KING, H., O. VON HELVERSEN, Y R. BECK-KING.** 1999. Home range, population density, and food resources of *Agouti paca* (Rodentia: Agoutidae) in Costa Rica: A study using alternative methods. *Biotropica* 31:675-685.
- CHACÓN-VARGAS, M.** 1996. Manejo en cautiverio y evaluación económica de la reproducción del tepezcuintle (*Agouti paca*) en la Región Atlántica de Costa Rica. Tesis de maestría en manejo de vida silvestre. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 134 p.
- CONTRERAS-DÍAZ, R. B., A. SANTOS-MORENO, A. M. ALFARO, Y M. PÉREZ-LUSTRE.** 2009. Identificación individual de tepezcuintle (*Cuniculus paca*) mediante el uso de huellas. *Revista Mexicana de Mastozoología* 13:34-45.
- DE OLIVEIRA, T.G., M. A. TORTATO, L. SILVEIRA, C. B. KASPER, F. D. MAZIM, M. LUCHERINI, A. T. JÁCOMO, J. B. G. SOARES, R. V. MARQUES, Y M. SUNQUIST.** 2010. Ocelot ecology and its effect on the small-felid guild in the lowland neotropics. Pp. 559-580 in *Biology and conservation of wild felids* (Macdonald, D. W., y A. J. Loveridge, eds.). Oxford University Press. New York, EE.UU.
- DI BITETTI, M. S., A. PAVIOLO, Y C. DE ANGELO.** 2006. Density, habitat use and activity patterns of ocelots (*Leopardus pardalis*) in the Atlantic Forest of Misiones, Argentina. *Journal of Zoology* 270:153-163.
- EISENBERG, J. F.** 1980. The density and biomass of tropical mammals. Pp. 35-55 in *Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective* (Soulé, M. E., y B. A. Wilcox, eds.). Sinauer Association. Sunderland, EE.UU.
- EISENBERG, J. F., Y R. W. THORINGTON.** 1973. A preliminary analysis of a neotropical mammal fauna. *Biotropica* 5:150-161.
- EMMONS, L. H.** 1987. Comparative feeding ecology of felids in a Neotropical rainforest. *Behavior, Ecology and Sociobiology* 20:271-283.
- ESTRADA HERNÁNDEZ, C. G.** 2008. Dieta, uso de hábitat y patrones de actividad del puma (*Puma concolor*) y el jaguar (*Panthera onca*) en la Selva Maya, Centroamérica. *Revista Mexicana de Mastozoología* 12:113-130.
- FIEDLER, L. A.** 1990. Rodents as a food source. Pp. 149-154 in *Proceedings of the Fourteenth Vertebrate Pest Conference* (Davis, L. R., y R. E. Marsh, eds.). Sacramento, EE.UU.
- GLANZ, W.** 1983. The terrestrial mammal fauna of Barro Colorado Island: censuses

- and long-term changes. Pp. 455-468 in *The Ecology of a tropical forest: seasonal rhythms and long-term changes* (Leigh, Jr. E. G., y D. M. Windsor, eds.). Smithsonian Institution Press. Washington, EE.UU.
- HEANEY, L. R., y R. W. THORINGTON, JR.** 1978. Ecology of Neotropical red-tailed squirrels, *Sciurus granatensis*, in the Panama Canal Zone. *Journal of Mammalogy* 59:846-851.
- HUTCHINSON, J. M. C., y P. M. WASER.** 2007. Use, misuse and extensions of 'ideal gas' models of animal encounter. *Biological Reviews* 82:335-359.
- INIFAP.** 2012. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/clima/est.aspx>. Fecha de consulta: 05/11/2012.
- KARANTH, U. K., J. D. NICHOLS, y S. N. KUMAR.** 2004. Photographic sampling of elusive mammals in tropical forests. Pp. 229-247 in *Sampling rare or elusive species; concepts, designs, and techniques for estimating population parameters* (Thompson, W. L. ed.). Island Press. Washington, EE.UU.
- MARCUS, M. J.** 1984. Behavioral ecology of paca (*Agouti paca*) on Barro Colorado Island, Panama. M. S. thesis, University of Maine. Orono, EE.UU.
- MARTÍNEZ PACHECO, A. I.** 2012. Monitoreo del cambio de uso de suelo en Los Chimalapas 2000-2003. Pp. 86-94 in *Una mirada desde el corazón de la jícara de oro. experiencias de conservación en la Selva Zoque de Los Chimalapas* (Ortega del Valle, D., T. Carranza López, y J. Martínez Pérez, eds.). World Wildlife Found México. Oaxaca, México.
- MATAMOROS, Y.** 1985. El tepezcuintle. *Biocenosis* 1:21-22.
- MITHTHAPALA, S., J. SEIDENSTICKER, L. G. PHILLIPS, S. B. U. FERNANDO, y J. A. SMALLWOOD.** 1989. Identification of individual leopards (*Panthera pardus kotiya*) using spot pattern variation. *Journal of Zoology* 218:527-536.
- MORENO, R. S., R. W. KAYS, y R. SAMUDIO, JR.** 2006. Competitive release in diets of ocelot (*Leopardus pardalis*) and puma (*Puma concolor*) after jaguar (*Panthera onca*) decline. *Journal of Mammalogy* 87:808-816.
- NAVARRO-SIGÜENZA, A. G., L. CANSECO MÁRQUEZ, y H. OLGUÍN MONROY.** 2008. Vertebrados terrestres de los Chimalapas: Una prioridad de conservación. *Biodiversitas* 77:10-15.
- ORTEGA-R., J., y H. T. ARITA.** 2005. *Cuniculus paca* (Linnaeus, 1776). Pp. 815-816 in *Los mamíferos silvestres de México* (Ceballos G., y G. Oliva, coords.). Fondo de Cultura Económica and Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- PARROQUÍN PÉREZ, J., S. GALLINA TESSARO, G. AGUIRRE LEÓN, y J. PÉREZ TORRES.** 2010. El tepezcuintle: estrategias para su aprovechamiento con base en la evaluación de su población y hábitat en el ejido Loma de Oro, Uxpanapa, Veracruz, México. Pp. 137-160 in *Uso y manejo de fauna silvestre en el norte de mesoamérica* (Guerra Sosa, M. M., S. Calmé, S. Gallina Tessaro, y E. J. Naranjo Piñera, coords.). Serie Hablemos de Ciencia y Tecnología. Secretaría de Educación de Veracruz, Instituto de Ecología A. C. y El Colegio de la Frontera Sur. Xalapa, México.
- PÉREZ, E. M.** 1992. *Agouti paca*. *Mammalian Species* 404:1-7.
- ROSALES MEDA, M., M. S. HERMES CALDERÓN, y J. R. MORALES ÁLVAREZ.** 2010. Caracterización de la cacería de subsistencia en comunidad Maya-Q'eqchi' del área de influencia

- del Parque Nacional Laguna Lachuá, Guatemala. Pp. 25-52 in *Uso y manejo de fauna silvestre en el norte de Mesoamérica* (Guerra Sosa, M. M., S. Calmé, S. Gallina Tessaro, y E. J. Naranjo Piñera, coords.). Serie Hablemos de Ciencia y Tecnología. Secretaría de Educación de Veracruz, Instituto de Ecología A. C. y El Colegio de la Frontera Sur. Veracruz, México.
- ROWCLIFFE, J. M., J. FIELD, S. T. TURVEY, Y C. CARBONE.** 2008. Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology* 45:1228–1236.
- SALAS-MORALES, S. H., L. SCHIBLI, Y E. TORRES BAHENA.** 2001. La importancia ecológica y biológica. Pp. 27-41 in *Chimalapas: la última oportunidad* (Aparicio, R., ed.). World Wild Found, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Oaxaca, México.
- SÁNCHEZ, A., Y P. VÁSQUEZ.** 2007. Presión de caza de la comunidad nativa Mushuckllacta de Chipaota, zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cordillera Azul, Perú. *Ecología Aplicada* 6:131-138.
- SMYTHE, N.** 1978. The natural history of the Central American Agouti (*Dasyprocta punctata*). *Smithsonian Contributions to Zoology* 257:1-52.
- SMYTHE, N., W. E. GLANZ, Y E. G. LEIGH, JR.** 1982. Population regulation in some terrestrial frugivores. Pp. 227-238 in *The Ecology of a tropical forest: seasonal rhythms and long-term changes* (Leigh, Jr. E. G., y D. M. Windsor, eds.). Smithsonian Institution Press, Washington, EE.UU.
- WOODS, C. A., Y C. W. KILPATRICK.** 2005. Infraorder Histicognathi. Pp. 1538-1600 in *Mammal Species of the World, a taxonomic and geographic reference* (Wilson, D. E., y D. A. M. Reeder, eds.). The Johns Hopkins University Press. Baltimore, EE.UU.
- WRIGHT, S. J., M. E. GOMPPER, Y B. DELEON.** 1994. Are large predators keystone species in Neotropical forests? The evidence from Barro Colorado Island. *Oikos* 71:279-294.
- ZAPATA RÍOS, G.** 2001. Sustentabilidad de la cacería de subsistencia: el caso de cuatro comunidades Quichuas en la Amazonia Nororiental Ecuatoriana. *Mastozoología Neotropical* 8:59-66.
- ZÚÑIGA-RODRÍGUEZ, T.** 1994. *Tras la huella y el trillo del tepezcuintle (Agouti paca): Biología, uso tradicional y manejo del tepezcuintle.* Editorial San José, Fundación Neotropical Costa Rica / Programa Regional de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe / Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. San José, Costa Rica.

Sometido: 20 de noviembre de 2012

Revisado: 19 de diciembre de 2012

Aceptado: 16 de enero de 2013

Editor asociado: Consuelo Lorenzo

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

First records of the Ocelot (*Leopardus pardalis*) in the state of Hidalgo, Mexico

Sergio Daniel Hernández-Flores^{1*}, Guadalupe Vargas-Licona¹
and Gerardo Sánchez-Rojas¹

Abstract

We report the first records of ocelot (*Leopardus pardalis*) in Hidalgo, Mexico. The first record refers to the skin examination of a specimen which was captured in the municipality of Metztlán and the second relates to a photographic record from a camera trap in the municipality of Tianguistengo.

Key words: Hidalgo, ocelot, records.

Resumen

Se registran los dos primeros ejemplares confirmados del ocelote (*Leopardus pardalis*) para el estado de Hidalgo, México. El primero se basa en una piel de un ejemplar cazado en el municipio de Metztlán y el segundo por medio de una fotografía de una trampa-cámara del municipio de Tianguistengo.

Palabras clave: Hidalgo, ocelote, registros.

Introducción

The ocelot (*Leopardus pardalis*) is a species considered by Mexican legislation to be in danger of extinction as stated in the NOM-ECOL-059 (SEMARNAT 2010) as well as in Appendix I of the convention concerning International trade in endangered species of fauna and flora (CITES 2012). It is considered by the IUCN Red List to be of the "Least Concern" status, perhaps due to its abundance in South America's Amazon basin (Case *et al.* 2008). Nonetheless, the Red List lists its population trend as "decreasing" (Case *et al.* 2008). The destruction of their habitat and heavy pressure from hunting, to which this species is commonly subjected, are considered the main causes of the decline (Aranda 2005; Sunquist and Sunquist 2009).

The presence of this cat in Hidalgo is to be expected, because it has been reported in the nearby States of Mexico, Puebla, Veracruz and San Luis Potosí. However no precise record for Hidalgo appears in the literature (Hall 1981; Murray and Gardner 1997; Mejenes *et al.* 2010), in scientific collections, or in online electronic databases (GBIF:

¹Laboratorio de Conservación Biológica, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. S/N Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México 42184. E-mail: danielhf83@hotmail.com^{1*}(SDH-F); gvlicona@hotmail.com (GV-L); gerardosanchezrojas@hotmail.com (GS-R)

*Corresponding autor

Global Biodiversity Information Facility. MANIS: The Mammal Networked Information System or UNIBIO: Computer Unit for biodiversity).

As a result of fieldwork in the municipalities of Metztitlan and Tlanguistego in 2011, we confirmed two instances of ocelot (*L. pardalis*) in the state of Hidalgo (Fig. 1). The first instance was an examination of the skin of an animal caught in the municipality of Metztitlan. Local residents of the Zoquizoquipan community (Fig. 2) caught the animal in a pine-oak forest (*Pinus-Quercus*) in 2005. The location of the capture site was determined based on comments of local residents who had been previously interviewed, (-98.6913599° W, 20.6402825° N). Subsequently, on 16 June 2011 this species was also recorded by a camera trap operated by the authors (Wildview Extreme Series 2.0 Megapixel Camera X2IR) in the Oxpantla community, municipality of Tlanguistego, approximately 7.8 km from the first recorded instance, in an area dominated by cloud forest (-98.6402595° W, 20.6905798° N; Fig. 3).

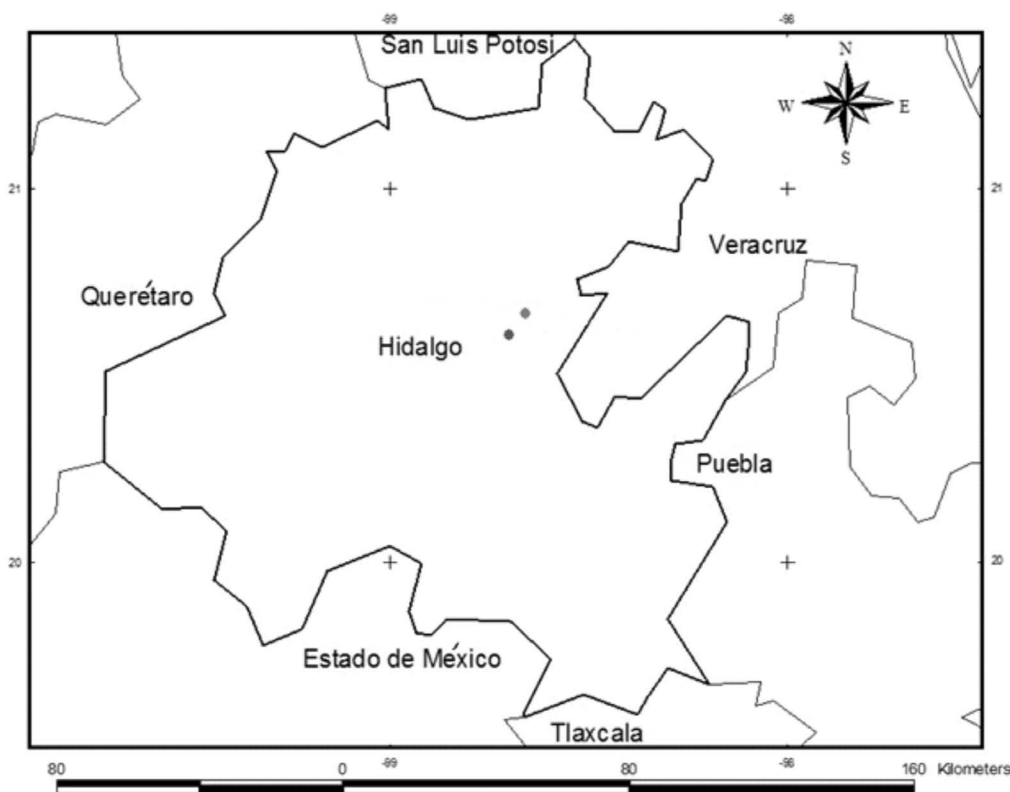


Figure 1. Location of ocelot records (*Leopardus pardalis*) reported in this study. Metztitlan (red circle) and Tlanguistego (blue circle).

The importance of these records are that they confirm the presence of ocelot in the state of Hidalgo, which could be a starting point for studies aimed at the conservation of this species. This species is considered among the 10 carnivores most at risk of extinction in Mexico, after *Nasua nelsoni*, *Procyon pygmaeus*, *Procyon insularis*, *Spilogale pygmaea*, *Panthera onca* and *Canis lupus baileyi* (Valenzuela and Vazquez 2007). Likewise, it is also vulnerable because it has a lower reproductive potential than other medium-sized cats such as the *Lynx* (Sunquist and Sunquist 2009). Finally, today it is increasingly important to attain and report precise data concerning the geographical location of species, as this contributes to larger studies with the goal of mapping biodiversity (Levergne *et al.* 2010).



Figure 2. Ocelot (*Leopardus pardalis*) hunted by local residents in 2005 in a pine-oak forest (*Pinus-Quercus*) in the community of Zoquizoquipan, in the Municipality of Metztitlan.



Figure 3. Ocelot (*Leopardus pardalis*) photographed at a camera station on 16 June 2011 (Wildview Extreme Series 2.0 Megapixel Camera X2IR) in an area of montane cloud forest in the municipality of Tianguistengo (see Figure 1, to situate localization).

Agradecimientos

We would like to thank J. L. Atilano for his great concern for the preservation of the plants and animals of the region and also for inviting us to his property. We also thank C. Aguilar Miguel and C. Garcia Chavez for their friendship and assistance with our fieldwork and thanks a lot to D. A. Jackson by reviewing the English manuscript.

- ARANDA, M.** 2005. *Leopardus pardalis*. Pp. 359-360 in Los mamíferos silvestres de México (Ceballos, G., and G. Oliva eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- CASO, A., C. LÓPEZ, E. PAYAN, E. EIZIRIK, T. DE OLIVEIRA, R. LEITE-PITMAN, M. KELLY, AND C. VALDERRAMA.** 2008. *Leopardus pardalis*. In IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 03.II.2012.
- CITES (CONVENCIÓN SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS DE FAUNA Y FLORA SILVESTRE).** 2007. Apéndices I, II y III en vigor a partir del 25 de septiembre de 2012. <http://www.cites.org/esp/app/appendices.php>.
- HALL, E. R.** 1981. The mammals of North America. John Wiley and Sons, New York, EE.UU.
- LEVERGNE, N., W. THUILLER, AND O. RONCE.** 2010. Biodiversity and Climate Change: Integrating Evolutionary and Ecological Responses of Species and Communities. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic 41:321–50.
- MANIS (MAMMAL NETWORKED INFORMATION SYSTEM).** 2011. University of California, BERKELEY, CA 94720. The Regents of the University of California. <http://manisnet.org/>. Reviewed in 2012 March.
- MEJENES, S. DE M., M. HERNÁNDEZ, J. BARRAGÁN, AND J. PACHECO.** 2010. Los mamíferos en el estado de Hidalgo. *Therya* 3:161-188.
- MURRAY, J. L., AND G. GARDNER.** 1997. *Felis pardalis*. *Mammalian Species* 548:1-10.
- REMIB (RED MUNDIAL DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD).** 2011. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/remib/>. Reviewed in 2012 March.
- SUNQUIST, M. E., AND F. C. SUNQUIST.** 2009. Family Felidae (Cats). Pp. 145 in Handbook of The mammals of the World. Volum 1. Carnivores (Wilson, D. E., and R. A. Mittermeier eds.). Lynx Edicions, Barcelona, España.
- UNIBIO (UNIDAD DE INFORMÁTICA PARA LA BIODIVERSIDAD-UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO).** 2010. <http://unibio.unam.mx/>. Reviewed in 2012 March.
- VALENZUELA, D., AND L. B. VÁZQUEZ.** 2007. Consideraciones para priorizar la conservación de carnívoros mexicanos. Pp. 197-214 in Tópicos en sistemática, biogeografía, ecología y conservación de mamíferos (Sánchez-Rojas, G., and A. E. Rojas-Martínez eds.). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, México.

Sometido: 30 de diciembre de 2012

Revisado: 8 de enero de 2013

Aceptado: 21 de enero de 2013

Editor asociado: Williams Lidicker

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Conocimiento y usos de *Odocoileus virginianus* en Santo Domingo Tonalá, Oaxaca

Alejandro Flores-Manzanero^{1*}, Graciela Eugenia González-Pérez², Marco Antonio Vásquez-Dávila¹ y Gladys Isabel Manzanero-Medina²

Abstract

Traditional ecological knowledge involves local people's beliefs and values, and also the ecology, conservation and sustainability importance. As part of this knowledge, mammals have been fundamental in the development of human groups because of their ecological, cultural and economic values. Traditional knowledge about mammals on a particular region can be obtained through ethnozoological studies, whose can contribute to set conservation and management strategies in benefit of local people and mammal species. An ethnozoological study about wild mammals was carried out in Santo Domingo Tonalá, Oaxaca, during the first semester of 2011, where the white tailed deer (*Odocoileus virginianus*) was the species with more stories, beliefs and uses among local people. Here we present the data obtained for this mammalian species, highlighting the importance of traditional knowledge for the fauna conservation.

Keywords: Conservation, ethnozoology, mammals, traditional knowledge, vigilance program.

Resumen

El conocimiento ambiental tradicional tiene bases espirituales en las que las personas locales incorporan sus creencias y valores, además de destacar la importancia de la ecología, conservación y aprovechamiento sustentable. El estudio de los mamíferos ha traído cada vez mayores beneficios al ser humano, ya que poseen un gran valor cultural, ecológico y económico. Mediante estudios etnozoológicos se puede documentar el conocimiento local relacionado con los mamíferos de cierta región y sentar las bases para el desarrollo de estrategias de conservación y manejo. El presente es una parte de un estudio que documentó el conocimiento zoológico tradicional de los mamíferos silvestres en Santo Domingo Tonalá, Oaxaca. El venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) es la especie que posee más historias, creencias y usos. Las dos categorías antropocéntricas de uso son alimento y mercancía. Los pobladores han implementado

¹Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. E-mail: *floresmanzanero10@gmail.com (AF-M), marcoantoniov@yahoo.com (MAV-D).

²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. 71230. E-mail: gracielago_62@yahoo.com.mx (GEG-P), gmanzane@ipn.mx (GIM-M).

*Corresponding autor

un programa de vigilancia para el venado aunado a la creencia de que existen seres “mágicos” encargados de su custodia. En la actualidad, los pobladores perciben un incremento del número de venados, lo que resalta la importancia del conocimiento local en la conservación de especies.

Palabras clave: Conocimiento Tradicional, conservación, etnozootología, mamíferos, programa de vigilancia.

Introducción

El Conocimiento Ambiental Tradicional (CAT) abarca los conocimientos que tienen las personas locales acerca del ambiente físico que los rodea, sus plantas, animales, suelos, clima, etc., así como sus creencias y valores (Hunn 1993). La conservación y manejo de los recursos naturales son temas que también son incorporados al CAT (Snively y Corsiglia 2001), mismos que preocupan tanto a los gobiernos como a las personas locales (Ulloa *et al.* 1996) y uno de estos recursos naturales es la fauna silvestre (Miranda 1993). Para Pérez-Gil *et al.* (1995), la importancia de la fauna silvestre comprende aspectos ecológicos, científicos, educativos, culturales, económicos, entre otros.

El grupo de fauna silvestre que ha sido parte vital de las cosmovisiones de diferentes culturas son los mamíferos, ya que se encuentran en numerosas manifestaciones que han producido (Ulloa 2002). Por ello su estudio ha traído cada vez mayores beneficios para el ser humano (Hortelano-Moncada *et al.* 2009) y la etnozootología se encarga de estudiar las relaciones entre la fauna y los grupos humanos de una región (Valadez-Azúa *et al.* 2003). En este sentido es importante registrar los conocimientos y usos locales de la fauna, así como las formas de percepción para analizar los aspectos de regulación comunitarios. De esta manera, el conocimiento etnozootológico puede ayudar a sentar las bases para estrategias de conservación y manejo que se requieran en una comunidad y que sean acordes con la situación y el interés local (Solís-Rojas 2006).

El presente trabajo forma parte de un estudio etnozootológico de los mamíferos silvestres efectuado en el primer semestre del año 2011 en Santo Domingo Tonalá, Oaxaca. Municipio que a pesar de tener un Área Natural Protegida en la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna “El Boquerón de Tonalá” (DOF 2008), carece de información referente a la diversidad biológica que alberga, destacando aquella del tipo etnozootológico. Por lo anterior, se realizó la primera investigación etnozootológica en la comunidad mediante la cual se documentó y analizó el conocimiento que los pobladores tienen de los mamíferos silvestres. El venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) resultó ser la especie con mayor número de historias y usos en la comunidad, además de ser un ejemplo del esfuerzo comunitario para conservarlo y poder continuar con su aprovechamiento. A continuación se exponen los resultados obtenidos para el venado cola blanca.

Material y Métodos

Área de estudio. Santo Domingo Tonalá es un municipio localizado en la región de la Mixteca Baja del estado de Oaxaca, México, en las coordenadas 97.96° oeste y 17.68° norte, a una altitud promedio de 1,390 msnm, con una superficie total de 17,096 hectáreas (Fig. 1) de las cuales 7,529 son utilizadas para la agricultura (Oviedo 2002),

es decir, el 44% del territorio. Pertenece al distrito de Huajuapán de León y comprende las jurisdicciones municipales de San Juan de los Reyes, San Sebastián del Monte y Yetla de Juárez (INEGI 2010).

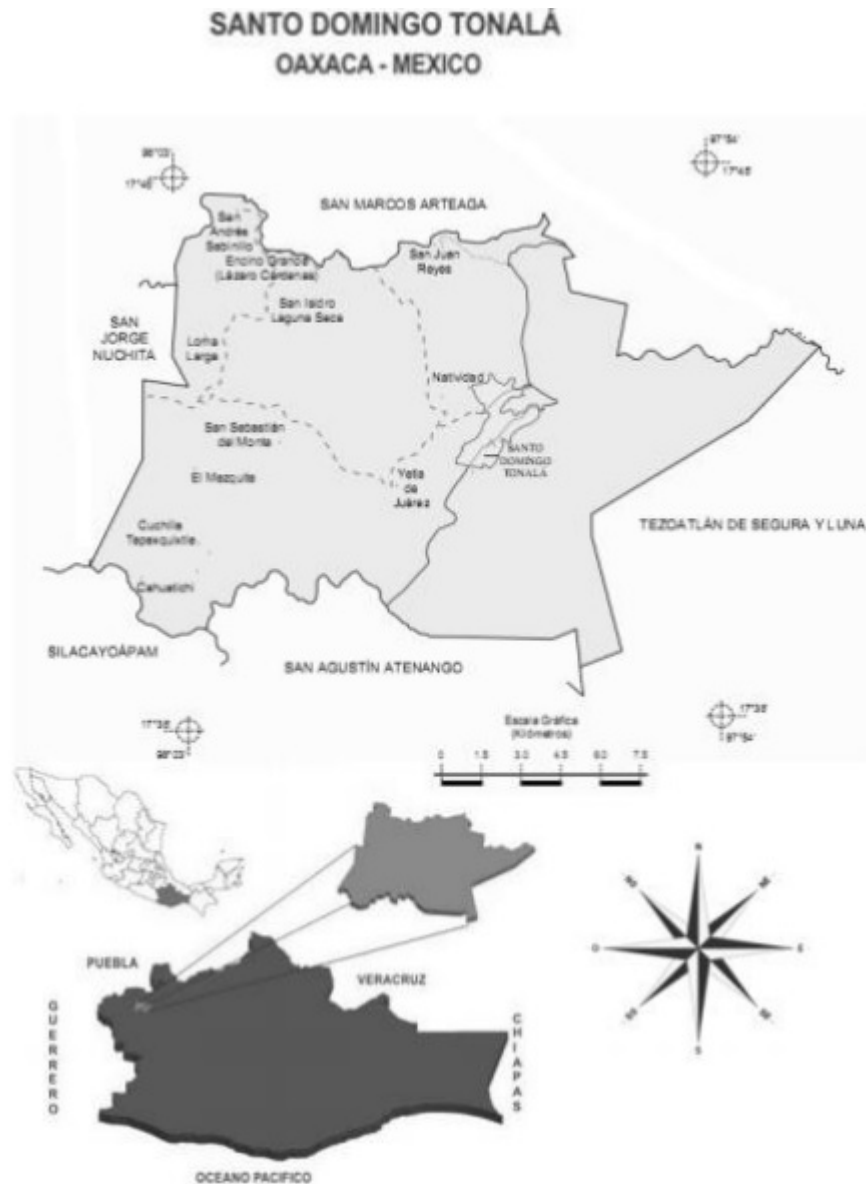


Figura 1. Ubicación y colindancias de Santo Domingo Tonalá (INEGI, 2010; CCG2, 2012).

El tipo de vegetación corresponde al bosque tropical caducifolio (Rzedowski 1981), con zonas de transición dominados por bosques de coníferas y encinos, además de contar con una diversidad de pastizales que le proporciona altos valores ecológicos y fungir como centro de origen y diversificación de especies (Oviedo 2002). Es importante resaltar que el 22 de septiembre del año 2008 fue decretada un Área de Protección de Flora y Fauna llamada “El Boquerón de Tonalá” (DOF 2008) con una extensión de 3,912 hectáreas, demostrando la desproporción en cuanto al área destinada a la conservación y protección de especies vegetales y animales (solamente casi el 23% del territorio) comparada con la destinada a la agricultura. Otro aspecto importante aunado a la historia del lugar es que Santo Domingo Tonalá era tierra de cazadores, cuya presa principal era el venado (Gijsbers 2000).

Metodología. Se empleó el método propuesto por Argueta-Villamar (2008), el cual constó de trabajo de campo y de gabinete (revisión de literatura y análisis de la información registrada). Durante el primer semestre del 2011 (enero a junio) se realizó trabajo de campo en el municipio de Santo Domingo Tonalá. Éste consistió en efectuar tres salidas a la comunidad con duración de tres días cada una y realizar las actividades descritas por Martin (2001): la observación participante y entrevistas semiestructuradas.

De manera previa al trabajo de campo, se presentó ante las autoridades municipales el proyecto etnozoológico y la manera en la cual se trabajaría, con la finalidad de obtener la autorización para trabajar en la comunidad. Posteriormente, las autoridades municipales colaboraron con la identificación de personas que, entre los pobladores de la comunidad, poseen más conocimientos de la fauna local. Estas personas fueron consideradas informantes clave por su mayor aporte de conocimientos. Las autoridades estuvieron al pendiente en todo momento y le dieron seguimiento al trabajo ofreciendo su apoyo, lo cual facilitó la formación de enlaces de confianza con las personas locales.

La observación participante consistió en presenciar de manera directa las actividades que las personas realizan diariamente en el campo y su hogar, lo que incluyó recorridos por senderos en el Boquerón, en los terrenos de cultivo y visitas a los hogares de las personas. Durante los recorridos se presenciaron rastros de mamíferos (huellas, excretas, marcas en las bases de los árboles), mismos que fueron identificados por los pobladores y adjudicados a alguna especie refiriéndose al nombre común de éstas. De manera paralela y complementaria, se aplicaron las entrevistas semiestructuradas (Apéndice 1) principalmente a los conocedores clave (quienes tienen una relación más estrecha con la fauna silvestre) y se efectuaron también en sus hogares con el objetivo de obtener información referente a los mamíferos silvestres de la zona. Un total de trece personas fueron encuestadas, cuya edad promedio fue de 50 años. Para el presente, se expondrán con mayor detalle los datos registrados para el venado.

Resultados

Los pobladores de Santo Domingo Tonalá conocen 13 especies de mamíferos silvestres de las cuales usan cinco (Tabla 1). Combinando los datos de Briones-Salas y Sánchez-Cordero (2004) y DOF (2008), Santo Domingo Tonalá cuenta aproximadamente con 17 especies de mamíferos silvestres, los cuales están enlistados en la Tabla 2. Al comparar ambos listados predominan más los mamíferos medianos y grandes entre los observados por los pobladores de Santo Domingo Tonalá, mientras que en Briones-Salas y Sánchez-Cordero (2004) y DOF (2008), aparecen en mayor proporción los mamíferos pequeños, principalmente ratones.

Lo anterior posiblemente es debido a que en la comunidad se buscaban más los animales grandes para cazarlos, ya que antes Tonalá era un pueblo que se dedicaba a la cacería principalmente del venado cola blanca (Gijssbers 2000). Cabe mencionar que de las especies conocidas por los pobladores pueden obtenerse más con la ayuda de apoyos visuales (eg. dibujos, fotografías) de los mamíferos reportados para la zona, mismos que no fueron presentados a todos los entrevistados; lo anterior sin duda incrementaría el número de especies aportadas por las personas locales. También se obtendría un mayor número de especies a partir de los murciélagos (*Chiroptera*), ya que los pobladores se refieren a ellos como un grupo y no como especies. Aunado a lo anterior, en el listado

de Briones-Salas y Sánchez-Cordero (2004), así como en el reportado por DOF (2008), no se tienen inventariadas las especies de murciélagos particularmente para Santo Domingo Tonalá, lo cual sin duda es indispensable para un mejor conocimiento de la diversidad biológica de esta Área de Protección de Flora y Fauna.

Tabla 1. Conocimiento y uso de de mamíferos silvestres de Santo Domingo Tonalá, Oaxaca, con énfasis en el venado cola blanca.

Nombre común	Nombre científico	Uso	Especificaciones
Tlacuache	<i>Didelphis virginiana</i>		
Armadillo	<i>Dasyus novemcinctus</i>	A	No se especificó la forma de consumo.
Murciélago	Chiroptera	C	Se comercializa su guano como abono.
Coyote	<i>Canis latrans</i>	SU	
Zorra	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	SU	
Tigrillo	<i>Leopardus wiedii</i>	SU	
Puma	<i>Puma concolor</i>	SU	
Comadreja	<i>Mustela frenata</i>	SU	
Cacomixtle	<i>Bassariscus sumichrasti</i>	SU	
Mapache	<i>Procyon lotor</i>	SU	
Venado cola blanca	<i>Odocoileus virginianus</i>	A, C	Se consume su carne como alimento en diferentes preparaciones: en barbacoa, asada, cocida y deshidratada. Su carne se comercializa en forma fresca y deshidratada.
Jabalí	<i>Pecari tajacu</i>	A	Se consume su carne en forma asada y cocida.
Conejo	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	A	Se consume su carne en forma asada, chileajo y en tamales.

Uso: A: alimento humano; C= comercio; SU=sin uso

En cuanto al venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), es el mamífero que más historias y creencias tiene entre los pobladores. Además, cae en las dos categorías antropocéntricas de uso que se registraron para la zona: como alimento y para comercio. Grebe (1975) menciona que el uso en mayor medida de ciertos mamíferos por parte de los pobladores puede demostrar una jerarquía etnozoológica basada en la representación del mundo que les rodea, vinculando estas percepciones y experiencias a su cultura para poder transmitirla a futuras generaciones. En Santo Domingo Tonalá se aprecia esta jerarquía en el venado cola blanca, probablemente por ser el animal que más cazaba (Gijsbers 2000) debido a su gran aporte de carne.

Al percatarse de la disminución de venados, los pobladores crearon el Consejo Municipal de Vigilancia de Fauna y Flora (COMUVIFAF) e implementaron un programa de vigilancia con la finalidad de recuperar el número de individuos de venado para su posterior aprovechamiento. Dicho programa involucra recorridos de supervisión hacia diferentes áreas del monte donde se han registrado los avistamientos de venado de manera constante, a diferentes horas durante la mañana, tarde y noche. Otra de las acciones que implementaron los pobladores es el establecimiento de bebederos y de estaciones alimentarias; lo anterior debido a que Santo Domingo Tonalá tiene un clima cálido con poca precipitación (INEGI 2010) y tipo de vegetación caducifolia (Rzedowski 1981), los cuales son factores que dificultan al venado la obtención de alimento, agua y refugio de manera constante durante todo el año. Con este programa de vigilancia del venado cola blanca se benefició indirectamente a otras especies animales y vegetales

(Gijsbers 2000). En cuanto a especies animales destaca el ejemplo del puma (*Puma concolor*) que regresó a la zona después de que el número de venados comenzó a incrementarse (Gijsbers 2000) y éste hecho fue narrado también por los pobladores locales argumentando que han encontrado con más frecuencia huellas en los senderos. Para el caso de las plantas, el mezquite (*Prosopis* sp.) resultó ser la especie más beneficiada debido a que el venado se alimenta de su flor, pero también era sobreexplotada para alimentar el ganado. Por lo anterior, los ganaderos han aprendido a no disponer de la planta en la medida de lo posible, además de que se han realizado acciones de reforestación con ocote y jarilla con la finalidad de recuperar la vegetación natural y brindar sombra, alimento y protección al venado.

Mamíferos silvestres reportados para Santo Domingo Tonalá.	
Nombre común	Nombre científico
Tlacuatzin	<i>Marmosa canescens</i>
Armadillo	<i>Dasypus novemcinctus</i>
Musaraña	<i>Sorex saussurei</i>
Murciélago	<i>Platyrrhinus helleri</i>
Ocelote	<i>Leopardus pardalis</i>
Tigrillo	<i>Leopardus weideii</i>
Gato montés	<i>Lynx rufus</i>
Puma	<i>Puma concolor</i>
Mapache	<i>Procyon lotor</i>
Venado cola blanca	<i>Odocoileus virginianus</i>
Ratón	<i>Liomys irroratus</i>
Ratón	<i>Baiomys musculus</i>
Ratón	<i>Microtus oaxacensis</i>
Ratón	<i>Peromyscus gratus</i>
Ratón	<i>Peromyscus maniculatus</i>
Ratón	<i>Reithrodontomys fulvescens</i>
Ratón	<i>Reithrodontomys megalotis</i>
Liebre	<i>Lepus callotis</i>

Tabla 2. Listado de mamíferos silvestres reportados para Santo Domingo Tonalá (*Briones-Salas y Sánchez-Cordero, 2004 y DOF, 2008).

*Los datos de Briones-Salas y Sánchez-Cordero (2004) son los reportados para el distrito de Huajuapán de León, Oaxaca; se consideraron para Santo Domingo Tonalá por pertenecer a este distrito.

Lo anterior es un ejemplo de que con acciones de conservación comunitarias (vigilar y proteger al venado) se puede restaurar el equilibrio ecológico en una zona. Lo cual también ayuda al progreso y desarrollo de la comunidad porque representa recursos para la investigación y la recreación (Miranda 1993; Morales s.f.). Actualmente los pobladores perciben un incremento en el número de venados, por lo que continúan con el programa y se sigue motivando a la gente local a cuidar sus recursos naturales.

En lo que respecta a relatos y creencias, se registraron diversas historias en donde los pobladores cuentan que en el monte existen seres mágicos denominados “chaneques”, mismos que se encargan de cuidar y curar a los venados. Aunado a los “chaneques”, se tiene la creencia de que el monte es el “dueño” o “señor” del venado; lo anterior queda representado en una formación rocosa del cañón del Boquerón (Fig. 2). Dichas historias

fueron contadas por ex-cazadores que actualmente se dedican a vigilar al venado. En otro trabajo realizado en la zona mixteca (Pérez-Hernández 2010), se encontró que el venado es el animal que cuida a los otros animales, por lo que es conocido entre los pobladores como “el Señor del Monte”, hecho que refleja las diferencias en cuanto a creencias entre las comunidades (Ulloa 2002), incluso a pesar de estar presentes en la misma región.

Existen narraciones en las que el cazador no logra obtener su presa, y muchas de éstas pueden ser referidas a Olivier (1999), quien menciona que en muchos casos “el dueño del monte o los animales” castiga a los que se extralimitan en el número de presas. En Santo Domingo Tonalá, éste hecho puede atribuirse a la acción conjunta de los chaneques y del monte, representando un aspecto muy importante en la cosmovisión de la comunidad como lo establece Ulloa (2002).

En cuanto a usos, el venado cola blanca cae en las dos categorías antropocéntricas que se registraron en la comunidad para los mamíferos silvestres: alimento y comercio. Como alimento se consume su carne y puede prepararse de cuatro formas: en barbacoa, cocida, asada y deshidratada; como mercancía se comercializa también su carne en forma fresca y deshidratada (Tabla 1). Katz (1990) y Pérez-Hernández (2010), registran también en la zona mixteca el uso del venado cola blanca como alimento. En Santo Domingo Tonalá, la forma de consumo en barbacoa coincide con Katz (1990), mientras que con Pérez-Hernández (2010) coincide para su consumo en forma asada. Dado lo anterior, para Tonalá se registraron dos formas distintas de preparación de la carne de venado, que son cocida y deshidratada. Destaca el consumo de la carne deshidratada posiblemente como forma de adaptación al clima caluroso; ésta forma de consumo integra los conocimientos y las prácticas en su aplicación para la subsistencia (Hunn 2007), ya que el clima caluroso descompone rápidamente los alimentos y debían idear una manera para aprovecharla. Como mercancía, la carne es vendida en forma deshidratada y fresca, dependiendo del lugar donde va a comercializarse; si es una localidad lejana se opta por deshidratar la carne y si es un lugar cercano se vende fresca. Lo anterior corresponde con Hortelano-Moncada *et al.* (2009) y Pérez-Gil *et al.* (1995), quienes mencionan que los mamíferos tienen un gran valor económico para el ser humano, además de ser fundamentales en la evolución del mismo en el aspecto alimenticio (Gore 2002; Pérez-Hernández 2010) y cultural (UTPL 2010).

Se concluye que el venado cola blanca es la especie de mamífero que tiene más historias y creencias en la comunidad de Santo Domingo Tonalá, así como la que más usos tiene. El programa de vigilancia que implementaron con el fin de conservarlo para seguir aprovechándolo ha tenido buenos resultados, lo que demuestra que a partir del conocimiento local se pueden plantear estrategias efectivas de conservación. Sin embargo, hace falta realizar una investigación etnozoológica específica para el venado cola blanca, con lo que podrían conocerse más historias, creencias y usos que tiene entre los pobladores de la comunidad para posteriormente contribuir con su manejo y darle continuidad al programa que, en base al conocimiento tradicional, se ha llevado a cabo de manera efectiva por las mismas personas.

Agradecimientos

Les agradecemos a las personas de la comunidad de Santo Domingo Tonalá que nos

apoyaron para realizar el estudio etnozoológico del cual emana el presente trabajo, por su disposición, amistad y compañía. Se agradece también al CIIDIR-IPN-Unidad Oaxaca y al Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), así como a los académicos de ambas instituciones de investigación y educativas, quienes dirigieron y apoyaron la realización del presente trabajo.



Figura 2. Formación rocosa que representa la parte posterior de un venado.

Literatura citada

- ANDRÉS-CRUZ, L.** 2008. Contribución al conocimiento del jaguar (*Panthera onca*) en áreas comunitarias protegidas de la región de la Chinantla, Oaxaca. Memoria de residencia profesional. Licenciatura en Biología. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México.
- ARGUETA-VILLAMAR, A.** 2008. Los saberes Púrhepecha: los animales y el diálogo con la naturaleza. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Ciudad de México, México.
- BRIONES-SALAS, M., y V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 2004. Mamíferos. Pp. 423-447 in Biodiversidad de Oaxaca (García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez, y M. Briones-Salas, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- CCG2.** 2012. En:http://http://ccg2.siap.gob.mx/oax/mun_20520_SANTODOMINGO_TONALA/

- DOF. Diario Oficial de la Federación.** 22 de septiembre del 2008. Consultado el 03 de noviembre del 2010
- GIJSBERS, W.** 2000. De cazadores a guarda-venados, rescate de fauna y flora en Santo Domingo Tonalá, Mixteca. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Ciudad de México, México.
- GORE, R.** 2002. Los albores de la humanidad: Primeros pasos. National Geographic en español, Edición especial verano: Los Orígenes del Hombre. Ciudad de México, México.
- GREBE, M. E.** 1975. Taxonomía de enfermedades mapuches. *Antropología* 2: 27-39.
- HORTELANO-MONCADA, Y., F. A. CERVANTES, Y A. TREJO.** 2009. Mamíferos silvestres. Pp. 277-293 in Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel (Lot, A., y Z. Cano-Santana, eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- HUNN, E.** 1993. What is Traditional Ecological Knowledge? Pp. 13-15 in *Traditional Ecological Knowledge: Wisdom for Sustainable Development* (Williams, N., y G. Baines, eds.). Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra, Australia.
- HUNN, E.** 2007. Ethnobiology in four phases. *Journal of Ethnobiology* 27:1-10.
- INEGI.** 2010. Portuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Santo Domingo Tonalá. En: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bise/mexicocifras/default.aspx>. Consultada el día 02 de noviembre del 2010.
- MARTIN, G. J.** 2001. Etnobotánica: Pueblos y Plantas 1, Manual de conservación. Editorial Nordan-Comunidad. World Wildlife Foundation. Montevideo, Uruguay.
- MIRANDA, A.** 1993. Manejo de fauna silvestre. *Ciencias* 7:103-110.
- MORALES, N.** s.f. Educando para la conservación de la vida silvestre. Programa de vida silvestre. ORMA- IUCN. Panamá.
- OLIVIER, G.** 1999. Los animales en el mundo prehispánico. *Revista Bimestral Arqueología Mexicana* 4:4-14.
- OVIEDO, G. (ed.).** 2002. *The Community Protected Natural Areas in the State of Oaxaca, Mexico.* World Wildlife Foundation. Gland, Switzerland.
- PÉREZ-GIL, R., F. JARAMILLO, A. M. MUÑIZ, Y M. G. TORRES.** 1995. Importancia económica de los vertebrados silvestres de México. PG7 Consultores, S. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- PÉREZ-HERNÁNDEZ, S.** 2010. Etno-arqueozoología de Cerro de las Minas, Huajuapán de León, Oaxaca, México. Informe de residencia profesional. Licenciatura en Biología, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México.
- RZEDOWSKI, J.** 1981. *Vegetación de México.* Editorial Limusa. Ciudad de México, México.
- SNIVELY, G. Y J. CORSIGLIA.** 2001. Rediscovering indigenous science: Implications for science education. *Science Education* 85:6-34.
- SOLÍS-ROJAS, L.** 2006. Etnoecología Cuicateca en San Lorenzo Pápalo, Oaxaca. Tesis de maestría, Biología Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, México.

- ULLOA, A., H. RUBIO, Y C. CAMPOS.** 1996. Trua Wuandra: Estrategias para el manejo de fauna con comunidades embera en el Parque Nacional Natural Utría, Chocó, Colombia. Orewa-Ministerio del Medio Ambiente, Fundación Natura. Bogotá, Colombia.
- ULLOA, A.** (ed.). 2002. Rostros culturales de la fauna: las relaciones entre los humanos y los animales en el contexto colombiano. Instituto Colombiano de Antropología e Historia-Fundación Natura. Caracas, Colombia.
- UTPL.** 2010. Guía Didáctica Ecología II, Anexo 5: Etnozoología. La Universidad Católica de Loja. En: <http://www.utpl.edu.ec/eva/descargas/material/140/HTUAAT81/G314403.pdf>. Consultado el día 26 de noviembre del 2010
- VALADEZ-AZÚA, R., A. BLANCO, B. RODRÍGUEZ, F. M. VINIEGRA, Y K. OLMOS.** 2003. La investigación etnozoológica y el estudio del cánido mesoamericano. Revista AMMVEPE 14:186-194.

Sometido: 17 de septiembre de 2012
Revisado: 29 de octubre de 2012
Aceptado: 8 de febrero de 2013
Editor asociado: Miguel Briones
Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Primer registro de alimentación oportunista de ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en la costa de Oaxaca, México

Francisco Villegas-Zurita^{1*} y Fátima Castillejos-Moguel¹

Abstract

We report the first record of opportunistic feeding behavior of one humpback whale during its winter migration through tropical waters off the central coast of Oaxaca, Mexico. Additionally, we recorded for the first time evidence of mixed feeding techniques, mainly consisting of lunging vertically, which is used in feeding grounds of the North Pacific and skimming lunge subsurface, which is used in feeding grounds of the South Pacific, with the latter one being specifically used for catching *Munida* sp. aggregations. The method described adds four new variants to the maneuver repertoire: 1) buzz prior to the prey capture, 2) type of targeted prey, Cupleiformes in this case, 3) emergence with the mouth closed, and 4) movement in the surface with the mouth closed. Based on the characteristics of this method we named it *subsurface lunge feeding with terminal buzz*. This is the southernmost feeding record that has been reported for the North Pacific humpback whales.

Key words: Feeding, Breeding grounds, Oaxaca, Tropical Pacific.

Resumen

Se documenta el primer registro de alimentación oportunista de ballena jorobada durante su migración invernal en aguas tropicales de la costa central de Oaxaca, México. Adicionalmente, por primera vez describe la evidencia de la mezcla de técnicas de alimentación usadas por ballenas jorobadas en zonas de alimentación del Pacífico Norte y Sur, específicamente la embestida vertical y la embestida de filtración sub-superficial, ésta última para la captura de congregaciones de *Munida* sp. El método aquí descrito agrega cuatro nuevas variantes en el repertorio de la maniobra: 1) el zumbido previo a la captura de presas, 2) el tipo de presas a capturar, Cupleiformes en este caso, 3) emerger con la boca cerrada y 4) desplazarse en la superficie con la boca cerrada. Con base en las características de éste método lo nombramos *embestida de alimentación sub-superficial con zumbido terminal*. Esta es la observación de alimentación oportunista más al sur que se ha documentado en ballenas jorobadas del Pacífico Norte.

Palabras clave: Alimentación, Oaxaca, Pacífico propical, zona de reproducción.

¹Instituto de Ecología, Universidad del Mar. Ciudad Universitaria s/n. Puerto Ángel Oaxaca, 70902, México. Email: fvillegas@angel.umar.mx (FVZ), castillejos_moguel@hotmail.com (FCM)

*Corresponding autor

Introducción

La ballena jorobada *Megaptera novaeangliae* habita en todas las cuencas oceánicas congregándose en tres áreas definidas (Clapham y Mead 1999). En el Hemisferio Norte se congrega en el Atlántico y Pacífico Norte, mientras que en el Hemisferio Sur se congrega en el Océano Austral. Como la mayoría de los mysticetos, las jorobadas realizan movimientos migratorios anuales entre sus áreas de alimentación en latitudes altas en zonas de alta productividad y sus áreas de reproducción y crianza en latitudes bajas (Clapham y Mead 1999; Winn y Reichley 1985; Fig. 1). Pueden ser observadas en el Pacífico Mexicano entre los meses de octubre y mayo, en sus tres áreas de congregación; la Península de Baja California, el Archipiélago de Revillagigedo y la Costa Continental de México (Urbán y Aguayo 1987).

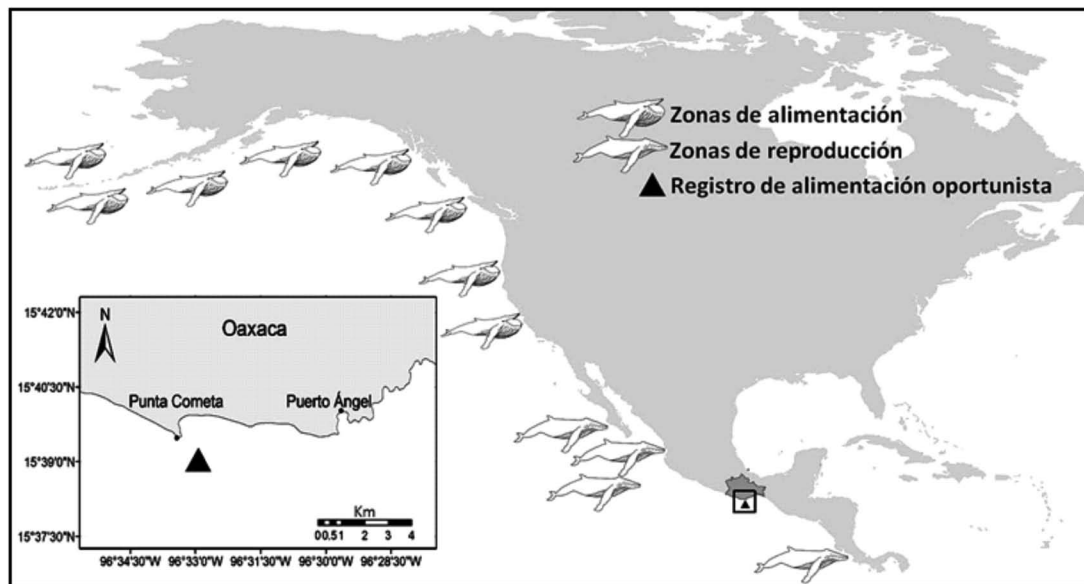


Fig. 1. Ubicación del registro de alimentación oportunista de *M. novaeangliae* en la costa central de Oaxaca y distribución de sus zonas de alimentación y reproducción en el Pacífico Norte.

Las jorobadas obtienen su alimento utilizando varios métodos, principalmente usan la formación de burbujas bajo la superficie y la embestida sin formación de burbujas (Hain *et al.* 1982; Acevedo *et al.* 2008). Pueden presentarse variaciones en el comportamiento de alimentación, relacionados con la edad y número de ballenas involucradas, así como a la distribución, densidad y tipo de presa (Kieckhefer 1992; Acevedo *et al.* 2008). Datos históricos y análisis de contenido estomacal indicaban que las ballenas no se alimentaban en zonas de reproducción o durante migraciones (Danilewicz *et al.* 2009). Sin embargo, se ha documentado que las ballenas pueden alimentarse de forma oportunista cuando las presas están disponibles durante la migración (Johnston *et al.* 2007). Los eventos de alimentación registrados en áreas de reproducción y zonas de tránsito son pocos y ocasionales y abarcan desde Hawái (Salden 1990), Virginia (Swingle *et al.* 1993), República Dominicana (Braff *et al.* 1991), Australia (Stockin y Burgess 2005), Brasil (Danilewicz *et al.* 2009; Pinto de Sá Alves *et al.* 2009) y el Estrecho de Magallanes, Chile (Acevedo *et al.* 2011). En zonas de reproducción del Pacífico Mexicano este comportamiento ha sido poco documentado. Existen registros de ballenas jorobadas alimentándose ocasionalmente en aguas del Golfo de California (Gendron y Urbán 1993) y recientemente durante la migración invernal 2011-2012 en la zona

de reproducción de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit (comunicación personal, Astrid Frish Jordán, Marzo de 2012, Ecología y Conservación de Ballenas A. C. ECOBAC, Arce #541 Puerto Vallarta, Jalisco, México).

El comportamiento de alimentación oportunista fue observado en un individuo entre las 10:18 y 10:56 horas del 17 de marzo de 2012, durante un recorrido de investigación (foto-identificación de ballenas jorobadas en la costa central de Oaxaca durante la temporada invernal 2011-2012), en una embarcación de 6 m de eslora con motor fuera de borda de 60 hp. El sitio de observación fue a 1.3 km de Punta Cometa, al noroeste de Puerto Ángel (15.648528° N, -96.549056° W). La temperatura del agua registrada en el sitio fue de 27°C. En la zona donde se observó a la ballena alimentándose también se registró la presencia de gran variedad de especies marinas como tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), serpiente marina (*Pelamis platurus*), bobo café (*Sula leucogaster*), mantas (*Mobula japonica*) y ejemplares jóvenes de dorado saltando en la superficie (*Coryphaena hippurus*). Así como peces pequeños formando cardúmenes, de los cuales se alimentaba la ballena y que pescadores locales conocen como anchovetas (Cupleiformes). La identificación de dichas especies se realizó mediante registros fotográficos previos, durante y posteriores al evento y su comparación con claves especializadas, además de tener registros constantes de ellas durante los monitoreos de ballena jorobada.

La longitud aproximada del individuo fue estimada visualmente en 11 m y los tubérculos del rostro se observaron con la piel raspada, su tamaño indica que sea un subadulto y el estado de sus tubérculos que era macho, dado que estas lesiones en tubérculos se deben a las agresiones entre los machos en grupos de competencia. La maniobra de alimentación se observó dos veces en el mismo individuo y sólo una pudo ser documentada por fotografías con cámaras digitales Canon T2i con lentes de 75-300 mm. Para determinar los tiempos de las secuencias durante la maniobra de alimentación, se utilizó la información de las propiedades de imagen JPEG de cada fotografía.

Al avistar la ballena, se hicieron maniobras de acercamiento para tomar fotografías de la superficie ventral de la aleta caudal con la finalidad de ser incluida en el Catálogo de Foto-Identificación de Ballena Jorobada en la Costa Central de Oaxaca (Catálogo FIBCCO).

Durante este procedimiento, el individuo mostró comportamiento activo en superficie, con desplazamientos erráticos cortos y buceo profundo, a una distancia aproximada de 35 metros de la plataforma de observación. El comportamiento de alimentación comenzó con una respiración e inmediata inmersión sin mostrar aleta caudal. A los 18 segundos, próxima a la huella, de buceo la ballena produjo un sonido fuerte como un zumbido durante tres a cuatro segundos, mismo que se escuchó claramente desde el puesto de observación. Este sonido provocó instantáneamente la salida de peces a la superficie formando una línea de aproximadamente 15 metros de longitud, los que avanzaron en dirección opuesta a la huella de buceo. Posteriormente, emergió la ballena horizontalmente en la misma dirección de los peces y lentamente avanzó aproximadamente 9 metros en línea recta con la boca cerrada, mostrando solamente en la superficie los orificios nasales hasta la base posterior de la aleta dorsal (Figura 2).

Siete segundos después, el individuo se sumergió cerca de la embarcación y finalmente, 49 segundos después realizó un nuevo soplo, seguido de un buceo profundo

mostrando su aleta caudal, lo que permitió tomar fotografías de la aleta, la cual fue ingresada al catálogo FIBCCO, con la clave de identificación 5OAX012.12FV1.



Fig. 2. Ballena jorobada emergiendo horizontalmente y desplazándose en esta posición en línea recta para finalizar la maniobra de alimentación. La flecha en blanco indica la huella de buceo o inicio de la maniobra y la negra el remanente de la línea de anchovetas (Cupleiformes).

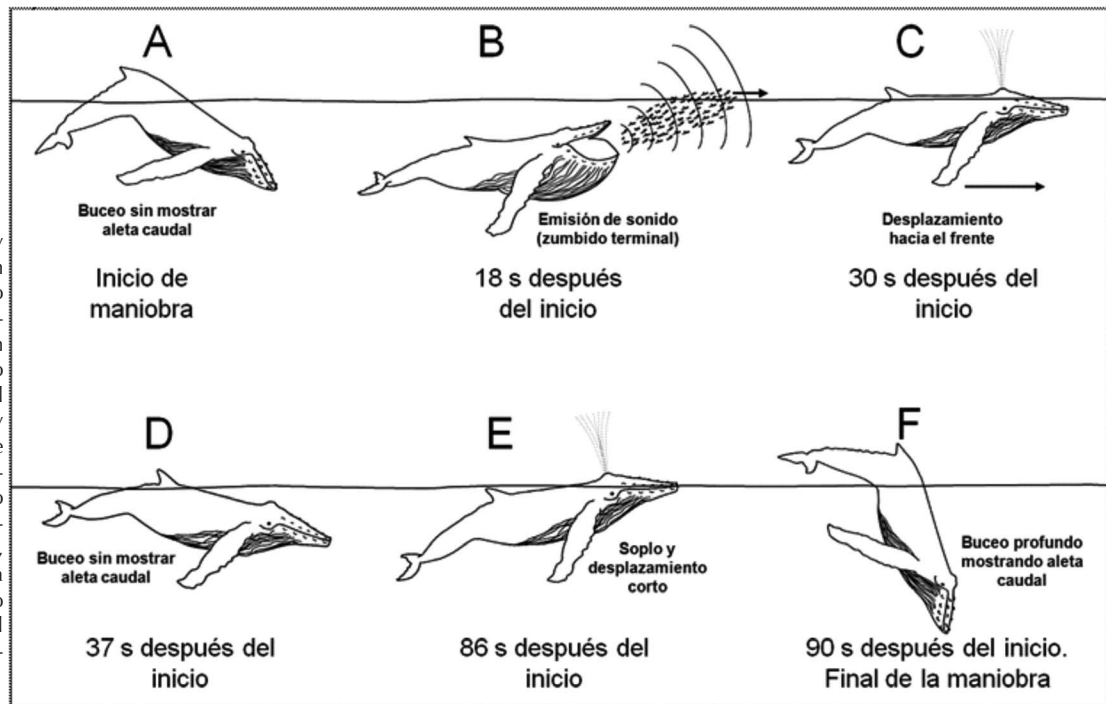
El comportamiento descrito es una mezcla entre las técnicas de alimentación de embestida vertical y la de embestida de filtración sub-superficial, ésta última descrita recientemente por Acevedo *et al.* (2011) como un comportamiento de alimentación regional para el Estrecho de Magallanes y considerado como un nuevo comportamiento para ballenas jorobadas en el Pacífico Sur. La técnica de embestida de filtración sub-superficial es específica para la captura de congregaciones de langostilla (*Munida* sp.) mediante filtración sub-superficial, en la cual la ballena se desplaza debajo de la superficie con la boca abierta para la captura de alimento previo a un buceo sin mostrar aleta caudal y concluye con varios soplos en la superficie (Acevedo *et al.* 2011).

El método de alimentación observado en la costa de Oaxaca se registra por primera ocasión, por lo que con base en sus características lo nombramos *embestida de alimentación sub-superficial con zumbido terminal*. El método aquí descrito agrega cuatro nuevas variantes en el repertorio de la maniobra; el zumbido previo a la captura de presas, el tipo de presas a capturar (peces en este caso), emerger con la boca cerrada y desplazarse en la superficie con la boca cerrada (Fig. 3). Es posible entonces que este comportamiento sea una mezcla de métodos de alimentación aprendidos y empleados por las ballenas en sus zonas de alimentación, que pueden ser adaptados de acuerdo al contexto ambiental u oportunidad de atrapar presas.

Se ha sugerido que la alimentación oportunista se presenta como consecuencia de actividades energéticamente costosas, como las migraciones prolongadas, la reproducción y la crianza, que provocan un decremento de las reservas de grasa por la alta demanda de energía (Read 2001). Debe considerarse también que la actividad de alimentación en rorcuales (Balaenopteridae) tiene un alto costo energético, principalmente por la profundidad de buceo asociado a los patrones de respiración y por el número de

embestidas durante la captura de presas (Acevedo-Gutiérrez 2002; Goldbogen 2008). Provocando el aprovechamiento en la abundancia de presas disponibles durante su migración de retorno hacia áreas de alimentación en altas latitudes y además, realice buceos sub-superficiales como una estrategia de bajo costo energético. Respecto a la estrategia de emerger con la boca cerrada, se ha sugerido que ballenas solitarias pueden utilizar cualquiera de varios comportamientos posibles, como un esfuerzo para concentrar o evitar la dispersión de presas (Hays *et al.* 1985).

Fig. 3. Secuencia y tiempo transcurrido en segundos, del método de embestida de alimentación sub-superficial con zumbido terminal: Buceo sin mostrar aleta caudal (A), zumbido terminal y formación de la línea de anchovetas en la superficie (B), desplazamiento de la ballena hacia adelante en la superficie (C), buceo sin mostrar aleta caudal (D), nuevo soplo en superficie (E) y final de la maniobra con buceo profundo (F).



Son pocas las observaciones de misticetos que han relacionado la producción de sonidos específicos con comportamientos particulares, especialmente dentro del agua (Stimpert *et al.* 2007). En ballenas jorobadas se ha establecido una clara relación de las vocalizaciones con el tamaño de grupo y la actividad en superficie, asociado con la dominancia en grupos de tres o más ballenas y raramente se presentan en individuos solitarios, parejas o madres con cría (Silber 1986). Estos sistemas de comunicación acústica están asociados comúnmente al comportamiento reproductivo y a llamados de cooperación alimenticia (D'Vincent *et al.* 1985). Recientemente se han recabado evidencias de la producción de sonidos durante la alimentación en ballenas jorobadas del Pacífico Norte llamados megapclicks, los que se producen cerca de la huella de buceo y concluyen en un zumbido terminal inmediatamente antes de la embestida y captura de peces en la superficie (Stimpert *et al.* 2007). Este zumbido terminal previo a la embestida y captura de peces coincide con la secuencia de alimentación descrita en este trabajo y puede estar relacionado a la ubicación, concentración y aturdimiento de presas.

Este trabajo representa el primer evento documentado de alimentación oportunista de ballena jorobada durante su migración anual por la costa central de Oaxaca, México y el registro de alimentación más al sur que se ha documentado en ballenas jorobadas del Pacífico Norte. Además, se reporta por primera vez la producción de sonido previo

a la embestida sub-superficial, como parte del repertorio del comportamiento descrito por Acevedo *et al.* (2011), lo que se puede considerar una variante para la captura de peces Cupleiformes que nombramos *embestida de alimentación sub-superficial con zumbido terminal*. Con ello, se aporta un nuevo registro sobre el comportamiento de alimentación oportunista de ballenas jorobadas durante su migración de retorno a zonas de alimentación en el Pacífico Norte.

Agradecimientos

Los autores agradecen a L. García y A. Fajardo por el apoyo con la embarcación y el trabajo de campo. A E. F. Alquicira por la revisión del manuscrito, a K. Reusch por la revisión del resumen en inglés y a los revisores anónimos que mejoraron la calidad de este trabajo.

Literatura citada

- ACEVEDO, J., A. AGUAYO-LOBO, Y J. PLANA. 2008. Conducta de alimentación de la ballena jorobada en la Península Antártica. Especial cetáceos Antárticos. Boletín Antártico Chileno 27:21-22.
- ACEVEDO, J., J. PLANA, A. AGUAYO-LOBO, Y L. A. PASTENE. 2011. Surface feeding behavior of humpback whale in the Magellan Strait. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 46:483-490.
- ACEVEDO-GUTIÉRREZ, A., D. A. CROLL, Y B. R. TERSHY. 2002. High feeding costs limit dive time in the largest whales. *The Journal of Experimental Biology* 205:1747-1753.
- BRAFF, L. S., P. J. CLAPHAM, D. K. MATTILA, Y R. S. BOWMAN. 1991. Feeding behavior of a humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) in low-latitude waters. *Marine Mammal Science* 7:197-202.
- CLAPHAM, P. J., Y J. G. MEAD. 1999. *Megaptera novaeangliae*. *Mammalian Species* 604:1-9.
- DANILEWICZ, D., M. TAVARES, I. M. BENITES, P. O. HENRIQUE, Y C. T. CAMPOS. 2009. Evidence of feeding by the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) in mid-latitude waters of the western South Atlantic. *Marine Biodiversity Records* 2:1-2.
- D'VINCENT C. G., R. M. NILSON, Y R. E. HANNA. 1985. Vocalization and coordinated feeding behavior of the humpback whale in southeast Alaska. *The Scientific Reports of the Whales Research Institute* 36:41-47.
- GENDRON, D., Y J. URBÁN. 1993. Evidence of feeding by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Baja California breeding ground, Mexico. *Marine Mammal Science* 9:76-81
- GOLDBOGEN, J. A., J. CALAMBOKIDIS, D. A. CROLL, J. T. HARVEY, K. M. NEWTON, E. M. OLESON, G. SCHORR, Y R. E. SHADWICK. 2008. Foraging behavior of humpback whales: Kinematic and respiratory patterns suggest a high cost for a lunge. *The Journal of Experimental Biology* 211:3712-3719.
- SILBER, G. K. 1986. The relationship of social vocalizations to surface behavior and aggression in the Hawaiian humpback whale (*Megaptera novaeangliae*). *Canadian Journal of Zoology* 64:2075-2080.

- HAIN, J. H. W., G. R. CARTER, D. S. KRAUS, A. C. MAYO, Y H. E. WINN.** 1982. Feeding behavior of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, in the Western North Atlantic. *Fishery Bulletin* 80:259-268.
- HAYS, H. E., H. E. WINN, Y R. PETRICIG.** 1985. Anomalous Feeding Behavior of a Humpback Whale. *Journal of Mammalogy* 66:819-821.
- JOHNSTON, D. W., M. E. CHAPLA, L. E. WILLIAMS, Y D. K. MATTILA.** 2007. Identification of humpback whale *Megaptera novaeangliae* wintering habitat in the Northwestern Hawaiian Islands using spatial habitat modeling. *Endangered Species Research* 3:249-257.
- KIECKHEFER, T. R.** 1992. Feeding ecology of humpback whale in continental shelf water near Cordell Bank, California. Thesis of Master in Sciences. San José, EE.UU.
- PINTO DE SÁ ALVES, L. C., A. ANDRIOLO, A. ZERBINI, J. L. ALTMAYER, Y P. J. CLAPHAM.** 2009. Record of feeding by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in tropical waters off Brazil. *Marine Mammal Science* 25:416-419.
- READ, A. J.** 2001. Trends in the maternal investment of harbor porpoises are uncoupled from the dynamics of their primary prey. *Proceedings of the Royal Society of London, Biological Sciences* 268:573-577.
- SALDEN, D. R.** 1990. Apparent feeding by a sub-adult humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) off Maui, Hawaii. *Hawaii Whale Research Foundation Reports* 4:4.
- STIMPERT, A. K., D. N. WILEY, W. W. L. AU, M. P. JOHNSON, Y R. ARSENAULT.** 2007. 'Megapclicks': acoustic click trains and buzzes produced during night-time feeding of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Biology Letters* 3:467-470.
- STOCKIN, K. A., Y E. A. BURGESS.** 2005. Opportunistic feeding of an adult humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) migrating along the coast of southeastern Queensland, Australia. *Aquatic Mammals* 31:120-123.
- SWINGLE, W. M., S. G. BARCO, T. D. PITCHFORD, W. A. MCLELLAN, Y D.A. PABST.** 1993. Appearance of juvenile humpback whales feeding in the near shore waters off Virginia. *Marine Mammal Science* 9:309-315.
- URBÁN, J., Y A. AGUAYO L.** 1987. Spatial and seasonal distribution of the Humpback Whale, *Megaptera novaeangliae*, in the Mexican Pacific. *Marine Mammal Science*, 3:333-344.
- WINN, H. E., Y N. E. REICHLEY.** 1985. Humpback whale, *Megaptera novaeangliae* (Borowski, 1781). Pp. 241-273 in *Handbook of Marine Mammals* (Ridgway, H., y R. Harrison, eds.). The Sirenians and Baleen Whales Vol. 3, Academic Press, Londres. Reino Unido.

Sometido: 28 de noviembre de 2012

Revisado: 23 de enero de 2013

Aceptado: 8 de marzo de 2013

Editor asociado: Juan Pablo Gallo

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Diversidad de murciélagos en cuatro tipos de bosque de la Sierra Norte de Oaxaca, México

Jaime M. Calderón-Patrón^{1,2*}, Miguel Briones-Salas¹ y Claudia E. Moreno²

Abstract

The Sierra Norte is the region with the highest wildlife species richness in the state of Oaxaca. However, there is very little published information about the mammal fauna in some areas of this region. In this paper, we describe bat communities in four forest types of the municipality of Ixtlán de Juárez: tropical humid forest (THF), tropical dry forest (TDF), pine-oak forest (POF) and mountain cloud forest (MCF). The objective is to compare species richness and diversity of bat communities, as well as species compositional similarity among forest types. We captured 22 bat species; *Sturnira hondurensis* was the most abundant species in the region. The highest species richness and diversity was recorded in the THF, followed by the TDF and POF, while the bat community of the MCF had the lower number of species. Moreover, given its high richness, the THF was less similar in species composition regarding the other forest types. However, it is still necessary to invest more sampling effort in this region in order to have more complete bat inventories.

Key words: Chiroptera, ensembles, Ixtlán, Oaxaca, similarity.

Resumen

La región de la Sierra Norte del estado de Oaxaca es la más rica en fauna silvestre, sin embargo, existen pocos trabajos publicados que traten acerca de la mastofauna de algunos sitios de esta zona, aunado a un conocimiento pobre de la quiropterofauna presente en algunos tipos de vegetación, por esta razón, en este trabajo se describen las comunidades de murciélagos en cuatro tipos de bosque del municipio de Ixtlán de Juárez: bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque de pino-encino (BPE) y bosque mesófilo de montaña (BMM). El objetivo del estudio fue comparar la riqueza y diversidad de las comunidades de murciélagos, así como la similitud en la composición de especies entre los distintos bosques. Se registraron 22 especies de murciélagos, *Sturnira hondurensis* resultó la especie más abundante en la región. La mayor riqueza y diversidad se registró en el BTP, seguido del BTC y el BPE, en tanto que la comunidad de murciélagos del BMM resultó ser la más pobre en especies. Por su elevada riqueza, el BTP tiene la menor similitud en composición de especies con

¹ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Hornos 1003, Oaxaca, 71230. E-mail: mbriones@ipn.mx (MB-S).

² Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184. E-mail: entropiajaim@yahoo.com (JMC-P); cmoreno@uaeh.edu.mx (CEM).

*Corresponding author

respecto a los otros tipos de bosque. Sin embargo, es necesario invertir mayor esfuerzo de muestreo en la zona para completar los inventarios de la quiropteroфаuna.

Palabras clave: ensambles, Ixtlán, Oaxaca, quiróptera, similitud.

Introducción

El estado de Oaxaca es una de las entidades del país que cuentan con la diversidad biológica más elevada de México, junto con los estados de Chiapas y Veracruz (García-Mendoza *et al.* 2004; Koleff *et al.* 2008). Esto se debe a su gran heterogeneidad ambiental y a que en su territorio convergen las regiones Neártica y Neotropical. Estos factores permiten la presencia de 378 anfibios y reptiles (Casas-Andreu *et al.* 2004), 736 especies de aves (Navarro *et al.* 2004) y 192 mamíferos, de los cuales 84 son murciélagos (Briones-Salas y Sánchez-Cordero 2004; García-García y Santos-Moreno 2008). Recientemente los estudios sobre mamíferos en el estado se han incrementado notablemente, lo que se ha visto reflejado en un mejor conocimiento de la riqueza, distribución e historia natural de este orden en esta entidad (e.g. Briones-Salas 2000; Briones-Salas 2001; Briones-Salas y Sánchez-Cordero 2004; Lira-Torres *et al.* 2005; Alfaro *et al.* 2006; Pérez-Lustre *et al.* 2006; Botello *et al.* 2008; Olgún-Monroy *et al.* 2008; López *et al.* 2009; Barragán *et al.* 2010; Santos-Moreno y Ruíz-Velásquez 2011; Briones-Salas *et al.* 2012; Buenrostro-Silva *et al.* 2012; González-Pérez y Briones-Salas 2012).

De manera particular, el estudio sobre comunidades de murciélagos también ha sido de interés en estos últimos años, ya que se ha documentado que existen diferencias marcadas en la diversidad y composición de los quirópteros en diferentes ambientes (Chávez y Ceballos 2001). En el estado de Oaxaca se ha descrito la diversidad de murciélagos en diferentes tipos de vegetación (Rojas-Martínez y Valiente-Banuet 1996; Sánchez-Cordero 2001; Briones-Salas *et al.* 2005; García-García y Santos-Moreno 2008; Santos-Moreno *et al.* 2010a, b). La mayor diversidad se ha registrado en bosques tropicales perennifolios, bosque tropical caducifolios y matorrales xerófilos, aunque en algunos casos también en bosques de coníferas (Sánchez-Cordero 2001; García-García y Santos-Moreno 2008).

En el estado de Oaxaca, la Sierra Norte dentro de la subprovincia fisiográfica Sierra Madre de Oaxaca (Ortíz-Pérez 2004), es la zona con mayor riqueza faunística (González-Pérez *et al.* 2004). Su riqueza mastofaunística incluye a todos los órdenes registrados para Oaxaca (Briones-Salas y Sánchez-Cordero 2004; Lira-Torres *et al.* 2006) y es la segunda región estatal de mayor riqueza (después del Istmo de Tehuantepec), con 196 especies y subespecies, de las cuales 69 son murciélagos (Briones-Salas y Sánchez-Cordero 2004).

Las publicaciones sobre mamíferos en general y de murciélagos en particular de la Sierra Norte son escasas. Monteagudo-Sabaté y León-Paniagua (2002) analizan la riqueza de mamíferos en diferentes sitios de montaña del país en el que se incluyen cuatro pertenecen a la Sierra Norte de Oaxaca. El sitio con mayor riqueza de murciélagos fue el bosque tropical perennifolio con 31 especies, seguido de un sitio cubierto por bosque tropical perennifolio y bosque mesófilo de montaña (15 especies), un sitio con bosque mesófilo (7) y finalmente un sitio con bosque mesófilo y bosque de pino-encino (1).

Briones-Salas *et al.* (2001) registraron 54 especies de murciélagos, con la mayor

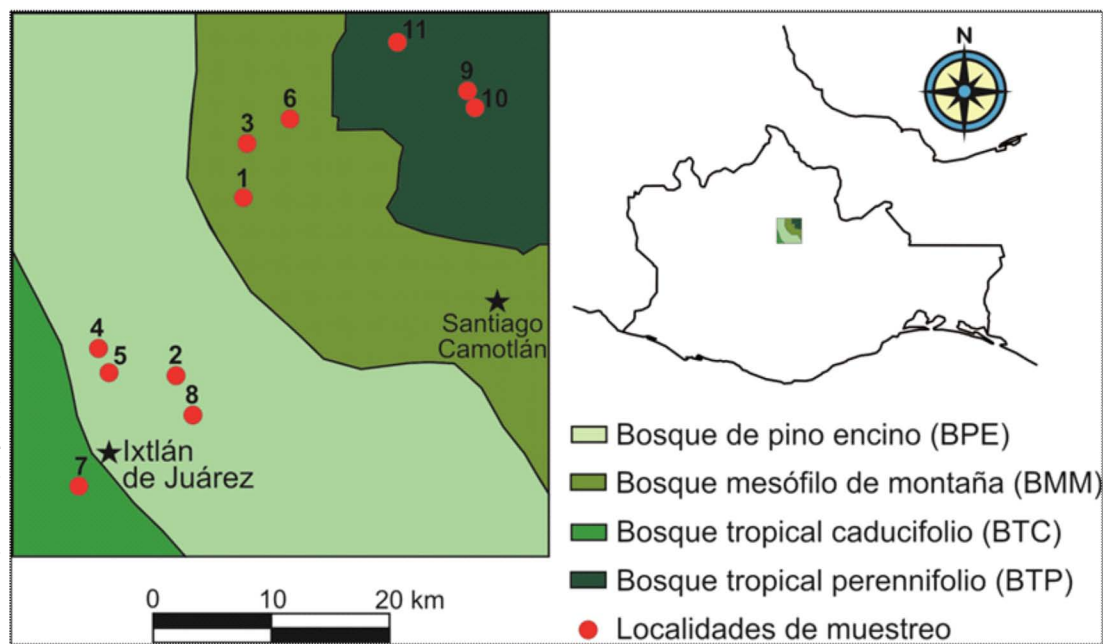
riqueza (37 especies) en el bosque tropical perennifolio, seguido del matorral xerófilo (23), mientras que el bosque mesófilo (3) y el pastizal (1) presentaron la menor riqueza.

Dentro de esta misma región, pero en la zona de la Chinantla (municipios de Santiago Jocotepec y Ayotzintepec) con bosque tropical subperennifolio se registraron 17 especies (Alfaro et al. 2006). Estos resultados muestran que a nivel local hay una gran variación en la distribución espacial de las especies de murciélagos en la región, y por lo tanto, para conocer con mayor detalle la composición de la fauna de quirópteros de la Sierra Norte del estado de Oaxaca, es necesario cuantificar de forma más detallada la diversidad de las comunidades que habitan en los diferentes tipos de vegetación. El objetivo de este trabajo fue estudiar las comunidades de murciélagos en cuatro tipos de bosque con estructuras y condiciones ambientales contrastantes de la Sierra Norte de Oaxaca, comparando su riqueza y diversidad, así como sus similitudes en la composición de especies.

Material y Métodos

Área de estudio. Este trabajo se realizó en el municipio de Ixtlán de Juárez, perteneciente a la Sierra Norte del estado de Oaxaca (Fig. 1). Este municipio se encuentra a 61 km al norte de la ciudad de Oaxaca. Sus límites geográficos son: 17.3044° N y 17.5666° N, -96.5272° W y -96.3333° W (Montes 1996). Esta región posee una topografía muy accidentada, con un amplio gradiente altitudinal que va de los 200 a los 3,100 msnm.

Figura 1. Mapa del área de estudio en la Sierra Norte de Oaxaca. Se muestran las localidades de muestreo de murciélagos y los tipos de vegetación. Los números de las localidades corresponden con las contenidas en la Tabla 1.



Posee siete tipos de vegetación: bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, bosque tropical perennifolio, matorral espinoso y pradera subalpina (Montes 1996). La precipitación y la temperatura varían a través del gradiente altitudinal y de los diferentes tipos de vegetación. La parte más seca, que corresponde a bosque tropical caducifolio, posee un promedio de precipitación anual de 700 mm anuales y una temperatura promedio de 19° C. En el bosque de pino la precipitación promedio es de 1,058 mm y la temperatura es de 16.1° C, y en la parte

más alta llega a 10° C en promedio. En la zona más húmeda, con bosque tropical perennifolio, la precipitación aumenta hasta llegar a 6,000 mm anuales y la temperatura promedio es de 24° C (Montes 1996).

Muestreo de murciélagos. Se realizaron diez periodos de muestreo entre julio de 1997 y noviembre de 1998, en once localidades de la Sierra Norte de Oaxaca (Tabla 1), abarcando cuatro tipos de vegetación: bosque tropical perennifolio (BTP), bosque tropical caducifolio (BTC), bosque mesófilo de montaña (BMM) y bosque de pino-encino (BPE). Los ejemplares se capturaron con redes de niebla de 12 metros de longitud por 2.5 metros de alto que se colocaron a nivel de suelo en veredas, túneles entre la vegetación y al lado de cuerpos de agua. En promedio se realizaron tres noches de muestreo por periodo, usando de dos a cinco redes por noche. El esfuerzo de colecta se midió mediante el método de metros/red/hora (Tabla 2). A cada individuo capturado se le tomaron las medidas convencionales para murciélagos y datos reproductivos. Las especies se identificaron de acuerdo a las claves de Goodwin (1969), Hall (1981), Álvarez *et al.* (1994) y Medellín *et al.* (1997). La nomenclatura taxonómica de las especies se actualizó con base a Ramírez-Pulido *et al.* (2005). Los ejemplares que fueron sacrificados se prepararon por medio de taxidermia y se depositaron en la Colección Mastozoológica (OAXMA-043; Briones-Salas *et al.*, 2006; Apéndice 1) del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (permiso de colecta FAUT-0037 otorgado a Miguel Briones-Salas). **Análisis de datos.** La diversidad de murciélagos para cada tipo de bosque se calculó

Número	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud	Vegetación
1	1.8 Km N de la Luz	17.5151	-96.3855	1500	BMM
2	Rha-nita 13.1 Km N Ixtlán	17.3861	-96.4361	2840	BPE
3	Cueva de Sarmiento, 3.6 Km N de La Luz	17.5561	-96.3816	2200	BMM
4	Loma del Muerto, 8.3 Km N de Ixtlán	17.4083	-96.4961	2820	BPE
5	Latzi-Ru-Etze, 12.15 Km N de Ixtlán	17.3900	-96.4888	2800	BPE
6	Rancho Tarabundí, 7.25 Km NNW de Ixtlán	17.5697	-96.3483	1200	BMM
7	Río Grande 2.3 Km SW de Guelatao	17.3055	-96.5122	1500	BTC
8	El Arco, 5.5 Km NE de Ixtlán	17.3563	-96.4236	2520	BPE
9	La Bóveda, 1.0 Km NE de Los Reyes Yagalaxi	17.5927	-96.2088	680	BTP
10	Arroyo Canastos, 1 Km SE Los Reyes Yagalaxi	17.5794	-96.2083	440	BTP
11	Laa-dú, 10.6 Km SW Los Reyes Yagalaxi	17.6251	-96.2652	360	BTP

Tabla 1. Coordenadas geográficas y tipo de vegetación de las localidades de muestreo de murciélagos en la Sierra Norte de Oaxaca. Los números de las localidades refieren su ubicación en la Fig. 1. BMM = Bosque mesófilo de montaña, BPE = Bosque de pino-encino, BTC = Bosque tropical caducifolio, BTP = Bosque tropical perennifolio

mediante la fórmula:

$$qD = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

donde p_i es la abundancia de la especie i dividida entre la suma total de abundancias de las S especies que integran la comunidad, y el exponente q es el orden de la diversidad (Jost 2006). El exponente q determina la influencia de las abundancias relativas de las especies en el índice de diversidad; es decir, la influencia que pueden tener las especies comunes o las especies raras en la medida de la diversidad. Para este trabajo, la diversidad se calculó con tres valores de q : 0, 1 y 2. Con $q = 0$ la diversidad es de orden cero (0D) y no considera las abundancias de las especies, por lo que equivale

a la riqueza de especies. Con $q = 1$ todas las especies son incluidas con un peso exactamente proporcional a su abundancia en la comunidad, y el índice de diversidad (1D) es el exponencial del índice de entropía de Shannon, mientras que con $q = 2$ el índice de diversidad (2D) es el inverso del índice de Simpson, que considera a las especies comunes y excluye a las raras (Jost 2006; Moreno et al. 2011). De esta manera, la diversidad se mide en número de especies efectivas, que es el número de especies que tendría una comunidad virtual en la que todas las especies fueran igualmente comunes, conservando la abundancia relativa promedio de la comunidad estudiada (Jost 2006). Una de las características más importantes del número de especies efectivas es que permite evaluar directamente la magnitud de cambio entre comunidades (Jost 2006; García Morales et al. 2011; Moreno et al. 2011).

Tabla 2. Esfuerzo de captura desplegado en cada uno de los bosques del municipio de Ixtlán, BPE: Bosque de pino-encino, BTP=Bosque tropical perennifolio, BTC=Bosque tropical caducifolio, BMM=Bosque mesófilo de montaña.

	BPE	BTP	BTC	BMM	TOTAL
REDES	26	36	21	11	94
METROS/RED	312	432	252	132	1128
HORAS ACUMULADAS	108	111	72	54	345
NOCHES	9	11	6	5	31
METROS/RED/HORA	3744	4428	3024	1440	12636

Además de calcular la diversidad de murciélagos con base en los individuos capturados, se utilizaron modelos que permiten estimar la diversidad total de las comunidades, debido a que el esfuerzo de muestreo invertido en algunos bosques en este trabajo fue limitado (Tabla 2). Para la riqueza de especies o 0D , se utilizó el estimador no-paramétrico ACE (*Abundance-based Coverage Estimator*; Chao y Lee 1992). Para estimar 1D se utilizó un estimador del índice de Shannon propuesto para casos donde no se tiene un conocimiento completo de la comunidad (MLE Maximun Likelihood Estimator; Chao y Shen 2003), al igual que para 2D . Todos estos estimadores y su error estándar fueron calculados mediante el programa SPADE (Chao y Shen 2010).

La determinación de la similitud en la composición de especies entre los diferentes tipos de bosque fue obtenida utilizando los índices de similitud derivados de la diversidad beta, con los mismos tres valores de q usados en el cálculo de la diversidad. Estas medidas de similitud se obtuvieron con el paquete Vegetarian del programa R (R Development Core Team 2010). Posteriormente, los valores de similitud se utilizaron para graficar la posición relativa de los tipos de bosque en función de su similitud en la composición de especies de murciélagos, mediante un análisis de ordenación no paramétrico (NMDS) en el programa Past (Hammer et al. 2001).

Resultados

Se capturaron en total 221 individuos pertenecientes a 22 especies de murciélagos, dos familias y 18 géneros (Tabla 3). La familia Phyllostomidae suele ser más importante en cuanto a número de especies e individuos en los bosques Neotropicales, y en este trabajo esto fue corroborado, debido a que representó el 86.4 % de las especies con 19, mientras que la familia Vespertilionidae representó el 13.6 % con tres especies. *Glossophaga morenoi* y *Baeodon alleni* son especies endémicas de México, mientras que de *Leptonycteris nivalis* se conocen pocas capturas en la región y se considera amenazada

(NOM-059-ECOL-2010; SEMARNAT 2010). Se observaron dos especies muy abundantes: *Sturnira hondurensis* y *Dermanura tolteca*, con 90 y 33 individuos respectivamente, que representan el 40.72 y 14.93 % del total de los individuos, por lo que estas dos especies representan el 55.65 % del total de las capturas.

Con las tres medidas de diversidad con los tres valores de q utilizados el BTP tuvo la

Familia	Subfamilia	Especie	
Phyllostomidae	Desmodontinae	<i>Desmodus rotundus</i>	
		Phyllostominae	<i>Trachops cirrhosus</i>
			<i>Phyllostomus discolor</i>
	<i>Lophostoma brasiliense</i>		
	Glossophaginae		<i>Anoura geoffroyi</i>
		<i>Glossophaga commissarisi</i>	
		<i>Glossophaga morenoi</i>	
		<i>Hylonycteris underwoodi</i>	
		<i>Leptonycteris nivalis</i>	
	Carollinae	<i>Carollia sowelli</i>	
	Stenodermatinae	<i>Artibeus jamaicensis</i>	
		<i>Artibeus lituratus</i>	
		<i>Centurio senex</i>	
		<i>Chiroderma salvini</i>	
		<i>Dermanura azteca</i>	
		<i>Dermanura tolteca</i>	
		<i>Platyrrhinus helleri</i>	
<i>Sturnira hondurensis</i>			
Vespertilionidae	Myotiinae	<i>Myotis keaysi</i>	
		<i>Myotis nigricans</i>	
	Vespertilioninae	<i>Baeodon alleni</i>	

Tabla 3. Lista taxonómica de murciélagos capturados en la Sierra Norte de Oaxaca.

mayor diversidad de murciélagos, seguido del BTC y el BPE, mientras que el bosque con la menor diversidad fue el BMM (Fig. 2). La mayor diferencia en riqueza fue de 11 especies, entre el BTP (15 especies) y el BMM (4 especies; Fig. 2a). Sin embargo, entre el resto de los bosques las diferencias en riqueza no fueron tan marcadas, debido a que entre el BTC y el BMM la diferencia fue de dos especies y entre el BTC y el BPE y entre el BPE y el BMM sólo una especie. La riqueza de especies observada en el BTP representa el 46% de la riqueza esperada en ese tipo de bosque, de acuerdo con el estimador ACE, en el BTC el 59%, en el BPE el 86% y en el BMM el 87% (Fig. 2a). En el caso de la diversidad de orden 1, el BTC y el BPE albergan el 57% y 47%, respectivamente, en comparación con el BTP, mientras que el BMM alberga el 27% (Fig. 2b). La diferencia en diversidad entre el BTP y el BMM fue de 6.68 especies efectivas. La diversidad de orden 2 varió de 1.06 especies efectivas en el BMM a 6.04 especies efectivas en el BTP (Fig. 2c). La diversidad observada representa en promedio el 87.03% de la diversidad

estimada de orden 1, y el 92.30% de la diversidad estimada de orden 2.

La similitud en la composición de especies de murciélagos entre los cuatro tipos de bosque cambia según el índice utilizado. Con $q = 0$ (similitud basada en presencia-ausencia de las especies, sin considerar su abundancia) el BTP es el bosque que más se diferencia del resto por su composición de especies, con una similitud de 20% con el BPE (Fig. 3a). Tomando en cuenta tanto la riqueza como la abundancia de cada una de las especies en las comunidad ($q = 1$), los bosques se ubican a distancias similares según su similitud en composición de especies: BTP-BPE = 39%, BTC-BPE = 72%, BMM-BPE = 70%, BTC-BTP = 50%, BMM-BTC = 57% y BMM-BTP = 43% (Fig. 3b). Si se considera con mayor peso a las especies dominantes ($q = 2$) hay una alta similitud en la composición del BTC y el BPE (91%), BMM-BPE = 80% y BMM y BTC = 75%, mientras que el BTP se diferencia claramente de los demás: BTP-BPE = 41%, BTP-BTC = 49%, BTP-BMM = 40% (Fig. 3c).

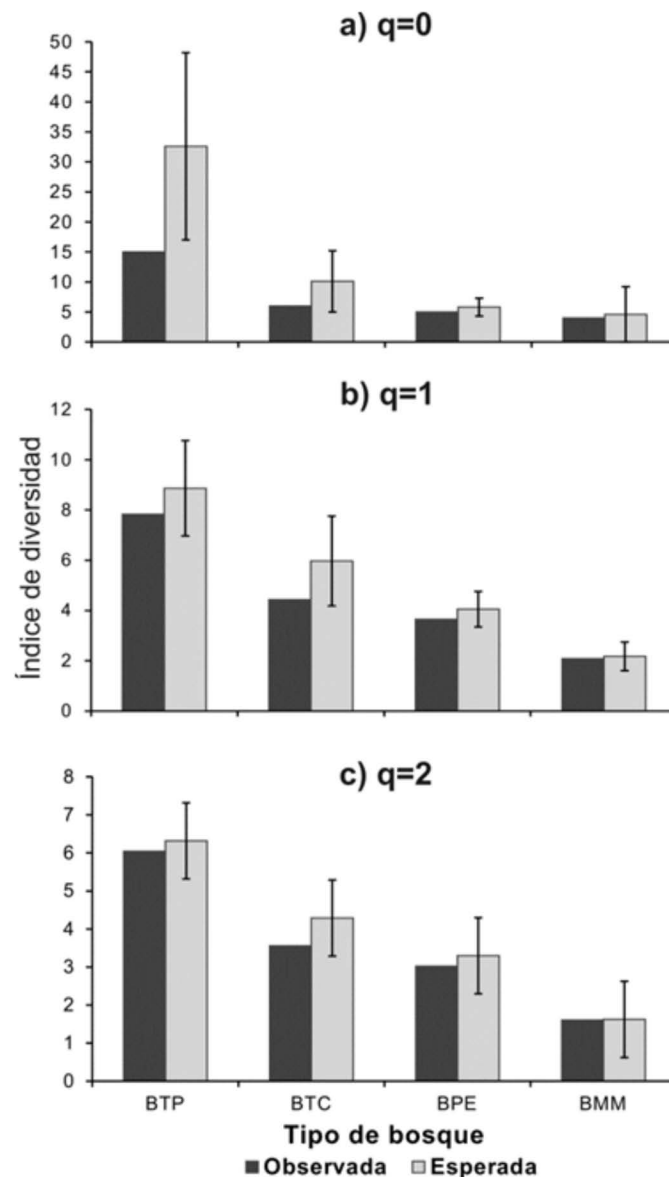


Figura 2. Diversidad de murciélagos registrada en cuatro tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca, con tres medidas de diversidad: a) 0D o riqueza de especies, b) 1D o exponencial del índice de entropía de Shannon, y c) 2D o inverso del índice de Simpson. BTP: bosque tropical perennifolio, BTC: bosque tropical caducifolio, BPE: bosque de pino-encino, y BMM: bosque mesófilo de montaña. Las líneas verticales en las barras indican la desviación estándar de la diversidad esperada.

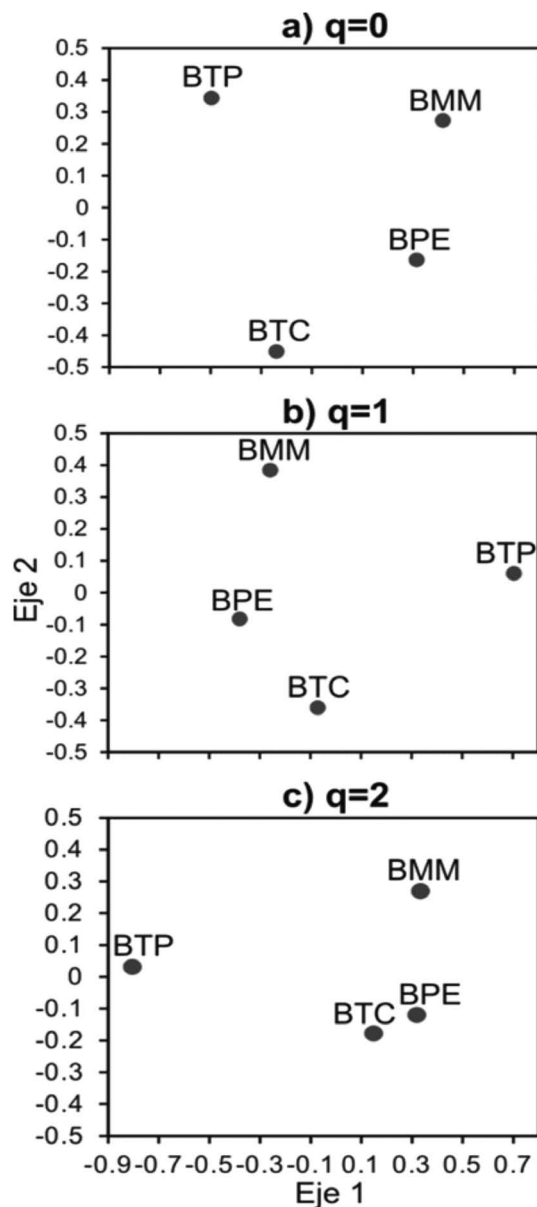


Figura 3. Resultados de análisis NMDS que muestran las distancias entre los diferentes tipos de bosque de la Sierra Norte de Oaxaca con base en su similitud en composición de especies de murciélagos: a) similitud con $q = 0$, b) similitud con $q = 1$, c) similitud con $q = 2$. BTP: bosque tropical perennifolio, BTC: bosque tropical caducifolio, BPE: bosque de pino-encino, y BMM: bosque mesófilo de montaña.

Discusión

Las comunidades de murciélagos de la Sierra Norte de Oaxaca varían tanto en su diversidad como en su composición de especies entre los diferentes tipos de bosques, que a su vez tienen distribuciones acotadas a ciertos intervalos altitudinales, con perfiles climáticos particulares. El caso más notable se presentó en el BTP donde se capturaron nueve especies no registradas en el resto de los tipos de vegetación, incluyendo el primer registro para el estado de *Lophostoma brasiliense* (Briones-Salas y Santos-Moreno 2002). El resto de los tipos de vegetación presentaron menos especies únicas, como es el caso de *Baeodon alleni* para el BTC, *Dermanura azteca* para el BPE y *Myotis keaysi* para el BMM, aunque estas especies ya habían sido registradas para la Sierra Norte de Oaxaca. En contraparte existen otras especies que han sido registradas previamente y que no fueron detectadas en este estudio como: *Balantiopterix plicata*, *Moormops megalophylla*, *Mimon cozumelae*, *Lasiurus cinereus* y *Tadarida brasiliensis* (Briones-Salas y Sánchez-Cordero 2004; Alfaro et al. 2006). Los resultados de diversidad registrados en

este trabajo coinciden con los obtenidos por otros autores en diferentes zonas del estado de Oaxaca, debido a que los bosques tropicales (bosque tropical subperennifolio, BTP, BMM y BTC) presentaron la mayor diversidad de murciélagos (Briones-Salas *et al.* 2001; Sánchez-Cordero 2001; Monteagudo-Sabaté y León-Paniagua 2002; Briones-Salas *et al.* 2005; Olguín-Monroy *et al.* 2008). Sin embargo, en ocasiones los bosques templados han presentado la mayor diversidad, como es el caso de Santa María Chimalapas en donde se ha registrado una riqueza de 15 especies para el BPE, 12 para el BTC, 12 para el bosque tropical subperennifolio y nueve para el BMM (García-García y Santos-Moreno 2008).

Es importante mencionar que de acuerdo con los estimadores utilizados existen especies por registrar para los tres órdenes de diversidad en los cuatro tipos de bosque (Fig. 2), lo que indica que el esfuerzo de captura desplegado en este trabajo para cada tipo de bosque fue limitado (Tabla 2). Esto se infiere del hecho que la riqueza de especies o diversidad de orden 0 ($q = 0$) para el BTP se obtuvo un registro de 15 especies de las 32.6 especies efectivas estimadas (46.9%), mientras que para el BTC se registraron seis especies y se estimaron diez especies efectivas (60%), para el BPE se obtuvieron cinco especies y se estimaron 5.8 especies efectivas (83.3%), mientras que para el BMM se registraron cuatro especies y se estimaron 4.6 especies efectivas (86.9%).

En general los bosques que se encuentran a altitudes por debajo de los 1,500 msnm presentan la riqueza de murciélagos más alta (Sánchez-Cordero 2001; Briones-Salas *et al.* 2005). En la mayor parte de los trabajos realizados en el Neotrópico, los bosques tropicales perennifolios presentan la mayor diversidad de murciélagos a nivel nacional y regional, como es el caso de la Selva Lacandona, en la que coexisten hasta 64 especies de murciélagos (Medellín 1993; 1994).

Algunos de los factores más importantes que influyen en la riqueza y diversidad de murciélagos son la disponibilidad de recursos alimentarios, la temperatura y la precipitación (Arita 1993; Wang *et al.* 2003), factores que se presentan con valores elevados durante todo el año en los bosques tropicales húmedos. Por ello, los BTPs son considerados ecosistemas con la más alta productividad y diversidad de especies del planeta (Challenger 1998) y en consecuencia, cinco de las ocho familias que conforman la quiropterofauna mexicana (Phyllostomidae, Molossidae, Natalidae, Noctilionidae, Thyropteridae y Vespertilionidae) están restringidas a las regiones tropicales del sureste (Fa y Morales 1998). Por su parte, el BTC se caracteriza por una marcada estacionalidad en la temporada de lluvias, con una prolongada sequía. Los efectos de la estacionalidad climática determinan en gran medida los ciclos estacionales y anuales en la fenología de las plantas (Bullock *et al.* 1995), que a su vez afectan las condiciones microclimáticas y la disponibilidad de alimento para las poblaciones de animales (Ceballos 1995), provocando que en ocasiones la diversidad faunística no sea tan grande como en los bosques tropicales húmedos. Esto explica que la comunidad de murciélagos del BTC no sea tan diversa como la del BTP. Lo mismo sucede en el BTC de Nizanda en el Istmo de Tehuantepec, donde se registraron 11 especies de murciélagos (Santos-Moreno y Ruíz-Velázquez 2011), aunque en algunos casos se ha registrado una mayor riqueza de murciélagos en los BTC (13 especies) comparado con los bosques tropicales subperennifolios (10 especies; Chávez y Ceballos 2001).

Al centrar la atención en la identidad de las especies, resalta la diferencia en composición de la comunidad de murciélagos del BTP con respecto a los otros tipos de bosque. Esto es producto de que este bosque presenta una riqueza que duplica la del resto de los bosques, y las diferencias en riqueza condicionan una baja similitud. Los BTC y BPE presentan la mayor similitud, ya que comparten la mayor cantidad de especies entre sí y son las comunidades con mayor equidad en la abundancia de sus especies. Esto podría ser producto de la cercanía geográfica entre ambos tipos de vegetación (menos de 15 km entre ambos) y la variación altitudinal presente (1,500 msnm a 2,800 msnm), ya que es factible que especies que habitan en el BPE se trasladen al BTC en busca de alimento, como en el caso de *Desmodus rotundus*, que habita en cuevas a 2,500 msnm en BPE, pero baja a 1,600 msnm en el BTC, en busca de ganado para alimentarse. La alta similitud también puede estar influida por la dominancia de *Sturnira hondurensis* y *Dermanura tolteca* en los diferentes tipos de bosque, lo cual también ha sido registrado en otros trabajos con murciélagos realizados en el estado de Oaxaca, en donde especies de los géneros *Artibeus*, *Sturnira* y *Dermanura* son también las más abundantes (Briones-Salas *et al.* 2005; García-García y Santos-Moreno 2008). Estas tendencias concuerdan con lo registrado por García-García y Santos-Moreno (2008) al analizar la similitud de murciélagos entre cuatro tipos de vegetación en San Miguel Chimalapas, ya que los bosques tropicales compartieron más especies entre sí, mientras que la menor similitud se presentó entre bosques templados y tropicales. Esto es de esperar ya que cada tipo de bosque presenta condiciones ambientales particulares que satisfacen los requerimientos de diferentes especies de murciélagos. En el caso de los bosques tropicales del Neotrópico, se ha registrado una diferencia en la composición de las comunidades de murciélagos entre bosque tropicales húmedos y secos muy notable, ya que forman dos grupos que se separan completamente (Soriano 2000).

Los bosques tropicales (BTP y BTC) de la Sierra Norte de Oaxaca presentan una mayor diversidad de murciélagos que los bosques templados de montaña (BPE y BMM), esto probablemente está asociado con la disponibilidad de alimento y promedios altos de temperatura y precipitación, que son variables importantes para determinar la distribución de los murciélagos de México. El tipo de vegetación refleja la segregación espacial de las especies de murciélagos, que a su vez determina una baja similitud en la composición de especies de las comunidades. Sin embargo, las diferencias en la composición de especies pueden ser provocadas por las especies raras o poco comunes, por lo que sería necesario realizar un mayor esfuerzo de captura para obtener inventarios más completos, incluso combinando distintos métodos de muestreo como las redes de arpa o los detectores ultrasónicos.

Agradecimientos

Se agradece a A. Santos-Moreno, F. Luna, M. Peralta, L. Velásquez, C. García, G. González, R. Ramírez, por su valiosa colaboración en el trabajo de campo y gabinete. A las autoridades comunales de Ixtlán de Juárez por la autorización de trabajar en su territorio y a G. Ramírez por su apoyo logístico. El estudio estuvo parcialmente apoyado por la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN (SIP 20060058). M. Briones-Salas, agradece a la EDI y la COFFA del Instituto Politécnico Nacional y al Sistema Nacional de Investigadores por los apoyos y reconocimientos.

Literatura citada

- ALFARO, A. M., J. L. GARCÍA-GARCÍA, Y A. SANTOS-MORENO. 2006. Mamíferos de los municipios Santiago Jocotepec y Ayotzintepec, Chinantla Baja, Oaxaca. *Naturaleza y Desarrollo* 4:19-23.
- ÁLVAREZ, T., S. T. ÁLVAREZ-CASTAÑEDA, Y J. C. LÓPEZ-VIDAL. 1994. Claves para murciélagos mexicanos. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México.
- ARITA, H. T. 1993. Riqueza de especies de la mastofauna de México. Pp. 109-125 in *Avances en el estudio de los mamíferos de México* (Medellín, R. A., y G. Ceballos, eds.). Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. Ciudad de México, México.
- BARRAGÁN, F., C. LORENZO., A. MORÓN., M. A. BRIONES-SALAS, Y S. LÓPEZ. 2010. Bat and rodent diversity in a fragmented landscape on the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, México. *Tropical Conservation Science* 3:1-16.
- BOTELLO, F., V. SÁNCHEZ-CORDERO, Y G. GONZÁLEZ. 2008. Diversidad de carnívoros en Santa Catarina Ixtepeji, Sierra Madre de Oaxaca, México. Pp. 335-354 in *Avances en el estudio de los mamíferos de México II* (Lorenzo, C., E. Espinoza, y J. Ortega, eds.). Publicaciones especiales volumen II. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. Ciudad de México, México.
- BRIONES-SALAS, M. A. 2000. Lista anotada de los mamíferos de la región de la Cañada en el Valle de Tehuacán–Cuicatlán, Oaxaca. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 81:83-103.
- BRIONES-SALAS, M. A., M. CORTÉS-MARCIAL Y CARLOS BONILLA. 2006. Colección regional mastozoológica de Oaxaca. Pp. 447-468 in *Colecciones Mastozoológicas de México* (Lorenzo, C., E. Espinoza., M. Briones, y F. A. Cervantes, eds.). Instituto de Biología - Universidad Nacional Autónoma de México. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. Ciudad de México, México.
- BRIONES-SALAS, M., M. LAVARIEGA, E IVAN LIRA-TORRES. 2012. Distribución actual y potencial del Jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:246-257.
- BRIONES-SALAS, M. A., Y V. SÁNCHEZ-CORDERO. 2004. Mamíferos. Pp. 423-447 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez, y M. A. Briones, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México - Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- BRIONES-SALAS, M. A., V. SÁNCHEZ-CORDERO, Y A. G. QUINTERO. 2001. Lista de mamíferos terrestres del norte de Oaxaca. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoología* 72:125-161.
- BRIONES-SALAS, M. A., V. SÁNCHEZ-CORDERO, Y A. SANTOS-MORENO. 2005. Diversidad de murciélagos en el gradiente altitudinal de la Sierra Mazateca, Oaxaca, México. Pp. 65-74 in *Contribuciones mastozoológicas en homenaje a Bernardo Villa* (Sánchez-Cordero, V., y R. A. Medellín, eds.). Instituto de Biología - Instituto de Ecología - Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

- BRIONES-SALAS, M., y A. SANTOS-MORENO.** 2002. First record of *Tonatia brasiliense* (Chiroptera: Phyllostomidae) in Oaxaca, México. *The Southwestern Naturalist* 47:137-138.
- BUENROSTRO-SILVA, A., M. A. GUTIÉRREZ, y J. GARCÍA-GRAJALES.** 2012. Mamíferos del Parque Nacional Lagunas de Chacahua y La Tusa de Monroy, Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 28:56-72.
- BULLOCK, H. A. MOONEY, y S. E. MEDINA, (eds.)** 1995. *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press. Cambridge, Gran Bretaña.
- CASAS-ANDREU, G., F. R. MÉNDEZ-DE LA CRUZ, y X. AGUILAR-MIGUEL.** 2004. Anfibios y reptiles. Pp. 375-390 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. A. Briones, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México - Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- CEBALLOS, G.** 1995. Vertebrate diversity, ecology, and conservation in Neotropical deciduous forests. Pp. 195-220 in *Seasonally dry tropical forests* (Bullock, S. E., H. A. Mooney, y S. E. Medina, eds.). Cambridge University Press. Cambridge, Gran Bretaña.
- CHALLENGER, A.** 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - Instituto de Biología - Universidad Nacional Autónoma de México - Sierra Madre S. C. Ciudad de México, México.
- CHAO, A., y S. M. LEE.** 1992. Estimating the number of classes via simple coverage. *Journal of the American Statistical Association* 87:210-217.
- CHAO, A., y T. J. SHEN.** 2003. Nonparametric estimation of Shannon's index of diversity when there are unseen species in sample. *Environmental and Ecological Statistics* 10:429-433.
- CHAO, A., y T. J. SHEN.** 2010. Program SPADE (Species prediction and diversity estimation). Programa y documentación disponible en: <http://chao.stat.nthu.edu.tw>
- CHÁVEZ, C., y G. CEBALLOS.** 2001. Diversidad y abundancia de murciélagos en selvas secas de estacionalidad contrastante en el Oeste de México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 5:27-44.
- FA, J. E., y L. M. MORALES.** 1998. Patrones de diversidad de mamíferos de México. Pp. 315-352 in *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución* (Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot, y J. Fa, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- GARCÍA-GARCÍA, J. L., y J. A. SANTOS-MORENO.** 2008. Diversidad de cuatro ensamblajes de murciélagos en San Miguel Chimalapa, Oaxaca, México. Pp. 411-426 in *Avances en el estudio de los mamíferos de México II* (Lorenzo, C., E. Espinoza, y J. Ortega, eds.). Publicaciones especiales volumen II. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. Ciudad de México, México.
- GARCÍA-MENDOZA, A. J., M. J. ORDÓÑEZ, y M. A. BRIONES, (eds.)** 2004. *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México -Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.

- GARCÍA-MORALES, R., C. E. MORENO, Y J. BELLO-GUTIÉRREZ.** 2011. Renovando las medidas para evaluar la diversidad en comunidades ecológicas: el número de especies efectivas de murciélagos en el sureste de Tabasco, México. *Therya* 2:205-215.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, G., Y M. A. BRIONES-SALAS.** 2012. Dieta de *Odocoileus virginianus* (Artiodactyla: Cervidae) en un bosque templado del norte de Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical* 60:1-11.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, G., M. A. BRIONES-SALAS, Y A. M. ALFARO.** 2004. Integración del conocimiento faunístico del estado. Pp. 449-466 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. A. Briones, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México - Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- GOODWIN, G. G.** 1969. Mammals from the state of Oaxaca, Mexico, in the American Museum of Natural History. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 141:1-269.
- HALL, R. E.** 1981. *The mammals of North America*. John Wiley and Sons. New York, EE.UU.
- HAMMER, O., D. A. T. HARPER, Y P. D. RYAN.** 2001. PAST version 2.07: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica* 4:9 pp. Programa y documentación disponible en: <http://folk.uio.no/ohammer/past>
- JOST, L.** 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113:363-375.
- JOST, L.** 2007. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology* 88:2427-2439.
- KOLEFF, P., J. SOBERÓN, H. T. ARITA, P. DÁVILA, O. FLORES-VILLELA, J. GOLUBOV, G. HALFFTER, A. LIRA-NORIEGA, C. E. MORENO, E. MORENO, M. MURGUÍA, M. MUNGUÍA, A. G. NAVARRO-SIGÜENZA, O. TÉLLEZ, L. OCHOA-OCHOA, A. T. PETERSON, Y P. RODRÍGUEZ.** 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. Pp. 323-364 in *Capital Natural y Bienestar Social, volumen I: Conocimiento de la Biodiversidad* (Soberón, J., G. Halffter, y J. Llorente-Bousquets, eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- LIRA-TORRES, I., L. MORA-AMBRIZ, M. A. CAMACHO-ESCOBAR, Y R. E. GALINDO-AGUILAR.** 2005. Mastofauna del cerro La Tuza, Oaxaca. *Revista Mexicana de Mastozoología* 9:6-20.
- LIRA-TORRES, I., E. J. NARANJO., D. HILLIARD., M. A. CAMACHO-ESCOBAR., A. DE VILLA-MEZA, Y M. A. REYES-CHARGOY.** 2006. Status and conservation of Baird's tapir in Oaxaca, México. *Tapir Conservation* 15:21-28.
- LÓPEZ, J. A., C. LORENZO, F. BARRAGÁN, Y J. BOLAÑOS.** 2009. Mamíferos terrestres de la zona lagunar del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80:491-505.
- MEDELLÍN, R. A.** 1993. Estructura y diversidad de una comunidad de murciélagos en el trópico húmedo mexicano. Pp. 333-354 in *Avances en el estudio de los mamíferos de México* (Medellín, R. A., y G. Ceballos, eds.). Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. Ciudad de México.
- MEDELLÍN, R. A.** 1994. Mammal diversity and conservation in the Selva Lacandona, Chiapas, México. *Conservation Biology* 83:780-799.

- MEDELLÍN, R. A., H. ARITA, Y O. SÁNCHEZ.** 1997. Identificación de los murciélagos de México: clave de campo. Asociación Mexicana de Mastozoología. Publicaciones especiales número dos. Ciudad de México, México.
- MONTEAGUDO-SABATÉ, D., Y L. LEÓN-PANIAGUA.** 2002. Estudio comparativo de los patrones de riqueza altitudinal de especies en mastofaunas de áreas montañosas mexicanas. *Revista Mexicana de Mastozoología* 6:60-82.
- MONTES, R. N.** 1996. Uso y manejo de los recursos naturales en la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México.
- MORENO, C. E., F. BARRAGÁN, E. PINEDA, Y N. P. PAVÓN.** 2011. Reanalizando la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:1249-1261.
- NAVARRO, S., A. G., E. A. GARCÍA-TREJO, A. T. PETERSON, Y V. RODRÍGUEZ-CONTRERAS.** 2004. Aves. Pp. 391-421 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. A. Briones, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México - Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- OLGUÍN-MONROY, H. C., L. LEÓN PANIAGUA., U. MELO SAMPER-PALACIOS, Y V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 2008. Mastofauna de la región de los Chimalapas, Oaxaca, México. Pp. 165-216 in *Avances en el estudio de los mamíferos de México II* (Lorenzo, C., E. Espinoza, y J. Ortega, eds.). Publicaciones especiales volumen II. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. Ciudad de México, México.
- ORTÍZ-PÉREZ, M. A., J. R. HERNÁNDEZ, Y J. M. FIGUEROA.** 2004. Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. Pp. 43-54 in *Biodiversidad de Oaxaca* (García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez, y M. A. Briones, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México - Fondo oaxaqueño para la conservación de la naturaleza y World Wildlife Fund. Ciudad de México, México.
- PÉREZ-LUSTRE, M., R. G. CONTRERAS-DÍAZ, Y A. SANTOS-MORENO.** 2006. Mamíferos del bosque mesófilo de montaña del municipio de San Felipe Usila, Tuxtepec, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 10:88-91.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM.** 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Programa y documentación disponible en: <http://www.R-project.org>
- RAMÍREZ-PULIDO, J., J. ARROYO-CABRALES, Y A. CASTRO-CAMPILLO.** 2005. Estado actual y relación nomenclatural de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 21:21-82.
- ROJAS-MARTÍNEZ, A., Y A. VALIENTE-BANUET.** 1996. Análisis comparativo de la quiroptero fauna del Valle Tehuacán-Cuicatlán, Puebla-Oaxaca. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 67:1-23.
- SÁNCHEZ-CORDERO, V.** 2001. Elevation gradients of diversity for rodents and bats in Oaxaca, México. *Global Ecology and Biogeography* 10:63-76.
- SANTOS-MORENO, A., S. GARCÍA-OROZCO, Y E. E. PÉREZ-CRUZ.** 2010a. Records of bats from Oaxaca, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 55:454-456.
- SANTOS-MORENO, J. A., Y E. RUÍZ-VELÁSQUEZ.** 2011. Diversidad de mamíferos de la región de Nizanda, Juchitán, Oaxaca, México. *Therya* 2:155-168.

- SANTOS-MORENO, A., E. RUIZ-VELÁSQUEZ, Y A. SÁNCHEZ MARTÍNEZ.** 2010b. Efecto de la intensidad del viento y de la intensidad de la luz lunar en la actividad de murciélagos filostómidos de Mena Nizanda, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81:839-845.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT).** 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, que determina las especies de flora y fauna silvestres, terrestres y acuáticas, endémicas, amenazadas, en peligro de extinción y sujetas a protección especial. *Diario Oficial de la Federación*. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados, Gobierno Federal. Ciudad de México, México.
- SORIANO, P. J.** 2000. Functional structure of bat communities in tropical rainforest and Andean cloud forest. *Ecotrópicos* 13:1-20.
- WANG, H. G., R. D. OWEN., C. SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Y M. D. L. ROMERO-ALMARAZ.** 2003. Ecological characterization of bat species distributions in Michoacán México, using a geographic information system. *Global Ecology and Biogeography* 12:65-85.

Sometido: 6 de septiembre de 2012

Revisado: 17 de diciembre de 2012

Aceptado: 11 de marzo de 2013

Editor asociado: Jesús Maldonado

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Apéndice

Números de catálogo de los organismos colectados en este trabajo y depositados en la colección de mamíferos del CIIDIR, Unidad Oaxaca (OAXMA; Briones-Salas et al., 2006). *Anoura geoffroyi*: Loma del muerto, 8.3 Km N de Ixtlán (1, 1202); El Arco, 5.5 Km NE de Ixtlán (1, 1283). *Artibeus jamaicensis*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (13, 1381, 1385, 1388, 1392, 1394, 1403, 1404, 1406, 1425, 1454, 1458, 1459, 1460). *Artibeus lituratus*: Río Grande, 2.3 Km SW de Guelatao (1, 1365); Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (12, 1317, 1325, 1329, 1331, 1383, 1395, 1455, 1400, 1422, 1429, 1438, 1439). *Carollia sowelli*: Rancho Tarabundí, 7.25 Km NNW de Ixtlán (4, 1244, 1252, 1253, 1259); La Bóveda, 1.0 Km NE de Los Reyes Yagalaxi (1, 1364); Arroyo Canastos, 1 Km SE de Los Reyes Yagalaxi (1, 1290); Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (7, 1320, 1372, 1378, 1382, 1402, 1415, 1447). *Centurio senex*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (10: 1328, 1416, 1418, 1428, 434, 1437, 1441, 1449, 1457, 1461). *Dermanura azteca*: El Arco, 5.5 Km NE de Ixtlán (1, 1356). *Dermanura tolteca*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (30, 1367, 1370, 1371, 1374, 1380, 1384, 1386, 1387, 1393, 1396, 1397, 1398, 1443, 1375, 1379, 1401, 1410, 1413, 1417, 1427, 1430, 1431, 1433, 1435, 1436, 1446, 1448, 1450, 1451, 1462). *Desmodus rotundus*: Río Grande, 2.3 Km SW de Guelatao (3, 1358, 1360-1361); El Arco, 5.5 Km NE de Ixtlán (3, 1281, 1444-1445). *Glossophaga morenoi*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (2, 1389-1390). *Hylonycteris underwoodi*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (1, 1452). *Myotis keaysi*: 1.8 Km N de la Luz (6, 1000-1005). *Myotis nigricans*: Rancho Tarabundí, 7.25 Km NNW de Ixtlán (1, 1238). *Phyllostomus discolor*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (2, 1373, 1376). *Chiroderma salvini*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (1, 1405). *Platyrrhinus helleri*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (1, 1423). *Sturnira hondurensis*: Rha-nita 13.1 Km N Ixtlán (4, 1113-1116); Cueva de Sarmiento, 3.6 Km N de La Luz (2, 1091-1092); Rancho Tarabundí, 7.25 Km NNW de Ixtlán (25, 1236-1237, 1239-1243, 1245-1251, 1254-1265); Río Grande, 2.3 Km SW de Guelatao (1, 1359); El Arco, 5.5 Km NE de Ixtlán (2, 1282, 1255); La Bóveda, 1.0 Km NE de Los Reyes Yagalaxi (1, 1363); Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (18, 1315, 1318, 1321, 1324, 1326, 1327, 1330, 1377, 1391, 1414, 1419-1421, 1424, 1426, 1432, 1453, 1456). *Trachops cirrhosus*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (1, 1369). *Vampyroides caraccioli*: Laa-dú, 10.6 Km SW de Los Reyes Yagalaxi (1, 1442).

Los mamíferos de la cuenca del río Chinchiná, en la región andina de Colombia

Sergio Escobar-Lasso^{1*}, Juliana Cerón-Cardona²
y John Harold Castaño-Salazar³

Abstract

The Chinchiná river basin, located on the western flank of the Central Cordillera of Colombia, has been transformed by human activity. However, the basin still holds a great richness of mammal species typical of the Colombian Andes, which is necessary to document and divulgate. The aim of this paper is to provide the richness, composition, and distribution of mammals that inhabit the Chinchiná river basin. We only took into account the records of mammals that are supported with individuals or part of these deposited in scientific collections and / or pictures published that support the observation. We recorded a total of 99 species, distributed in 11 orders, 26 families and 67 genera. Of the mammals recorded, according to IUCN (International Union for Conservation of Nature), four species are in the category Vulnerable (VU): *Aotus lemurinus*, *Dinomys branickii*, *Leopardus tigrinus* and *Mazama rufina*; five are in the category Data Deficient (DD): *Cabassous centralis*, *Histiopus humboldti*, *Nasuella olivacea*, *Sciurus pucheranii*, *Thomasomys bombycinus*; and four are in the category Near Threatened (NT): *Cuniculus taczanowskii*, *Sturnira aratathomasi*, *Sturnira oporaphilum* and *Vampyrum spectrum*.

Key words: Chinchiná, Colombia, endangered species, mammals diversity.

Resumen

La cuenca del río Chinchiná, localizada en el flanco occidental de la cordillera Central de Colombia, ha sido profundamente transformada por la actividad humana. Sin embargo, dicha cuenca todavía alberga una gran riqueza de especies de mamíferos típicas de los Andes colombianos, la cual es necesaria documentar y difundir. El objetivo de este trabajo es dar a conocer la riqueza, composición y distribución de los mamíferos que habitan la cuenca del río Chinchiná. Nosotros sólo tuvimos en cuenta los registros de mamíferos que están apoyados con individuos o parte de estos depositados en colecciones científicas y / o fotografías publicadas que apoyan la observación. Nosotros registramos un total 99 especies, distribuidas en 11 ordenes, 26 familias y 67 géneros.

¹Fundación R.A.N.A (Restauración de Ambientes Neotropicales Alterados). Calle 66 23 b 56, Manizales, Caldas, Colombia 17001000. E-mail: funrana@hotmail.com, biosergiobike@gmail.com (SE-L).

²Bióloga, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia. Calle 65 26-10, Caldas, Colombia. E-mail: juli.ceron@gmail.com (JC-C).

³Director Investigaciones, Universidad de Santa Rosa de Cabal (UNISARC), Santa Rosa, Risaralda-Colombia. Kilómetro 4 Vía Santa Rosa de Cabal, Chinchiná (Caldas), Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Colombia. E-mail: jhcastano@gmail.com (JHC-S).

* Corresponding author.

De los mamíferos registrados, según la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), cuatro especies se encuentran en la categoría Vulnerable (VU): *Aotus lemurinus*, *Dinomys branickii*, *Leopardus tigrinus* y *Mazama rufina*; cinco en la categoría Datos Deficientes (DD): *Cabassous centralis*, *Histiopus humboldti*, *Nasuella olivacea*, *Sciurus pucheranii*, *Thomasomys bombycinus*; y cuatro en la categoría Casi amenazada (NT): *Cuniculus taczanowskii*, *Sturnira aratathomasi*, *Sturnira oporaphilum* y *Vampyrum spectrum*.

Palabras Clave: Chinchiná, Colombia, diversidad de mamíferos, especies amenazadas.

Introducción

La Cuenca del río Chinchiná, localizada en el flanco oriental de la cordillera Central de Colombia, originalmente cubierta por páramos, bosques andinos y sub-andinos, y selvas tropicales (*sensu* Cuatrecasas 1958), ha sido profundamente transformada por la actividad humana (Álvarez-Mejía *et al.* 2007). Este proceso de transformación está asociado con el hecho de que dicha cuenca contiene la mayor cantidad de población humana, el mayor producto interno bruto, el mayor ingreso per cápita, el mayor desarrollo en la siembra del café y el mayor desarrollo industrial del departamento de Caldas; por lo tanto, es una de las áreas con mayor grado de alteración, deforestación y fragmentación de los bosques originales (Corpocaldas 2000; Álvarez-Mejía *et al.* 2007). Sin embargo, la cuenca del río Chinchiná todavía contiene áreas con vegetación nativa como el Parque Nacional Natural Los Nevados, las reservas naturales de Río Blanco, Torre Cuatro, La Marina, Bosques de la CHEC (Central Hidroeléctrica de Caldas) y Planalto, además de una gran cantidad de quebradas que surten los acueductos de pueblos, veredas y caseríos (Corpocaldas 2009), que pueden albergar gran riqueza de especies de mamíferos típicas de los Andes colombianos, la cual es necesaria documentar y difundir, ya que todavía hay grandes incertidumbres con respecto a la diversidad y distribución de los mamíferos en muchas regiones de los Andes colombianos (Alberico *et al.* 2000).

Aunque varios estudios han contribuido al conocimiento de los mamíferos que habitan en el interior de la cuenca del río Chinchiná (Sánchez 2000; Castaño *et al.* 2003; Sánchez y Alvear 2003; Sánchez *et al.* 2004; Castaño y Cardona 2005; Roncancio y Estévez 2007; Castaño *et al.* 2010; Corpocaldas y Castaño 2010; Rodríguez-Posada 2010; SCO 2012), no se cuenta con publicaciones que resuman y recopilen la información existente sobre los mamíferos que habitan en la cuenca. Lo anterior es un requisito esencial para generar estrategias de conservación apropiadas, ya que caracterizar la biodiversidad permite identificar y priorizar las necesidades de conservación (Lozano-Zambrano 2009). El objetivo de este trabajo es dar a conocer la riqueza, composición, y distribución de los mamíferos que se encuentran en la cuenca del río Chinchiná, departamento de Caldas, Colombia.

Material y Métodos

Área de estudio. La cuenca del río Chinchiná se encuentra en la vertiente occidental de la cordillera Central de los Andes colombianos, en la región centro-sur del departamento de Caldas (Fig. 1). Esta cuenca tiene su nacimiento en la parte superior del Nevado del Ruiz a los 5,200 m (5.058334° N, -75.384158° W), y desemboca en el río Cauca a

los 800 m (5.118139° N, -75.669528° W; Álvarez-Mejía et al. 2007). Sus principales afluentes son los ríos Claro y Guacaica, incluye los municipios de Manizales y Villamaría en su totalidad, el 68% del municipio de Palestina, el 42% del municipio de Neira y el 17% del municipio de Chinchiná, con un total de 113,264 hectáreas (Fig. 1). Todas las ciudades de estos municipios se encuentran dentro de la cuenca, a excepción de la ciudad de Neira (Corpocaldas 2000; Álvarez-Mejía et al. 2007).

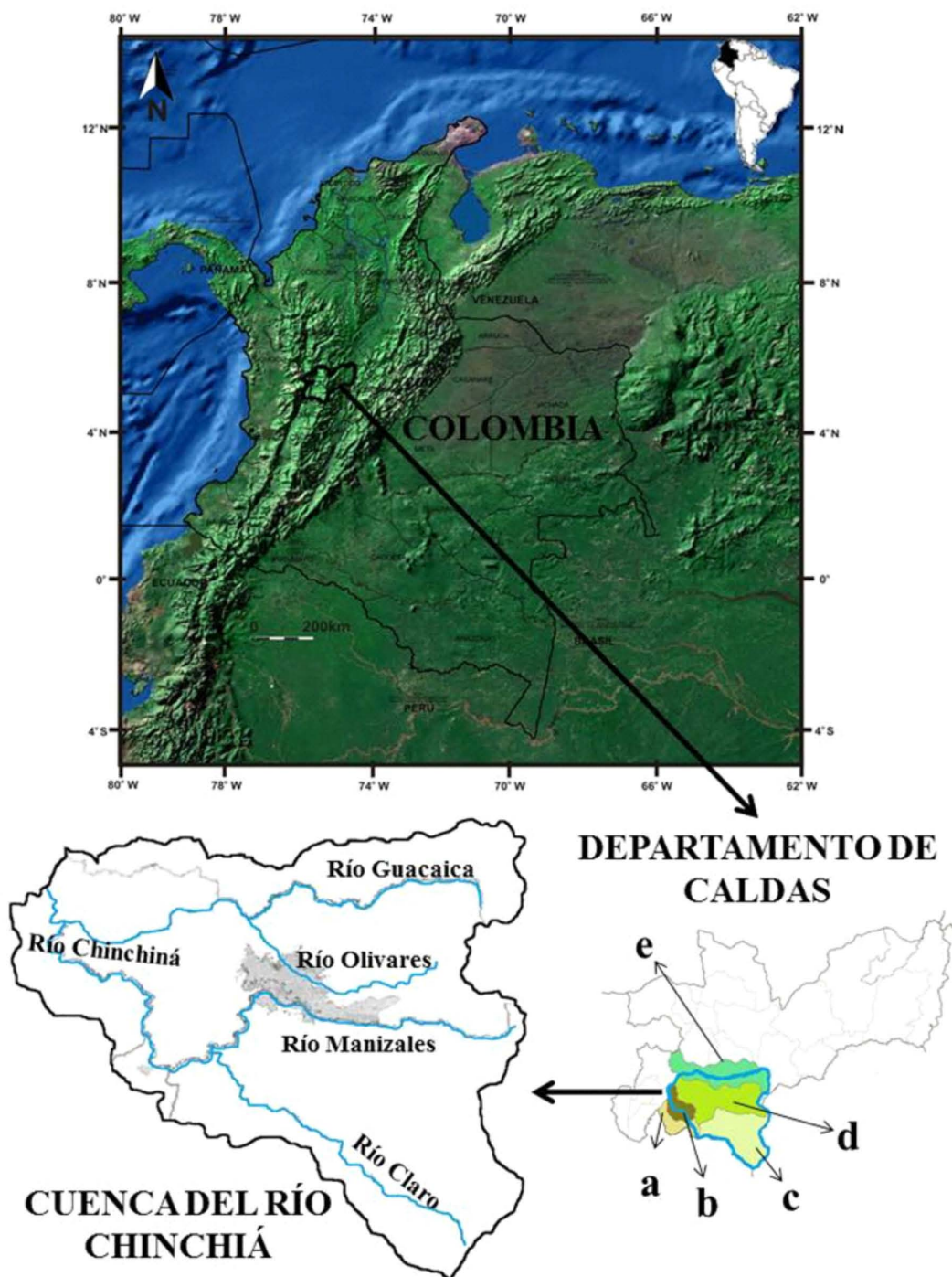


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Chinchiná, departamento de Caldas-Colombia. a) Municipio de Chinchiná, b) Palestina, c) Villamaría, d) Manizales y e) Neira.

El promedio de precipitación anual varía entre 1,800 y 2,200 mm, con lluvias máximas durante los meses de abril-mayo y agosto-noviembre (Corpocaldas 2001). En general, la

parte inferior de la cuenca es más lluviosa que la superior. En la parte superior se alcanza un mínimo en el extremo sur, cerca del Nevado de Santa Isabel con 600-800 mm / año (Corpocaldas 2001). La temperatura mínima se obtiene en el pico del Nevado del Ruiz o Cumanday (a 5000 m aprox.), la cual está por debajo de -3°C y la temperatura máxima se registra en Santaguada (a 850 m aprox.) la cual es de 29.2°C (Corpocaldas 2001).

La cuenca del río Chinchiná se puede dividir en cuatro partes: 1) La *Cuenca Alta* (desde los 3,800 hasta los 5,200 m) consiste en nieves perpetuas o arenas (Fig. 2a) y la formación vegetal de Páramo (Fig. 2b; *sensu* Cuatrecasas 1958); 2) La *Cuenca Media-Alta* (desde los 2,400 hasta los 3,800 m) está compuesta por la formación vegetal de bosque andino (Fig. 2c, d; *sensu* Cuatrecasas 1958), equivalente a la zona de vida de

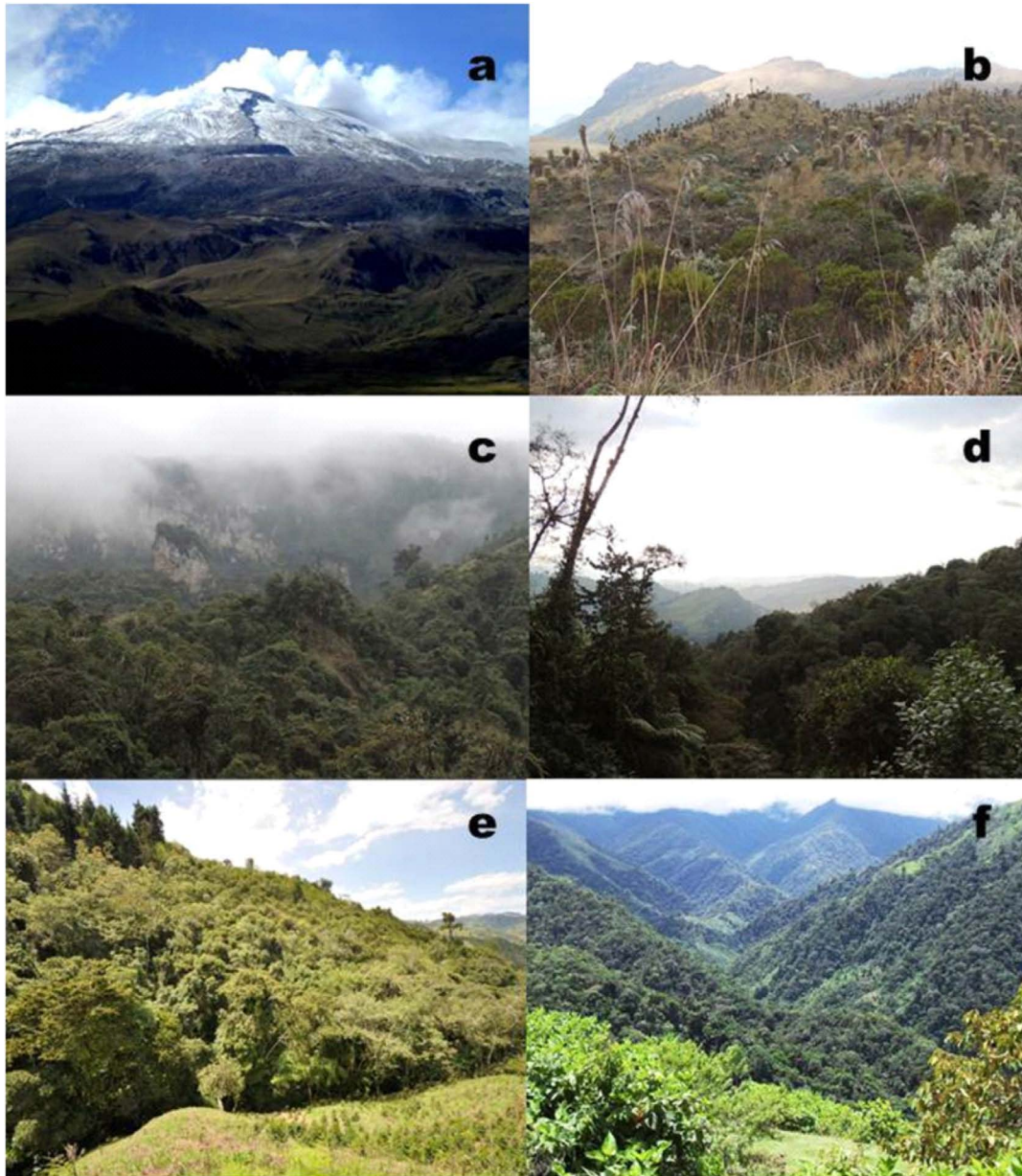


Figura 2. Tipos de bosque y ecosistemas encontrados desde los 800 hasta los 5,200 m en la cuenca del Río Chinchiná, Caldas–Columbia (*sensu* Cuatrecasas 1958): (a) y (b) Nevado del Ruiz o Kumanday, y ecosistema de páramo, Cuenca Alta (3,800-5,200 m), (c) y (d) bosque andino o bosque de niebla, cuenca media-alta (2,400-3,800 m), (e) bosque sub-andino o zona cafetera, cuenca media-baja (1,000-2,400 m), y (f) selva húmeda, cuenca baja (800-1,000 m).

bosque húmedo montano, también llamado orobioma andino de la Cordillera Central (Rodríguez *et al.* 2004), dicha zona es llamada comúnmente como bosques de niebla; 3) La *Cuenca Media-Baja* (desde los 1,000 hasta los 2,400 m) consiste en la formación

vegetal de bosque sub-andino (Fig. 2e; *sensu* Cuatrecasas 1958), equivalente a la zona de vida bosque húmedo pre-montano (Holdridge 1982; Hartshorn 2002), también conocido como orobioma subandino de la Cordillera Central (Rodríguez *et al.* 2004) comúnmente llamado zona cafetera; 4) la *Cuenca Baja* (desde los 800 hasta los 1,000 m), consiste en la formación vegetal de selva húmeda (Fig. 2f; *sensu* Cuatrecasas 1958), equivalente a la zona de vida de bosque húmedo tropical (Holdridge 1982; Hartshorn 2002), también conocido como zono-bioma húmedo tropical o ecuatorial de la Cordillera Central (Rodríguez *et al.* 2004). La vegetación de las cuatro zonas mencionadas son ampliamente descritas en Cuatrecasas (1958) y Rangel *et al.* (2003) para los bosques sub-andinos, Cleef *et al.* (2003) para los bosques andinos, Salamanca *et al.* (2003) para el páramo (Van Der Hammen y Dos Santos 2003).

Metodología. La obtención de la información se basó en datos de fotografías *in situ* y especímenes o parte de estos, depositados en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas (MHN-UC) y revisión de literatura (e.g. Sanabria 1998; Sánchez 2000; Castaño *et al.* 2003; Sánchez y Alvear 2003; Gómez 2004; Sánchez *et al.* 2004; Castaño y Cardona 2005; Roncancio y Estévez 2007; Corrales y López 2009; Castaño *et al.* 2010; Corpocaldas y Castaño 2010; Rodríguez-Posada 2010; SCO 2012). Los datos sobre las categorías de riesgo en las que se encuentran las especies están basados en la lista roja de especies amenazadas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). Los mamíferos colectados dentro de la cuenca del río Chinchiná han sido depositados en diferentes colecciones científicas especificadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Colecciones científicas donde se han depositado mamíferos colectados en la cuenca del río Chinchiná, Caldas, Colombia.

Colección Científica	Acrónimo
Museo de Historia Natural Universidad de Caldas, Manizales-Colombia	MHN-UC
Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá-Colombia	ICN
Field Museum of Natural History, Chicago-EE.UU.	FMNH
Colección Teriológica Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia	CTUA
Instituto Alexander Von Humboldt, Bogotá-Colombia	IAVH

Resultados

Para la cuenca del río Chinchiná se registraron en total 99 especies de mamíferos, distribuidas en 11 órdenes, 26 familias y 67 géneros (Tablas 2 y 3). Los murciélagos (orden Chiroptera) son los más representativos con 46 especies distribuidas en seis familias, seguido por roedores (orden Rodentia) con 24 especies distribuidas en seis familias y carnívoros (orden Carnivora) con once especies distribuidas en cuatro familias (Tabla 2).

De las doce cuencas hidrográficas que presenta el departamento de Caldas, se cuentan con inventarios publicados de mamíferos únicamente en dos: la cuenca del río La Miel (Castaño y Corrales 2010) y la cuenca del río Chinchiná (en este trabajo). Para la cuenca del río La Miel se han registrado un total de 77 especies de mamíferos (Castaño y Corrales 2010), nosotros para la cuenca del río Chinchiná registramos un total de 99 especies (Tabla 3), siendo hasta la fecha la cuenca hidrográfica con mayor riqueza de mamíferos para el departamento de Caldas. Para este departamento se reconocen

aproximadamente 158 especies (Castaño *et al.* 2003; Corpocaldas y Castaño 2010); por lo tanto, en la cuenca del río Chinchiná habitan el 62.6 % de las especies registradas para dicho departamento.

Orden	Familia	Género	Especies
ARTIODACTYLA	1	1	1
Cervidae		1	1
CARNIVORA	4	10	11
Canidae		1	1
Felidae		2	3
Mustelidae		3	3
Procyonidae		4	4
CHIROPTERA	6	24	46
Emballonuridae		2	2
Molossidae		2	4
Noctilionidae		1	1
Phyllostomidae		13	26
Thyropteridae		1	1
Vespertilionidae		5	12
CINGULATA	1	2	2
Dasypodidae		2	2
DIDELPHIMORPHIA	1	5	7
Didelphidae		5	7
LAGOMORPHA	1	1	2
Leporidae		1	2
PAUCITUBERCULATA	1	1	1
Caenolestidae		1	1
PILOSA	2	2	2
Megalonychidae		1	1
Myrmecophagidae		1	1
PRIMATES	2	2	2
Aotidae		1	1
Atelidae		1	1
RODENTIA	6	18	24
Cricetidae		13	18
Cuniculidae		1	1
Dinomyidae		1	1
Erethizontidae		1	1
Heteromyidae		1	1
Sciuridae		1	2
SORICOMORPHA	1	1	1
Soricidae		1	1

Tabla 2. Riqueza de mamíferos de la cuenca del río Chinchiná (Caldas), a tres niveles taxonómicos (familia, género y especie).

De las especies de mamíferos registradas para la cuenca del río Chinchiná (Tabla 3), cuatro se encuentran en categoría Vulnerable (VU) según la UICN: *Aotus lemurinus*

(mico de noche andino; Morales-Jiménez y de la Torre 2008), *Dinomys branickii* (guagua loba; Tirira et al. 2008a), *Leopardus tigrinus* (tigrillo; De Oliveira et al. 2008) y *Mazama rufina* (venado de páramo; Lizcano y Alvarez 2008); cinco especies se encuentran en categoría Datos Deficientes (DD): *Cabassous centralis* (armadillo cola de trapo; Superina y Abba 2010), *Histiopus humboldti* (murciélago marrón orejón; Velazco y Aguirre 2008), *Nasuella olivacea* (cuchucho andino; Reid y Helgen 2008), *Sciurus pucheranii* (ardilla andina; Amori et al. 2008), *Thomasomys bombycinus* (ratón montañero; Delgado et al. 2008); y cuatro especies se encuentran en categoría Casi Amenazadas (NT): *Cuniculus taczanowskii* (paca de montaña; Tirira et al. 2008b), *Sturnira aratathomasi* (murciélago de hombros amarillos; Pacheco et al. 2008), *Sturnira oporaphilum* (murciélago de hombros amarillos de oriente; Barquez y Diaz 2008) y *Vampyrus spectrum* (falso vampiro; Aguirre et al. 2008). A pesar de la alta deforestación y fragmentación de los diferentes tipos de selvas andinas que cubren la cuenca del río Chinchiná, esta juega un importante papel, ya que sirve de hábitat para varias especies de mamíferos amenazados de extinción.

Tabla 3. Composición y distribución de los mamíferos de la cuenca del río Chinchiná. Seguimos la taxonomía propuesta por Wilson y Reeder 1993, Simmons y Voss 1998 para el género *Eptesicus*, Alberico et al. 1999 para el género *Coendou*, Defler 2003 para el orden Primates, los demás órdenes y familias siguen a Wilson y Reeder 1993, Wilson y Reeder 2005, Alberico et al. 2000, Muñoz 2001. Sólo se tuvieron en cuenta los registros de mamíferos que están apoyados con individuos o parte de estos depositados en colecciones científicas y / o fotografías publicadas que apoyan la observación.

Taxa	Localidades	Colección de referencia
ARTIODACTYLA (1)		
Cervidae (1)		
<i>Mazama rufina</i> (Pucheran 1851)	BCG, RBM, VG.	MHN-UC 196; MHN-UC ¹ ; Fotografía publicada en Sco 2012.
CARNIVORA (11)		
Canidae (1)		
<i>Cerdocyon thous</i> (Linnaeus 1766)	EC, VA, ABF.	MHN-UC 831, 01132; MHN-UC ¹ .
Felidae (3)		
<i>Leopardus tigrinus</i> (Schreber 1775)	PNA, PNB, BDC, CMA, RPA, RB, PLL.	MHN-UC 384, 951, 953; IAVH 4010; Fig. 3a.
<i>Puma yagouaroundi</i> (Lacpedè 1809)	PLP	Fig. 3b.
<i>Puma concolor</i> (Linnaeus 1771)	VMB.	MHN-UC 1152.
Mustelidae (3)		
<i>Eira barbara</i> (Linnaeus 1758)	VLT.	MHN-UC 1153
<i>Galictis vittata</i> (Schreber 1776)	RDPA, RC.	Foto Oscar Ospina Corpocaldas
<i>Mustela frenata</i> Lichtenstein 1831	CMB, NSI, RBT, RBM, RBV.	MHN-UC 418, 1105; IAVH 15164, 15165; ICN 15164, 15165, 16733.
Procyonidae (4)		
<i>Nasua nasua</i> (Linnaeus 1766)	CMB, LG, RBG, VLL, VSE, RPA, RB.	MHN-UC 198, 225, 419, 910, 971; ICN 15166, 16734.
<i>Nasuella olivacea</i> (Gray 1865)	RBA, RBN, PNB; LE.	MHN-UC 387; MHN-UC ¹ ; IAVH 5420.
<i>Potos flavus</i> (Schreber 1774)	RBBV.	MHN-UC 411.

<i>Procyon cancrivorus</i> (Cuvier 1798)	VEA.	MHN-UC 1052.
CHIROPTERA (46)		
Emballonuridae (2)		
<i>Peropteryx kappleri</i> Peters 1867	KCN.	MHN-UC 267-268.
<i>Saccopteryx bilineata</i> (Temminck 1838)	KCN.	MHN-UC 269.
Molossidae (4)		
<i>Molossus bondae</i> Allen 1904	LR.	ICN 709, 4963-4964.
<i>Molossus molossus</i> (Pallas 1766)	VB, KCN, RPAC, RPAE.	MHN-UC 165, 329, 380, 670.
<i>Molossus rufus</i> Geoffroy 1805	KCN.	MHN-UC 330.
<i>Nyctinomops laticaudatus</i> (Geoffroy 1805)	CMCH.	MHN-UC 331.
Noctilionidae (1)		
<i>Noctilio albiventris</i> Desmarest 1818	MDV	ICN 4699.
Phyllostomidae (26)		
<i>Anoura caudifer</i> (Geoffroy 1818)	RDP, RBP.	MHN-UC 280, 706; ICN 16971, 16972.
<i>Anoura geoffroyi</i> Gray 1838	JB, RBP, RBN, LV, BDCB, ET.	MHN-UC 002-003, 158, 695, 696, 697; ICN 15157, 16730.
<i>Artibeus jamaicensis</i> Leach 1821	RPAB, JB.	MHN-UC 004, 153, 159; ICN 15197.
<i>Artibeus lituratus</i> (Olfers 1818)	RPAB, RPAG.	MHN-UC 518; ICN 16732.
<i>Carollia brevicauda</i> (Schinz 1821)	JB, RDP, RBP, EP.	MHN-UC 154, 155, 156, 298, 870; ICN 16973-16974.
<i>Carollia castanea</i> Allen 1890	HT.	IAVH 7247.
<i>Carollia perspicillata</i> (Linnaeus 1758)	RPAE, RPAG, CMB, EP.	MHN-UC 15, 300-301, 489-490, 491-493; ICN 15198, 16731.
<i>Choeroniscus godmani</i> (Thomas 1903)	KCN, RPAE.	MHN-UC 276-279.
<i>Dermanura glauca</i> Thomas 1893	RDPA, RBT, EY, VGA.	MHN-UC 176, 365-366, 701; ICN 15158.
<i>Dermanura phaeotis</i> (Miller 1902)	KCN.	MHN-UC 360-363.
<i>Desmodus rotundus</i> (Geoffroy 1810)	KCN, EP.	MHN-UC 325, 724.
<i>Glossophaga soricina</i> (Pallas 1766)	JB, RPAE, RPAB, RPAG, EP, HT, RG.	IAVH 7248-7257; MHN-UC 148, 157, 161-163, 283-284, 286-289, 368, 377, 441-444, 680-682, 718; ICN 15200.
<i>Mimon crenulatum</i> (Geoffroy 1810)	KCN, HT.	MHN-UC 272-275; IAVH 7250.
<i>Phyllostomus discolor</i> Wagner 1843	NA.	MHN-UC 270-271.
<i>Phyllostomus hastatus</i> (Pallas 1767)	EP.	MHN-UC 463.
<i>Platyrrhinus albericoi</i> Velazco 2005	JB, EP, BDCC.	MHN-UC 160, 582-583, 705.

<i>Platyrrhinus brachycephalus</i> (Rouk y Carter 1972)	HF, KCN.	MHN-UC 318-319.
<i>Platyrrhinus helleri</i> (Peters 1866)	HT, KCN.	IAVH 7249, 7258; MHN-UC 321.
<i>Sturnira aratathomasi</i> Peterson y Tamsitt 1968	RDP, RBP.	MHN-UC 312; ICN 16988-16992.
<i>Sturnira bidens</i> Thomas 1915	BDCB.	MHN-UC 698.
<i>Sturnira bogotensis</i> Shamel 1927	BDCA	MHN-UC 689-693.
<i>Sturnira erythromos</i> (Tschudi 1844)	RBP, RBN, VGA, BDCB.	MHN-UC 699-700, 702, 704, 707; ICN 16993-16998.
<i>Sturnira lilium</i> (Geoffroy 1810)	SA.	MHN-UC 001.
<i>Sturnira oporaphilum</i> (Tschudi 1844)	RBP, RDP.	MHN-UC 251, 313-314; ICN 15159, 16999-17003.
<i>Uroderma bilobatum</i> Peters 1866	KCN.	MHN-UC 322-324.
<i>Vampyrum spectrum</i> (Linnaeus 1758)	RPAE.	MHN-UC 959.
Thyropteridae (1)		
<i>Thyroptera tricolor</i> Spix 1823	EP.	MHN-UC 381.
Vespertilionidae (12)		
<i>Eptesicus andinus</i> Allen 1914	JB, VB, VC.	MHN-UC 164, 01077; IAVH 7266.
<i>Eptesicus brasiliensis</i> (Desmarest 1819)	RBBC, KCN.	MHN-UC 262, 349-354.
<i>Eptesicus fuscus</i> (Beauvois 1796)	JB, PNE, PNG.	IAVH5242; MHN-UC 01074, 01131.
<i>Histiotus humboldti</i> Handley 1996	RBP, RBBC.	MHN-UC 261; ICN 16975-16979.
<i>Histiotus montanus</i> (Philippi y Landbeck 1861)	CMS, RBC, RBP.	MHN-UC 262; ICN 15160, 16975, 16977-16978, 16980, 16981.
<i>Lasiurus blossevillii</i> (Lesson y Garnot 1826)	CMS, RBC, RBP, CMCC.	MHN-UC 143, 258, 379.
<i>Myotis albescens</i> (Geoffroy 1806)	KCN.	MHN-UC 326.
<i>Myotis keaysi</i> Allen 1914	BDCA, EY, PNFA, RBP, RBM, RBN, CMP.	MHN-UC 177, 688, 694, 722, 874; ICN 16982-16987.
<i>Myotis nigricans</i> (Schinz 1821)	RPA, RPAG, RBBE.	MHN-UC 356, 654; ICN 15161.
<i>Myotis oxyotus</i> (Peters 1867)	HT, RBP, BDCA, BDCC.	MHN-UC 692, 703, 969; IAVH 7251, 7260; ICN 15162-15163.
<i>Myotis riparius</i> Handley 1960	EP, KCN, RPAE.	MHN-UC 357-358, 636-637.
<i>Rhogeessa io</i> Thomas 1903	KCN.	MHN-UC 327.
CINGULATA (2)		
Dasypodidae (2)		

<i>Cabassous centralis</i> (Miller 1899)	SA, RBP, ABM.	MHN-UC 1085; MHNUC ¹ .
<i>Dasyopus novemcinctus</i> Linnaeus 1758	CMC, VEA, VAC.	MHN-UC 1053, 01133.
DIDELPHIMORPHIA (7)		
Didelphidae (7)		
<i>Caluromys derbianus</i> Waterhouse 1841	RBF, RPA, RPAB.	MHN-UC 248, 382, 382; ICN 16146.
<i>Didelphis marsupialis</i> Linnaeus 1758	BP, EY, JB.	MHN-UC 221, 231, 385, 960.
<i>Didelphis pernigra</i> Allen 1900	RBN, PN.	ICN 14797, 15150; IAVH 5239.
<i>Marmosops impavidus</i> Tschudi 1845	KCN.	MHN-UC 265.
<i>Marmosops parvidens</i> (Tate 1931)	VAZ.	MHN-UC 1138.
<i>Marmosa demerarae</i> (Thomas 1905)	CMA, LR, MEA.	MHN-UC 266; ICN 16147.
<i>Philander opossum</i> (Linnaeus 1758)	RPAA.	MHN-UC 264.
LAGOMORPHA (2)		
Leporidae (2)		
<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (Linnaeus 1758)	PNB, PNN, RBM, VTR.	MHN-UC 440; MHN-UC ¹ ; ICN 17004; FMNH 71038.
<i>Sylvilagus floridanus</i> (Allen 1890)	CMF.	MHN-UC 235.
PAUCITUBERCULATA (1)		
Caenolestidae (1)		
<i>Caenolestes fuliginosus</i> (Thomes 1863)	RT, RTC, RBM, RBMA, RBN, RBV, VP.	MHN-UC 962-1965; ICN 15151, 15152; FMNH 70821-70834, 72393; IAVH 8054; CTUA 501-504.
PILOSA (2)		
Megalonychidae (1)		
<i>Choloepus hoffmanni</i> Peters 1858	RBT, ABF.	MHN-UC ¹ , MHN-UC 1045.
Myrmecophagidae (1)		
<i>Tamandua mexicana</i> (Saussure 1860)	VC.	MHN-UC ¹ ; MHN-UC 219.
PRIMATES (2)		
Aotidae (1)		
<i>Aotus lemurinus</i> Geoffroy 1846	KCN, KCP, MRC, VC, VTP.	FMNH 241419; MHN-UC ¹ .
Atelidae (1)		
<i>Alouatta seniculus</i> (Linnaeus 1766)	VAC.	MHN-UC 01134.
RODENTIA (24)		

Cricetidae (18)

<i>Akodon affinis</i> (Allen 1912)	RTC, RBP, RBM, RBN, RBV.	MHN-UC 1025; ICN 16735, 16736.
<i>Chilomys instans</i> (Thomas 1895)	RBM, RBN, RT.	FMNH 71500, 71618-71620; CTUA 510-513.
<i>Handleyomys alfaroi</i> (Allen 1891)	RPAE, RPAD.	MHN-UC 343-347; ICN 16745.
<i>Heteromys australis</i> Thomas 1901	EC, MV.	ICN 15550.
<i>Melanomys caliginosus</i> (Tomes 1860)	LR, RPAD, RPAE.	MHN-UC 337, 339-341; ICN 16737.
<i>Microryzomys altissimus</i> (Osgood 1933)	LGE, RBM, RT, TR, VCN.	FMNH 71903, 71907-71911, 71916-71918; MHN-UC 01029-01030, 01136.
<i>Microryzomys minutus</i> (Tomes 1860)	RTC, RT, RBM, RBN, RBV.	MHN-UC 348, 1026, 1027; FMNH 72004; IAVH 5240, 5241, 5705-5707.
<i>Nephelomys albigularis</i> (Tomes 1860)	RBP, RBN, RBT, RBV, RT, VQB.	MHN-UC 179; ICN 15169-15179, 15202, 16738-16744; FMNH 71894, 71895; CTUA 547.
<i>Neusticomys monticolus</i> Anthony 1921	RBN, RBV.	Gómez (2004).
<i>Oecomys</i> sp.	RBM.	CTUA 548.
<i>Oligoryzomys</i> sp.	MN.	ICN 15549.
<i>Reithrodontomys mexicanus</i> (Saussure 1860)	RBM, RT, TR.	FMNH 71038, 71658-71660; CTUA 549.
<i>Thomasomys aureus</i> (Tomes 1860)	PND, RBM, RBN, RBP, RBV, RT.	MHN-UC 182; FMNH 71263, 71264, 72105- 72114; ICN 15180, 15180, 15204; CTUA 562.
<i>Thomasomys baeops</i> (Thomas 1899)	RT.	FMNH 71478, 71482.
<i>Thomasomys bombycinus</i> Anthony 1925	RTC.	MHN-UC 966, 967.
<i>Thomasomys cinereiventer</i> Allen 1912	EY, RBT, RBM, RBN, RBP, RBV, RT, RTC.	MHN-UC 183, 184, 194, 1022-1024; FMNH 71308-71319, 71483; ICN 15182-15194, 16746-16748; CTUA 562-577, 583, 584.
<i>Thomasomys cinnameus</i> Anthony 1924	RT.	FMNH 71483.
<i>Neacomys tenuipes</i> Thomas 1900	ABM.	MHN-UC 1103.

Cuniculidae (1)

<i>Cuniculus taczanowskii</i> (Stolzmann 1865)	PN, MVA.	MHN-UC 1035; ICN 1595.
--	----------	------------------------

Dinomyidae (1)

<i>Dinomys branickii</i> Peters 1873	ABF, VEA.	MHN-UC 1021, 1091.
--------------------------------------	-----------	--------------------

Erethizontidae (1)

<i>Coendou rufescens</i> (Gray 1865)	CMO, CMB, PH, MFP, PNT.	MHN-UC 414, 1042; MHN-UC ¹ ; ICN 16148, 16185.
--------------------------------------	----------------------------	--

Heteromyidae (1)

<i>Heteromys australis</i> Thomas 1901	VQB, RPA, RBA.	MHN-UC 178, 332-334; ICN 15201; CTUA 34.
--	-------------------	--

Sciuridae (2)

<i>Sciurus granatensis</i> Humboldt 1811	EY, JB, MC, MP, MPS, RBE, RPAB, RPAC.	ICN 161, 372, 2949, 15167; MHN-UC ¹ ; MHN-UC 213, 229, 415, 417, 420, 911.
<i>Sciurus pucheranii</i> (Fitzinger 1867)	RBT, RBN, RDPA, RDPB.	MHN-UC 1106; MHN-UC ¹ ; ICN 1076-1079, 1549, 2000, 2941-2943, 9847, 16408-16409.
SORICOMORPHA (1)		
Soricidae (1)		
<i>Cryptotis colombianus</i> Woodman y Timm 1993	CMP, CML, CMV, CMVA, JB, PNF, RBF, RBM, RBN, RBP, RBV, RDPA, RT, PNB, VBV, VPP.	MHN-UC 180, 386, 421, 423, 424, 729, 807-809, 811-815, 871. 948; ICN 15150-15156, 15196, 16728; FMNH 71020; IAVH 8052.

¹Especies en exhibición en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas, sin número de colección. Localidades dentro de la Cuenca del río Chinchiná donde se han registrado mamíferos. **Cuenca Alta** (Páramo desde 3,800 hasta los 5,200 m): **LGE**: Municipio de Villamaría, vereda La Laguna, sector Escuela Aspar, 3,817 m, 4°59.4052'N, -75°20'179"W. **NSI**: Nevado Santa Isabel, Parque Nacional Natural Los Nevados, municipio de Villamaría, 4,600 m, 4°50'32.5"N, -75°21'55.5"W. **PN**: Municipio de Villamaría, Parque nacional Natural Los Nevados, 3,000 - 4,500 m. **PNA**: Municipio de Villamaría, Parque Nacional Natural Los Nevados, 4,800 m, 4°56'00.6"N, -75°21'00.7"W. **PNB**: Municipio de Villamaría, Parque Nacional Natural Los Nevados, sector Brisas, 4,050 m, 4°56'56.01"N, -75°21'05"W. **PNE**: Municipio de Villamaría, Parque Nacional Natural Los Nevados, 3,100 m, 4°56'00.6"N, -75°21'00.7"W. **PNF**: Municipio de Villamaría, Parque Nacional Natural Los Nevados, sector La Fe, 4°57'30.97"N, -75°24'48.44"W. **PNFA**: Municipio de Villamaría, Parque Nacional Natural Los Nevados, sector El Refugio, 4,300 m, 4°51'32.98"N, -75°22'4.26"W. **PNG**: Municipio de Villamaría, Parque Nacional Natural Los Nevados, sector Brisas, 4,100 m, 4°56'00.6"N, -75°21'00.7"W. **PNN**: Municipio de Villamaría, Parque Nacional Natural Los Nevados, 3,800 m, 4°57'30.97"N, -75°24'48.44"W. **VCN**: Municipio de Villamaría, sector El Cisne, Parque Nacional Natural Los Nevados, 4,114 m, 4°51'10"N, -75°21'53.9"W. **Cuenca Media-Alta** (Bosque Andino desde los 2,400 hasta los 3,800 m). **BCG**: Municipio de Villamaría, reserva Bosques de la CHEC, sector La Gruta, 3,600 m. **BDC**: Municipio de Villamaría, reserva Bosques de la CHEC, 2,800 m, 5°1'15.35"N, -75°25.2'24"W. **BDCA**: Municipio de Villamaría, reserva Bosques de la CHEC, 2,550 m, 4°52'30"N, -75°24'00"W. **BDCB**: Municipio de Villamaría, reserva Bosques de la CHEC, 2,900 m, 4°52'30"N, -75°24'00"W. **ET**: Municipio de Villamaría, vereda El Topacio, 3,300 m, 4°56'17.69"N, -75°26'8.88"W. **LE**: Carretera que desde Manizales conduce a Bogotá, sector La Esperanza, municipio de Manizales, 3,445 m, 5°00'52.88"N, -75°20'37.68"W. **LG**: Municipio de Villamaría, sector La Gruta, 2,700 m, 4°59'43.27"N, -75°24'10.55"W. **LV**: Municipio de Villamaría, vereda La Virginia, 3,600 m, 4°56'17.69"N, -75°26'8.88"W. **PND**: Municipio de Villamaría, Parque Nacional Natural Los Nevados, 3,100 m, 4°56'45.84"N, -75°22'48.77"W. **PNT**: Municipio de Villamaría, Parque Nacional Natural Los Nevados, sector Brisas, 3,728 m, 4°56'29.1"N, -75°22'04.2"W. **RBA**: Municipio de Manizales, Reserva Natural de Río Blanco, a una hora de la vereda Las Palomas, paso nivel, 2,600 m, 05°5'40.76"N, -75°27'34.21"W. **RBBE**: Municipio de Manizales, Reserva Río Blanco, sector Betania, 2,650 m, 05°05'41"N, -75°25'10"W. **RBE**: Municipio de Manizales, Reserva Río Blanco, sector El Azogue, 2,800 m, 5°4'13.52"N, -75°27'19"W. **RBFB**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, fundación Gabriel Arango Restrepo, 2,600 m, 5°04'N, -75°26'W. **RBG**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, sector Quebrada las Guerras, paso nivel, 2,600 m, 5°5'40.76"N, -75°27'34.21"W. **RBM**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, sector Finca Martinica, 3,500 m, 5°04'08"N, -75°22'42"W. **RBMA**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, sector finca Martinica, 3,648 m, 5069767, -75.38604. **RBN**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, sector La Navarra, 3,020 m, 5°04'08"N, -75°22'42"W. **RBP**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, vereda Las Palomas, 2,550 m, 05°05'41"N, -75°25'10"W. **RT**: Municipio de Villamaría, sector Río Termales, 2,600-3,300 m, 4°56'45.84"N, -75°22'48.77"W. **RTC**: Municipio de Villamaría, Reserva de Torre Cuatro, 3,700 m, 5°03'31"N, -75°22'44"W. **TR**: Municipio de Villamaría, sector Tabacal del Ruiz, borde entre los departamentos de Caldas y Tolima, 2,400-3,600 m, 4°56'45.84"N, -75°22'48.77"W. **VP**: Municipio de Manizales, vereda El Paraíso 3,395 m. **VPP**: Municipio de Manizales, vereda El Paraíso, 3,055 m. **VQB**: Municipio de Villamaría, quebrada El Bosque, 2,500 m, 4°54'33"N, -75°27'28"W. **VTR**: Municipio de Manizales, sector Tabacal del Ruiz, 3,600 m, 4°56'45.84"N, -75°22'48.77"W. **VMB**: Municipio de Neira, Vereda Monte Bonito, finca la Gruta-Santa Ana, 3,375 m, 5°08'13.82"N, -75°19'57.4"W. **Cuenca Media-Alta** (Bosque Sub-Andino desde los 1,000 hasta los 2,400 m). **ABF**: Municipio de Manizales, vereda Alto Bonito, sector Finca la Manga, riachuelo La Manga, 1,968 m, 5°07'20.37"N, -75°29'59.50"W. **ABM**: Municipio de Manizales, vereda Alto Bonito, riachuelo Los Murciélagos, 1,912 m, 5°07'09.40"N, -75°30'07.28"W. **BDCC**: Municipio de Villamaría, sector Bosques de la CHEC, 2,340 m, 4°52'30"N, -75°24'00"W. **BP**: Municipio de Manizales, bosque popular el prado, 2,150 m, 5°02'6.60"N, -75°28'50.33"W. **CMA**: Municipio de Manizales, área urbana de la ciudad de Manizales, 2,200 m, 5°23'N, -75°29'W. **CMB**: Municipio de Manizales, ciudad de Manizales, sector Cerro Sancancio, 2,150 m, 05°03'26"N, -75°30'01"W. **CMC**: Municipio de Manizales, ciudad de Manizales, 2,100 m, 5°05'13"N, -75°31'45" W. **CMCC**: Municipio de Manizales, ciudad de Manizales, centro de la ciudad de Manizales, 2,150 m, 5°03'44"N -75°30'49"W. **CMCH**: Municipio de Manizales, ciudad Manizales, sector Chipre, 2,170 m, 5°04'38"N, -75°31'36"W. **CMF**: Municipio de Manizales, ciudad de Manizales, sector La Francia, 2,150 m, 5°04'14"N, -75°31'41"W. **CML**: Municipio de Manizales, ciudad de Manizales, sector La Carola, 2,150 m, 5°03'26"N, -75°30'01"W. **CMO**: Municipio de Manizales, ciudad de Manizales, sector parque Olaya Herrera, 2,150 m, 5°02'48"N, -75°29'40"W. **CMP**: Municipio de Manizales, ciudad de

Manizales, sector Palo Grande, 2,150 m, 5°02'48"N, -75°29'40"W. **CMS**: Municipio de Manizales, ciudad de Manizales, sector La Sultana, carretera hacia la quebrada olivares, 2,200 m, 5°03'54"N, -75°27'47"W. **CMV**: Municipio de Manizales, ciudad de Manizales, sector Villa Pilar, 2,000 m, 5°05'13"N, -75°31'45"W. **CMVA**: Municipio de Manizales, ciudad de Manizales, sector Villa Pilar, 2,105 m, 5°05'13"N, -75°31'45"W. **EC**: Municipio de Manizales, Cenicafé, Reserva Natural Plan alto, 1,310-1,450 m, 5°00'N, -75°36'W. **EP**: Municipio de Manizales, vereda El Palo, Bosque Playa Rica, 1,290 m, 5°00'54.2"N, -75°35'43.6"W. **EY**: Municipio de Manizales, sector Eco-Parque Los Yarumos, 2,150 m, 5°03'57"N, -75°28'54"W. **HF**: Municipio de Manizales, vereda Hoyo frío, 1,450 m, 4°59'48.8"N, -75°35'39.9"W. **JB**: Municipio de Manizales, Jardín Botánico de la Universidad de Caldas, 2,150 m, 5°02'48"N, -75°29'40"W. **MDV**: Municipio de Villamaría, 1,700 m, 5°01'20.60"N, -75°31'24.66" W. **MEA**: municipio de Manizales, sector El Arenillo, 1,900 m, 5°63'21.16"N, -75°32'20.05"W. **MFP**: Municipio de Manizales, Fundación Pedro Uribe cerca al sector de Maltería, 2,300 m, 5°2'28.91"N, -75°26'48.17"W. **MN**: Municipio de Neira, 2,350 m. **MP**: Municipio de Palestina, 5°04'53.30"N, -75°40'53.90"W. **MPS**: Municipio de Palestina, sector Santaguada, 1,100 m, 5°04'53.30"N, -75°40'53.90"W. **MRC**: Municipio de Manizales, Río Chili, 1,900 m, 5°05'49.76"N, -75°31'41.16"W. **LR**: Municipio de Chinchiná, vereda La Floresta, sector La Romelia, 1,400 m, 4°58'N, -75°40'W. **MC**: Municipio de Chinchiná, 4°59'N, -75°36'W. **MV**: Municipio de Villamaría, 2,500 m. **MVA**: Municipio de Villamaría, 4°56'17.69"N, 7-5°26'8.88"W. **NA**: Municipio de Chinchiná, vereda La Floresta, estación experimental El Naranjal, 1,400 m, 04°59'N, -75°39'W. **PH**: Municipio de Manizales, vereda Pueblo Hondo, parte baja de la quebrada Pueblo Hondo o Las Animas, 1,950 m, 5°08'05"N, -75°19'41"W. **PLL**: Área urbana de la ciudad de Manizales, sector Punte de la libertad, 2,068 m, 5°02'02.48"N, -75°27'56.88"W. **PLP**: Municipio de Manizales, peaje Las Pavas, carretera que desde el municipio de Chinchiná conduce a Manizales, 1,212 m, 5°01'47.01"N, -75°35'83.28"W. **RB**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, 2,350 m, 05°4'13.52"N, -75°27'19.24"W. **RBBC**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, vereda Buenavista, sector Campo Amor, 2,240 m, 5°03'16"N, -75°28'19"W. **RBBV**: Municipio de Manizales, reserva de Río Blanco, vereda Buena Vista, 2,360 m, 5°03'16"N, -75°28'19"W. **RBC**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, sector La Fe, 2,350 m, 5°4'13.52"N, -75°27'19.24"W. **RBT**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, sector Bocatoma, 2,350 m, 5°4'13.52"N, -75°27'19.24"W. **RBV**: Municipio de Manizales, Reserva de Río Blanco, sector estación Viveros, 2,300 m, 5°4'13.52"N, -75°27'19.24"W. **RC**: Municipio de Manizales, sector Río claro, 1,624 m, 4°59'07.84"N, -75°33'1.7"W. **RDP**: Municipio de Manizales, Recinto del Pensamiento, sector Maltería, quebrada Guayabal, 2,200 m, 05°02'N, -75°26'W. **RDPA**: Municipio de Manizales, Recinto del Pensamiento, 2,180 m, 5°2'28.91"N, -75°26'48.17"W. **RDPB**: Municipio de Manizales, Recinto del pensamiento, 2,150 m. **RG**: Municipio de Manizales, vereda La Cabaña, Río Guacaica, 1,100 m. **RPA**: Municipio de Manizales, Reserva de Plan Alto, 1,350 m, 4°59'54.2"N, -75°35'17.2"W. **RPAA**: Municipio de Manizales, Reserva Plan Alto, 1,300 m, 4°59'48.8"N, -75°35'39.9"W. **RPAB**: Municipio de Manizales, Reserva Plan Alto, 1,450 m, 4°59'48.8"N, -75°35'39.9"W. **RPAC**: Municipio de Manizales, Reserva Plan Alto, 1,150 m, 4°59'48.8"N, -75°35'39.9"W. **RPAD**: Municipio de Manizales, Reserva Plan Alto, 1,420 m, 4°59'48.8"N, -75°35'39.9"W. **RPAE**: Municipio de Manizales, reserva Plan Alto, 1,350 m, 4°59'48.8"N, -75°35'39.9"W. **RPAF**: Municipio de Manizales, Reserva Plan Alto, 1,516 m, 4°59'54.2"N, -75°35'17.2"W. **RPAG**: Municipio de Manizales, Reserva Plan Alto, 1,560 m, 4°59'48"N, -75°35'39.9"W. **SA**: Municipio de Palestina, vereda Santaguada, 1,100 m, 5°04'53.30"N, -75°40'53.90"W. **VA**: Municipio de Manizales, vereda El Águila, quebrada La Caracola, 1,870 m, 5°6'13.22"N, -75°30'36.64"W. **VAC**: Municipio de Villamaría, vereda Corozal, Bosque Alto Corozal, 2,200 m, 4°56'01.77"N, -75°31'02.77"W. **VB**: Municipio de Palestina, quebrada Santaguada, sector Villa Beatriz, 1,100 m, 5°04'53.30"N, -75°40'53.90"W. **VBV**: Municipio de Manizales, vereda Buena Vista, sector Cerro de Oro, 2,240 m, 5°03'16"N, -7-5°28'19"W. **VC**: Municipio de Manizales, vereda La Cabaña, 1,000 m, 5 13°04'39"N, -75°37'34.96"W. **VEA**: Municipio de Manizales, vereda Espartillal, parte alta de la quebrada Pueblo Hondo o Las Animas, 2,090 m, 5°07'33. 50"N, -75°29'11.09"W. **VG**: Municipio de Manizales, vereda Gallinazo, 2,180 m, 5°05'13"N, -75°31'45"W. **VGA**: Municipio de Manizales, vereda Gallinazo, 2,300 m, 5°2'28.91"N, -75°26'48.17"W. **VLL**: Municipio de Villamaría, vereda Llanitos, finca La Vella, 1,500 m, 4°59'40.83"N,

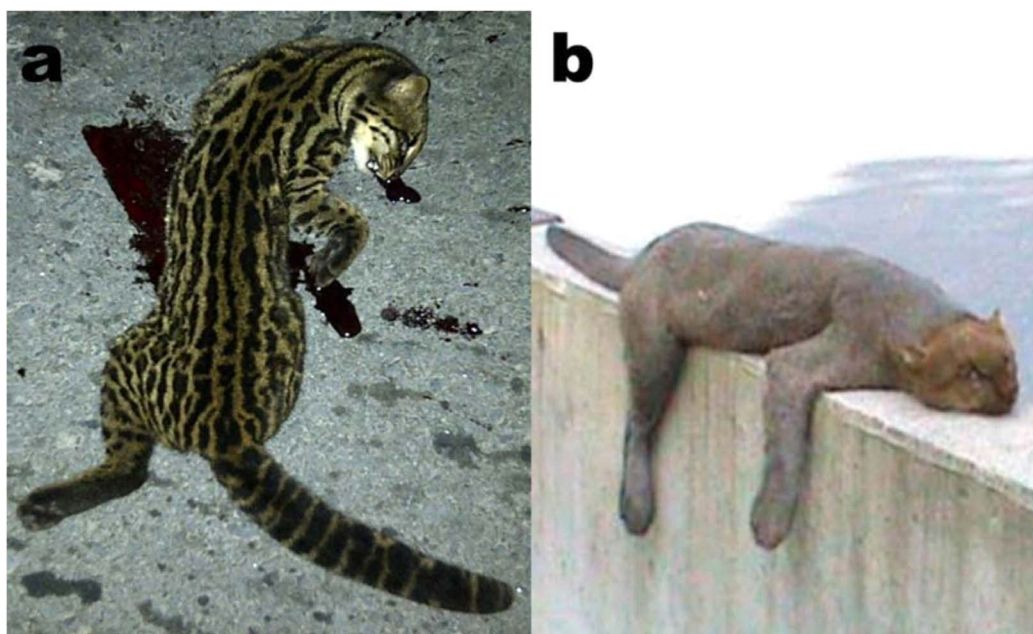


Figura 3. Algunos de los felinos registrados dentro de la cuenca del río Chinchiná, departamento de Caldas, Colombia. a) *Leopardus tigrinus* (tigriillo) atropellado en el área urbana de la ciudad de Manizales, sector puente de la libertad, vía panamericana (fotografía: Oscar Castellanos). b) *Puma yagouaroundi* (yaguarundí) atropellado en el área rural del municipio de Manizales, en la carretera que desde el municipio de Chinchiná conduce a Manizales, sector peaje Las Pavas.

-75°32'35.39"W. **VSE:** Municipio de Manizales, quebrada El Zancudo, cerca al camino La Elvira, 2,396 m, 5°04'N, -75°27'W. **VTP:** Municipio de Manizales, vereda Tres Puertas, 1,000 m, 5°05'37.31"N, -75°38'51.6"W. **VAZ:** Municipio de Manizales, vereda Alto del Zarzo, 2,150 m. **VLT:** Municipio de Villamaría, sector La Telaraña, 2,250 m. **Cuenca Baja** (Selva Húmeda desde los 800 hasta los 1,000 m). **HT:** Municipio de Neira, vereda El Bohío, finca Tintiná, 840 m, 5°14'02"N, -75°41'07"W. **KCN:** Municipio de Manizales, vereda Kilómetro 41, finca Los Naranjos, 970 m, 5°7'7.78"N, -75°40'10.25"W. **KCP:** Municipio de Manizales, vereda Kilómetro 41, bosque natural de la finca El Porvenir, 997 m, 5°07'20.2"N, -75°40'13.5"W.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a J. Salazar Escobar, por permitirnos el acceso a la colección de mamíferos bajo su cuidado en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas (Colombia). A O. Castellanos, profesional universitario del Parque Nacional Natural los Nevados por compartir sus fotografías y registros con nosotros.

Literatura citada

- AGUIRRE, L., H. MANTILLA, B. MILLER, Y L. DÁVALOS.** 2008. *Vampyrum spectrum*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>.
- ALBERICO, M., V. ROJAS-DIAZ, Y J. G. MORENO.** 1999. Aportes sobre la taxonomía y distribución de los puercoespines (Rodentia: Erethizontidae) en Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, físicas y Naturales, Suplemento especial, Diciembre 23:595-612.
- ALBERICO, M., A. CADENA, J. HERNÁNDEZ-CAMACHO, Y Y. MUÑOZ-SABA.** 2000. Mamíferos (Synapsida: Theria) de Colombia. Biota Colombiana 1:43-75.
- ÁLVAREZ-MEJÍA, L. M., D. SANÍN, N. F. ÁLZATE-QUINTERO, N. CASTAÑO, J. C. MANCERA-SANTA, Y G. GONZÁLEZ-OCAMPO.** 2007. Plantas de la Región Centro-sur de Caldas. Centro Editorial Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.
- AMORI, G., J. KOPROWSKI, Y L. ROTH.** 2008. *Sciurus pucheranii*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. <www.iucnredlist.org>.
- BARQUEZ, R., Y M. DIAZ.** 2008. *Sturnira oporaphilum*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>.
- CASTAÑO, J. H., Y J. D. CORRALES.** 2010. Mamíferos de la cuenca del río La Miel (Caldas): diversidad y uso cultural. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural 14:56-75.
- CASTAÑO, J. H., Y D. M. CARDONA.** 2005. Presencia del mono nocturno andino (*Aotus lemurinus*) en fragmentos de bosque de la cuenca media del río Cauca. Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural 9:111-117.
- CASTAÑO, J. H., D. M. CARDONA., Y J. E. BOTERO.** 2010. Ecología del mono nocturno andino (*Aotus lemurinus*) en fragmentos de bosque subandinos de Colombia. Pp. 69-90 in Primatología en Colombia: avances al principio del milenio (Pereira-Bengoá, V., P. R. Stevenson., M. L. Bueno, y F. Nassar-Montoya, eds.). Gráficas San Martín. Bogotá, Colombia.
- CASTAÑO, J. H., Y. MUÑOZ-SABA., J. H. BOTERO., Y J. H. VÉLEZ.** 2003. Mamíferos del departamento de Caldas-Colombia. Biota Colombiana 4:247-259.

- CLEEF, A. M., J. O. RANGEL-CH., Y S. SALAMANCA. 2003. The Andean rain forest of the Parque Los Nevados Transect, Cordillera Central, Colombia. Pp. 79-143 in Estudios en Ecosistemas Tropandinos (Van der hammen, T., A. Dos Santos, eds.). Berlín, Alemania.
- CORPOCALDAS (Corporación Autónoma de Caldas), y J. H. CASTAÑO. 2010. Recopilación y consolidación de los estudios, reportes e inventarios de la mastofauna del departamento de Caldas. Corpocaldas, Manizales, Colombia.
- CORPOCALDAS (Corporación Autónoma de Caldas). 2000. Coleccionable Gestión Ambiental. No. 1. La cuenca del río Chinchiná. Manizales, Colombia.
- CORPOCALDAS (Corporación Autónoma de Caldas). 2001. Plan de Gestión Ambiental para Caldas 2001-2006. Manizales, Colombia (Documento inédito).
- CORPOCALDAS (Corporación Autónoma de Caldas). 2009. Plan de Prevención, Mitigación y Contingencias de Incendios Forestales del Departamento de Caldas. Corpocaldas, Fundación Biodiversa. Manizales, Colombia.
- CORRALES, J. D., Y S. LÓPEZ. 2009. Estructura del microhábitat y diversidad del ensamble de pequeños mamíferos en la reserva forestal Torre Cuatro Manizales, Caldas. Tesis de grado. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.
- CUATRECASAS, J. 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Pérez-Arbelaezia 2:155-283.
- DE OLIVEIRA, T., E. EIZIRIK, J. SCHIPPER, C. VALDERRAMA, R. LEITE-PITMAN, Y E. PAYAN. 2008. *Leopardus tigrinus*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>.
- DEFLEUR, T. R. 2003. Primates de Colombia Conservación Internacional, serie de guías tropicales de campo 4. Conservación Internacional. Bogotá, D. C., Colombia.
- DELGADO, C., M. GÓMEZ-LAVERDE, Y V. PACHECO. 2008. *Thomasomys bombycinus*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>.
- GÓMEZ, B. 2004. Estructura de la comunidad de pequeños mamíferos en un gradiente altitudinal, Reserva Río Blanco, Manizales-Caldas. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- HARTSHORN, G. S. 2002. Biogeografía de bosques neotropicales. Pp. 59-81 en Ecología y conservación de bosques Neotropicales (Guariguata M. R., y G. H. Kattan, eds.). Ediciones LUR. Cartago, Colombia.
- HOLDRIDGE, L. R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica.
- LIZCANO, D., Y S. J. ALVAREZ. 2008. *Mazama rufina*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>.
- LOZANO-ZAMBRANO, F. H. 2009. Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá, Colombia.
- MORALES-JIMÉNEZ, A. L., Y S. DE LA TORRE. 2008. *Aotus lemurinus*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>.
- MUÑOZ, A. J. 2001. Los murciélagos de Colombia: sistemática, distribución, descripción, historia natural y ecología. Ciencia y Tecnología Editorial Universidad de Antioquia, Colombia.

- PACHECO, V., L. AGUIRRE, Y H. MANTILLA.** 2008. *Sturnira aratathomasi*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2 <www.iucnredlist.org>.
- RANGEL-CH, J. O., A. M. CLEEF, Y S. SALAMANCA.** 2003. The equatorial interandean and subandean forest of the Parque Los Nevados Transect, Cordillera Central, Colombia. Pp. 143-205 in Estudios en Ecosistemas Tropandinos (Van Der Hammen, T., A. Dos Santos, eds.). Berlín, Alemania.
- REID, F., Y K. HELGEN.** 2008. *Nasuella olivacea*. In IUCN Red List of Threatened Species 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2 <www.iucnredlist.org>.
- RODRÍGUEZ, D., D. ARMENTERAS, Y A. MORALES.** 2004. Ecosistemas de los Andes colombianos. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt", GEMA. Bogotá, Colombia.
- RODRÍGUEZ-POSADA, M.** 2010. Murciélagos de un bosque en los Andes Centrales de Colombia con notas sobre su taxonomía y distribución. *Caldasia* 32:167-182.
- RONCANCIO, N. J., Y J. ESTEVEZ.** 2007. Evaluación del ensamblaje de murciélagos en áreas sometidas a regeneración natural y a restauración por medio de plantaciones de aliso. *Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural* 11:131-143.
- SALAMANCA, S., A. M. CLEEF, Y J. O. RANGEL-CH.** 2003. The Paramo vegetation of the volcanic Ruiz-Tolima. Pp. 1-79 en Estudios en Ecosistemas Tropandinos (Van Der Hammen T., y A. Dos Santos, eds.). Berlín, Alemania.
- SANABRIA, M. J.** 1998. Inventario y distribución espacial de la Fauna de la cuenca del Río Chinchiná. Corpocaldas. Manizales, Colombia.
- SÁNCHEZ, F., Y M. ALVEAR.** 2003. Comentarios sobre el uso de hábitat, dieta y conocimiento popular de los mamíferos en un bosque andino en el departamento de Caldas. *Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural* 7:121-144.
- SÁNCHEZ, F.** 2000. Inventario de mamíferos en un bosque andino del departamento de Caldas, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural* 4:17-25.
- SÁNCHEZ, F., P. SÁNCHEZ-PALOMINO, Y A. CADENA.** 2004. Inventario de mamíferos en un bosque de los andes centrales de Colombia. *Caldasia* 26:291-309.
- SCO.** 2012. Sociedad Caldense de Ornitología: A menos de una hora de Manizales un reporte excepcional. *Merganetta* 58:1.
- SIMMONS, N. B., Y R. S. VOSS.** 1998. The mammals of Paracou, French Guiana: a neotropical lowland rainforest fauna. Part 1 Bats. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 237:1-219.
- SUPERINA, M., Y A. M. ABBA.** 2010. *Cabassous centralis*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2 <www.iucnredlist.org>.
- TIRIRA, D., J. VARGAS, Y J. DUNNUM.** 2008a. *Dinomys branickii*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2 <www.iucnredlist.org>.
- TIRIRA, D., C. BOADA, Y J. VARGAS.** 2008b. *Cuniculus taczanowskii*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2 <www.iucnredlist.org>.
- VAN DER HAMMEN, T., Y A. DOS SANTOS.** 2003. Studies on tropical Andean ecosystems. La Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque Los Nevados. Berlín, Alemania.

- VELAZCO, P., Y L. AGUIRRE.** 2008. *Histiotus humboldti*. In IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2 <www.iucnredlist.org>.
- WILSON, D. E., Y D. M. REEDER.** 1993. Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference. Second edition. Smithsonian Institution Press, Washington, EE.UU.
- WILSON, D. E., Y D. M. REEDER.** 2005. Mammal Species of the World, a taxonomic and geographic reference. Third edition. John Hopkins University Press, Baltimore, EE.UU.

Sometido: 12 de marzo de 2013

Revisado: 16 de abril de 2013

Aceptado: 18 de abril de 2013

Editor asociado: Consuelo Lorenzo

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Morfometría geométrica craneal en tres especies de roedores arborícolas neotropicales (Rodentia: Cricetidae: *Rhipidomys*) en Venezuela

Franger J. García^{1,2*} y Elvira Sánchez-González³

Abstract

In this study, we compared a new population of *Rhipidomys* from the Sierra de Aroa-Yaracuy State in Venezuela with taxa included within the *R. fulviventer* section *sensu* Tribe (1996). We used geometric morphometrics from selected landmarks on the skull, and mandible of three species of *Rhipidomys*, and three subspecies of *R. fulviventer* housed in Venezuelan museums. We grouped every taxon as *R. venustus* Aroa (Sierra de Aroa), *R. venustus* (Sistema de colinas Lara-Falcón, Cordillera Central, and Andes-Cordillera de Mérida), *R. wetzeli* (Guayana), *R. fulviventer elatturus* (Andes-El Tamá), *R. fulviventer* ssp. 1 (Cordillera Central), and *R. fulviventer tenuicauda* (Cordillera Oriental). We measured every landmark with its opposite with the purpose to corroborate the results with the linear morphometrics, using the program TPSDig. The results support the proposed taxonomy that previously recognized three species, and three subspecies within *R. fulviventer*. However, the analysis separated *R. venustus* Aroa as a distinct group. The landmarks on the dorsal view showed the greatest differences in the *Rhipidomys* studied. *R. venustus* Aroa, and *R. venustus* were the two largest taxa, and *R. wetzeli* was the smallest. Among the subspecies of *R. fulviventer*, *R. f.* ssp. 1, showed less differentiation in the shape, and *R. f. tenuicauda* showed the strongest differentiation. The Sierra de Aroa population needs careful taxonomic revision because it may represent an undescribed taxon within *R. venustus*.

Key words: geometric morphometrics, landmarks, Sierra de Aroa, Yaracuy, Yurubí National Park.

Resumen

Con el propósito de comparar una nueva población de *Rhipidomys* en Venezuela (Sierra de Aroa-estado Yaracuy), se empleó morfometría geométrica en cráneos de tres

¹Laboratorio Museo de Zoología, Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología (FACyT). Universidad de Carabobo, Valencia-Venezuela. Campus Bárbula, municipio Naguanagua, Venezuela, Valencia 2005. E-mail: cormura@yahoo.com (FJG)

²Grupo de Exploraciones Científicas Minas de Aroa GECMA-Yaracuy. Calle Comercio, Aroa, municipio Bolívar. cormura@yahoo.com

³Departamento de Biología de Organismos, División de Ciencias Biológicas, Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Miranda-Venezuela. E-mail: elviraalejandra@gmail.com (ES-G)

*Corresponding autor

especies (Sección *fulviverter*), depositados en colecciones venezolanas. Los taxa fueron agrupados de la siguiente forma: *R. venustus* Aroa (Sierra de Aroa), *R. venustus* (Sistema de colinas Lara-Falcón, Cordillera Central y Andes-Cordillera de Mérida), *R. wetzeli* (Guayana), *R. fulviverter elatturus* (Andes-El Tamá), *R. fulviverter* ssp. 1 (Cordillera Central) y *R. fulviverter tenuicauda* (Cordillera Oriental). Se seleccionaron Puntos Anatómicos de Referencia (PAR) en los cráneos y mandíbulas, utilizando el programa TPSDig. Para corroborar estos resultados se hicieron medidas lineales de cada PAR con su opuesto, usando de igual manera TPSDig. Los resultados coincidieron con el arreglo taxonómico actual, separando tres especies y tres subespecies; pero *R. venustus* Aroa quedó en un grupo distinto. El lado dorsal del cráneo expresó las mayores diferencias entre los taxa. *R. venustus* Aroa y *R. venustus* fueron las especies más grandes y *R. wetzeli* fue la más pequeña. Dentro de *R. fulviverter*, *R. f. ssp. 1*, manifestó menos diferencia en la forma y *R. f. tenuicauda* fue la que mostró más diferenciación. La población de la Sierra de Aroa amerita atención ya que podría representar a un taxón no descrito dentro de *R. venustus*.

Palabras clave: morfometría geométrica, Parque Nacional Yurubí, puntos anatómicos de referencia, Sierra de Aroa, Yaracuy.

Introducción

Los roedores arborícolas del género *Rhipidomys* Tschudi 1845, pertenecen a un clado estrictamente Neotropical, incluidos en la tribu Thomasomyini (Tribe 1996; Musser y Carleton 2005). El área de distribución de este género, abarca desde Panamá hasta el sudeste de Brasil y norte de Argentina (Tribe 1996; López-Fuster *et al.* 2001), existiendo también registros en algunas islas del norte de Sur América (Trinidad y Tobago, Bonaire-Antillas Holandesas e Isla de Margarita en Venezuela; Tribe 1996). En la última revisión taxonómica y geográfica de los mamíferos del mundo, se reconocen 17 especies de *Rhipidomys* (Musser y Carleton 2005). Sin embargo, recientes revisiones morfológicas, acompañadas de análisis moleculares para algunos representantes de este género en Brasil y Paraguay (Tribe 2005; De Andrade Costa *et al.* 2011; De la Sancha *et al.* 2011), han elevado el número a 21 especies.

En Venezuela *Rhipidomys* se encuentra representado por ocho especies (Sánchez-Hernández y Lew 2012), incluidas en tres secciones propuestas por Tribe (1996): sección *fulviverter* (*R. fulviverter*, *R. venustus* y *R. wetzeli*), sección *macconnelli* (*R. macconnelli*) y sección *leucodactylus* (*R. leucodactylus*, *R. couesi*, *R. venezuelae* y *R. nitela*). Actualmente se reconocen sólo tres subespecies para los *Rhipidomys* venezolanos dentro de *R. fulviverter* (*R. f. elatturus*, *R. f. tenuicauda* y *R. f. ssp. 1*; Musser y Carleton 2005).

Algunos de los caracteres morfológicos externos que distinguen a los representantes de este género son: pies anchos con almohadillas plantares desarrolladas, acompañada de un parche de pelos oscuro sobre su superficie dorsal; cola gruesa y peluda, frecuentemente con un mechón de pelos terminales que varía en longitud; rostro corto con ojos grandes y vibras mistaciales largas, sobrepasando las puntas de las orejas cuando éstas son plegadas hacia atrás. A nivel craneal, la morfología posterior del paladar y su extensión hacia la parte anterior del tercer molar superior, en conjunto con

las fosas palatinas post-laterales pequeñas o ausentes (Voss *et al.* 2001), son algunos de los caracteres diagnósticos que diferencian a estos roedores del resto en la subfamilia sigmodontinae.

Además de los caracteres tradicionales (e.g. mediciones, morfología externa e interna), que comúnmente son utilizados para separar a los diferentes organismos vivos y extintos, se han empleado desde hace algún tiempo técnicas basadas en morfometría geométrica (Cardni y Elton 2007). La morfometría geométrica es un método matemático con fundamentos biológicos que descompone la variación resultante de la fisiología de los individuos (tamaño), de aquellas más estables propias de la población, producto del componente genético (forma) en un espacio bi o tridimensional (Bookstein 1991; Rohlf y Marcus 1993; Adams *et al.* 2004; Zelditch *et al.* 2004). Esta potente herramienta se basa en un análisis sobre la conformación (forma) de diversas estructuras biológicas en los individuos (Dujardin 2000), determinando así la variación de la forma existente en dichas estructuras (Rohlf y Marcus 1993).

Este método ha sido empleado en el campo de la taxonomía y filogenia de invertebrados (e.g. Soto-Vivas *et al.* 2011; Bechara y Liria 2012), así como de vertebrados (e.g. Acero *et al.* 2005; Cordeiro-Estrela *et al.* 2008; Marchán-Rivadeneira *et al.* 2010); en este último caso, se han utilizado en diferentes estructuras morfológicas como cráneos, molares, mandíbulas y escapulas en diversos grupos de mamíferos para determinar variaciones intra e interespecíficas y establecer relaciones filogenéticas (Guerrero *et al.* 2003; Bogdanowicz *et al.* 2005; Camul y Polly 2005; Morgan 2009; Lencastre 2011).

Particularmente, en el estudio de mamíferos venezolanos, se conocen algunos trabajos que utilizaron morfometría geométrica para describir los cambios en la forma de los miembros posteriores de nueve géneros de roedores de la subfamilia Sigmodontinae (Rivas y Linares 2006) y documentar las relaciones filogenéticas asociadas con la variación y desarrollo de los cráneos para dos especies del complejo *Proechimys guairae* y *P. trinitatis* (Corti *et al.* 1998).

Partiendo de nuevos registros de individuos de una población alopátrica de *Rhipidomys*, asignados a la especie *R. venustus* proveniente del noroccidente de Venezuela (Sierra de Aroa), se realizó un estudio comparativo entre la conformación craneal y mandibular de las poblaciones en la Sección *fulviventor* (*sensu* Tribe 1996) para el país, empleando técnicas de morfometría geométrica (Rohlf 2007). Se planteó responder las siguientes interrogantes: 1) ¿Podrá la morfometría geométrica discriminar de igual manera como la morfometría tradicional a las especies y subespecies de la Sección *fulviventor* señaladas para Venezuela, basados en la conformación de sus cráneos y mandíbulas en un número pequeño de muestras disponibles? 2) ¿Son estas conformaciones caracteres diagnósticos de apoyo, que permitan determinar si la nueva población alopátrica de la Sierra de Aroa, asignada a *Rhipidomys venustus* es conespecífica con el resto?

Material y Métodos

Material Biológico. Se examinaron 37 cráneos de individuos adultos (clases de edad 2-4; Tribe 2005), incluidos en tres especies de *Rhipidomys* (*R. venustus*, *R. fulviventor* y *R. wetzeli*) y tres subespecies de *Rhipidomys fulviventor* (*R. f. elatturus*, *R. f.*

tenuicauda y *R. f. ssp. 1*). Todos los especímenes se encuentran depositados en las siguientes colecciones zoológicas venezolanas (Apéndice 1): Museo de Zoología de la Universidad de Carabobo (MZUC-Valencia, Estado Carabobo) y Museo de la Estación Biológica de Rancho Grande (EBRG-Maracay, Estado Aragua).

Adquisición de datos. Debido al bajo número de muestras disponibles en las colecciones venezolanas y a la no evidencia de dimorfismo sexual de *Rhipidomys* en Venezuela (Tribe 1996), para los análisis no se consideraron los sexos. Como uno de nuestros objetivos estaba enfocado en comparar los nuevos registros de *R. venustus* de la Sierra de Aroa, ya que los mismos provienen de un área que ha sido considerada con altos niveles de especiación y endemismo (Delgado *et al.* 2011; García *et al.* 2012; Quiroga-Carmona y Molinari 2012), se le colocó a éstos una simbología y nombre distinto del resto de los *Rhipidomys venustus* en todos los análisis. Sin embargo, hay que destacar que al momento de correr los datos en los programas, toda la muestra fue tratada como un solo conjunto y cada programa se encargó de hacer las discriminaciones correspondientes.

Los taxa quedaron asignados de la siguiente manera (Fig. 1): *R. venustus* (Sistema de Colinas Lara-Falcón, Cordillera Central y Andes, en la Cordillera de Mérida), *R. venustus* Aroa (Sierra de Aroa), *R. f. elatturus* (Andes del Macizo El Tamá), *R. f. ssp.1* (Cordillera Central), *R. f. tenuicauda* (Cordillera Oriental) y *R. wetzeli* (Guayana).

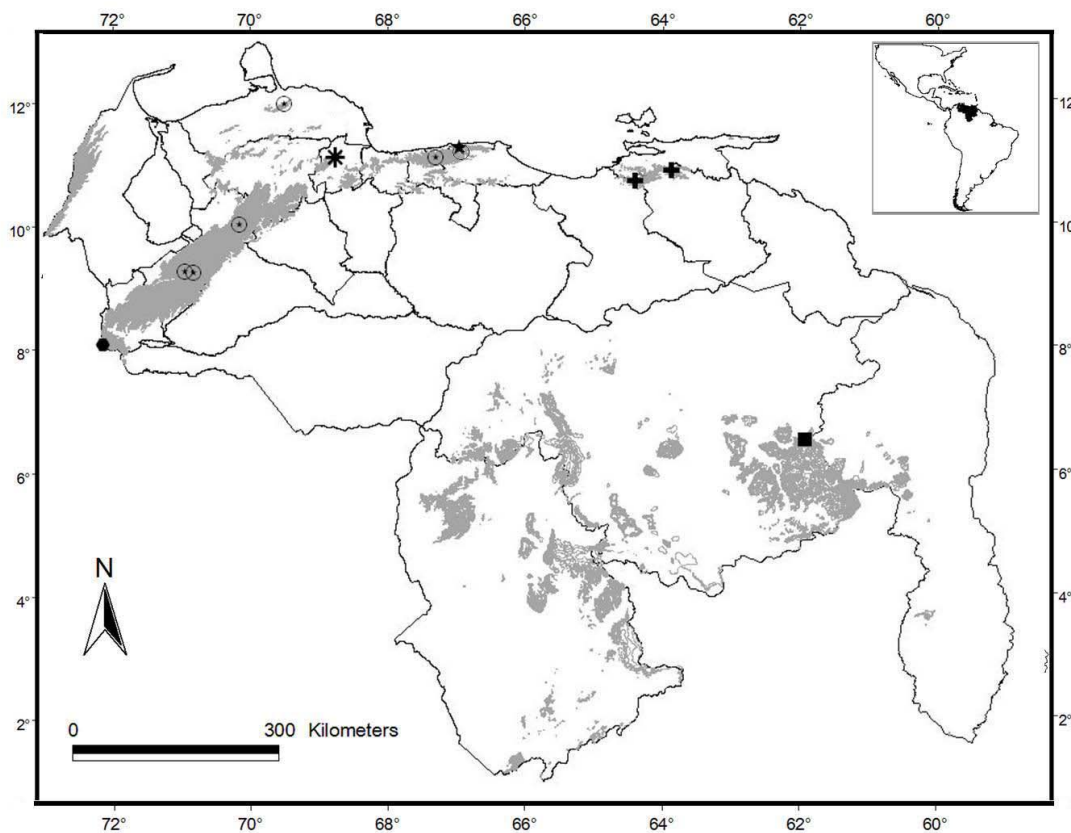


Figura 1. Ubicaciones geográficas de los grupos de *Rhipidomys* (Sección *fulviventer*), en Venezuela, utilizadas en este trabajo. *R. venustus* Aroa, Sierra de Aroa (Asterisco); *R. f. ssp. 1*, Cordillera Central (estrella); *R. wetzeli*, Guayana (cuadro); *R. f. elatturus*, Andes (Macizo El Tamá; círculo sólido); *R. venustus*, Sistema de Colinas Lara-Falcón, Cordillera Central y Andes (Cordillera de Mérida; círculo abierto) y *R. f. tenuicauda*, Cordillera Oriental (cruz). Las áreas de color gris corresponden a alturas mayores de 1,000 m.

Con el objetivo de minimizar el error en las escalas, todos los cráneos fueron fotografiados por la misma persona y se estableció un protocolo para la toma de las fotos (uso de trípode, uso de una escala en cada foto, calibración de luz proveniente de la cámara,

fuente externa y ambiental). Las estructuras fotográficas correspondieron a las vistas dorsal, ventral y lateral de cada cráneo, así como la vista lateral de la mandíbula (Fig. 2). Para cada vista se escogieron Puntos Anatómicos de Referencia (PAR) del tipo I y II (*sensu* Bookstein 1991; Fig. 2). Los criterios para escoger los PAR estuvieron basados en puntos morfológicos homólogos considerados como caracteres taxonómicos dentro del grupo (Tribe 1996). Adicionalmente, para comparar las diferencias en forma y tamaño se realizaron medidas lineales en cada PAR con su respectivo opuesto (Tabla 1).

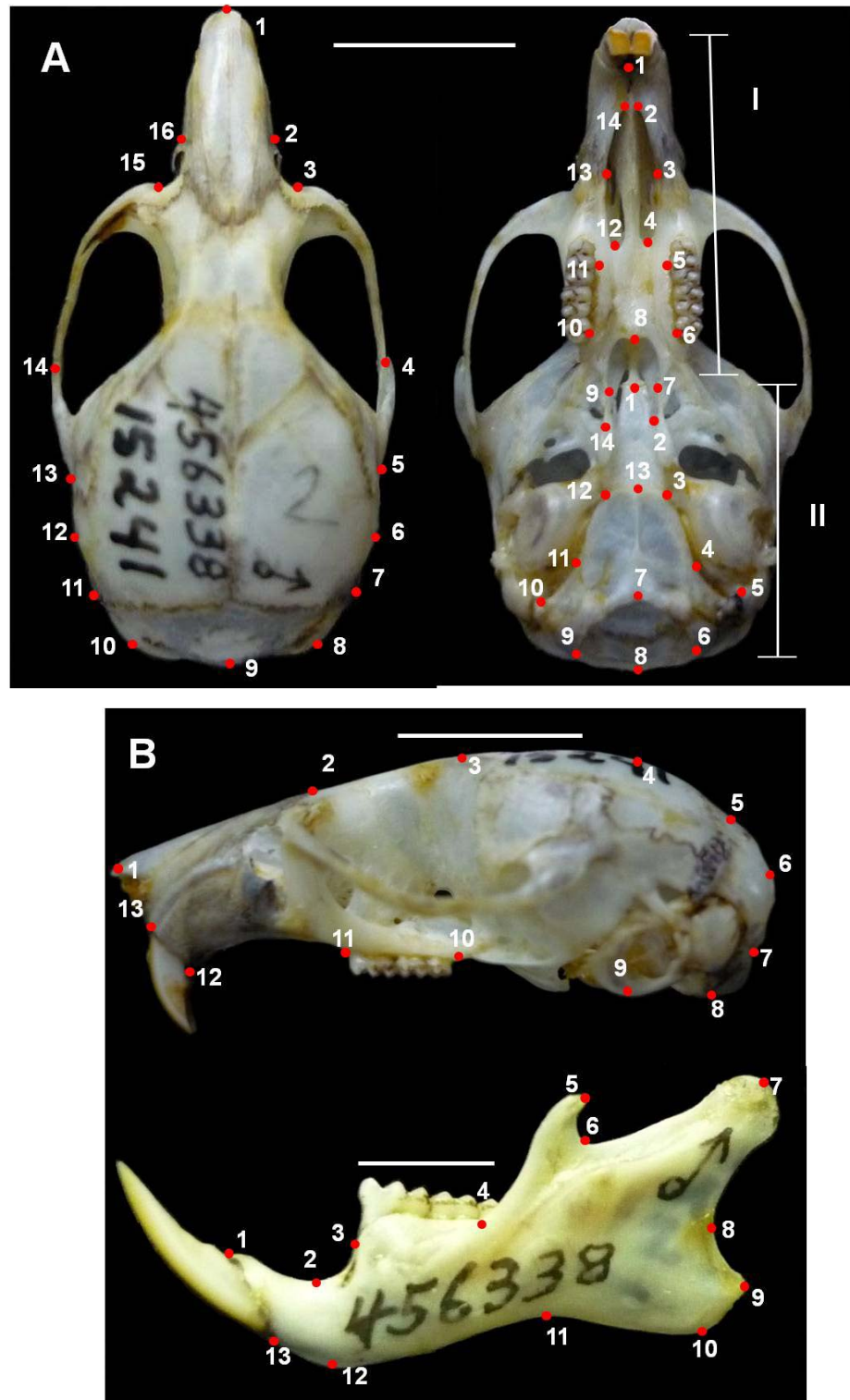


Figura 2. Cráneo de *R. f. elatturus* (EBRG-15241), mostrando los PAR usados para la morfometría geométrica (A). Vista dorsal (izquierda) y ventral (derecha) del cráneo. I = sección anterior-media y II = sección media-posterior. Escala = 10mm. (B). Vista lateral del cráneo (superior) y mandíbula lateral (inferior). Escalas 10 y 3 mm, respectivamente.

MEDIDAS CRANEALES	<i>R. venustus</i>	<i>R. venustus</i> Aroa	<i>R. f.</i> <i>tenuicauda</i>	<i>R. f. elatturus</i>	<i>R. f. ssp. 1</i>	<i>R. wetzeli</i>
DORSAL	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 7	<i>n</i> = 6	<i>n</i> = 3	<i>n</i> = 3
Longitud Total del cráneo	41.50 ± 3.76 35.39 - 44.88	42.80 ± 3.48 36.29 - 46.85	39.03 ± 2.64 34.88 - 42.77	34.69 ± 1.25 32.77 - 36.75	35.50 ± 0.86 34.89 - 36.49	31.56 ± 2.63 29.43 - 34.51
Ancho occipital	9.95 ± 0.80 8.84 - 11.24	9.74 ± 0.86 8.94 - 10.93	9.07 ± 0.65 8.21 - 10.04	9.17 ± 0.88 7.80 - 10.45	9.60 ± 0.199 9.48 - 9.83	7.82 ± 0.57 7.22 - 8.37
Ancho de la caja cefálica	18.41 ± 1.51 16.61 - 20.68	18.35 ± 1.27 16.99 - 19.80	17.22 ± 0.83 16.27 - 18.26	16.01 ± 0.72 15.16 - 16.94	16.77 ± 0.94 15.93 - 17.79	15.42 ± 1.23 14.67 - 16.85
Ancho cigomático	20.98 ± 2.03 17.81 - 23.23	21.24 ± 2.13 17.02 - 23.62	18.82 ± 1.17 17.45 - 20.47	17.55 ± 0.81 16.43 - 18.44	16.61 ± 0.52 16.03 - 17.03	15.99 ± 1.72 14.48 - 17.87
Ancho cigomático en la raíz posterior	19.33 ± 1.60 16.89 - 21.21	19.10 ± 1.36 17.59 - 20.51	18.05 ± 0.85 17.02 - 18.87	16.50 ± 0.69 15.67 - 17.29	17.30 ± 0.97 16.41 - 18.34	15.73 ± 1.12 14.93 - 17.01
Ancho del parietal	8.88 ± 0.71 7.67 - 9.93	9.63 ± 0.76 8.50 - 10.55	8.57 ± 0.50 7.86 - 9.04	7.54 ± 0.32 7.11 - 8.05	7.81 ± 0.56 7.16 - 8.22	7.46 ± 0.90 6.91 - 8.51
Ancho del rostro	6.23 ± 0.54 5.59 - 6.91	6.88 ± 0.54 6.01 - 7.63	6.01 ± 0.54 5.24 - 6.84	5.28 ± 0.23 5.03 - 5.63	5.36 ± 0.10 5.27 - 5.47	5.08 ± 0.40 4.66 - 5.47
Longitud del rostro	10.27 ± 0.93 8.16 - 11.25	11.57 ± 0.37 10.95 - 11.94	10.17 ± 0.83 8.96 - 11.52	10.15 ± 0.52 9.40 - 10.42	9.39 ± 0.38 8.95 - 9.68	8.60 ± 0.72 7.93 - 9.37
VENTRAL	<i>n</i> = 9	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 7	<i>n</i> = 6	<i>n</i> = 3	<i>n</i> = 4
Longitud paladar	20.67 ± 2.61 14.90 - 23.61	22.78 ± 0.80 21.32 - 24.05	19.20 ± 1.34 16.72 - 20.87	18.44 ± 0.72 17.30 - 19.24	18.92 ± 0.45 18.63 - 19.45	16.08 ± 0.42 15.65 - 16.48
Ancho del paladar en el M1	4.79 ± 0.23 4.54 - 5.18	4.76 ± 0.59 3.40 - 5.38	4.09 ± 0.53 3.34 - 4.96	3.94 ± 0.13 3.76 - 4.15	3.89 ± 0.41 3.58 - 4.37	3.84 ± 0.17 3.60 - 4.00
Ancho del paladar en M3	5.21 ± 0.26 4.78 - 5.62	5.19 ± 0.75 3.52 - 6.04	4.31 ± 0.54 3.42 - 5.00	4.47 ± 0.21 4.20 - 4.83	4.34 ± 0.46 3.90 - 4.83	4.12 ± 0.12 3.96 - 4.26
Longitud de la foramina incisivas	9.73 ± 0.59 8.76 - 10.33	9.67 ± 1.20 6.88 - 10.81	8.51 ± 0.64 7.37 - 9.30	7.85 ± 0.52 7.14 - 8.65	8.49 ± 0.67 7.80 - 9.15	7.72 ± 0.36 7.38 - 8.22
Ancho de la foramina incisivas	3.49 ± 0.38 3.04 - 4.13	3.26 ± 0.43 2.30 - 3.80	3.34 ± 0.25 3.02 - 3.80	2.79 ± 0.23 2.55 - 3.11	2.94 ± 0.31 2.59 - 3.20	2.74 ± 0.05 2.68 - 2.80
Ancho del foramen magnum	3.22 ± 0.18 3.03 - 3.58	3.09 ± 0.43 2.14 - 3.68	2.90 ± 0.25 2.51 - 3.22	2.94 ± 0.33 2.55 - 3.49	2.65 ± 0.38 2.28 - 3.04	2.59 ± 0.10 2.44 - 2.66
Longitud basi-esfenoide	6.87 ± 0.91 5.08 - 8.04	7.27 ± 0.58 6.01 - 7.80	6.32 ± 0.62 5.44 - 7.30	5.66 ± 0.67 4.55 - 6.25	6.30 ± 0.41 5.96 - 6.76	5.44 ± 0.13 5.33 - 5.64
Ancho basi-esfenoide anterior	1.53 ± 0.19 1.26 - 1.83	1.48 ± 0.17 1.28 - 1.79	1.35 ± 0.20 1.02 - 1.56	1.45 ± 0.09 1.34 - 1.58	1.50 ± 0.41 1.06 - 1.89	1.39 ± 0.20 1.16 - 1.66
Ancho basi-esfenoide posterior	3.52 ± 0.55 2.73 - 4.47	4.11 ± 0.42 3.57 - 4.96	3.50 ± 0.46 2.77 - 4.23	3.08 ± 0.51 2.31 - 3.85	3.16 ± 0.08 3.09 - 3.25	2.84 ± 0.30 2.41 - 3.13
Longitud del puente paladar	5.83 ± 0.92 3.88 - 6.93	6.54 ± 0.35 5.95 - 6.87	5.61 ± 0.49 4.95 - 6.40	5.45 ± 0.17 5.11 - 5.58	5.27 ± 0.23 5.01 - 5.42	4.38 ± 0.13 4.23 - 4.56
LATERAL	<i>n</i> = 9	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 7	<i>n</i> = 6	<i>n</i> = 3	<i>n</i> = 4

Tabla 1. Medidas lineales tomadas en los PAR elegidos de las tres vistas del cráneo y mandíbula lateral de las especies de *Rhipidomys* de la Sección *fulviventor* en Venezuela. El estadístico univariado incluye la Media ± Desviación estándar, el intervalo inferior y superior.

Altura del rostro	7.27 ± 0.25 5.81 - 8.07	8.04 ± 0.54 7.37 - 8.93	6.90 ± 0.56 5.88 - 7.43	6.82 ± 0.37 6.39 - 7.53	6.33 ± 0.26 6.16 - 6.64	5.88 ± 0.39 5.40 - 6.30
Altura del cráneo detrás del M3	11.94 ± 1.17 9.49 - 7.34	13.23 ± 0.80 12.22 - 14.31	11.03 ± 0.66 10.04 - 11.87	11.66 ± 0.43 11.40 - 12.54	11.07 ± 0.63 10.53 - 11.77	9.91 ± 0.50 9.25 - 10.37
Altura del cráneo en la bula timpánica	14.26 ± 1.75 10.73 - 16.75	14.37 ± 0.91 12.63 - 15.24	12.97 ± 0.48 12.30 - 13.62	14.76 ± 0.75 13.41 - 15.54	14.29 ± 1.28 13.07 - 15.63	12.49 ± 1.08 11.20 - 13.46
MANDIBULA	<i>n</i> = 9	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 7	<i>n</i> = 6	<i>n</i> = 3	<i>n</i> = 4
Longitud total de la mandíbula	18.56 ± 1.60 15.08 - 20.48	19.21 ± 1.69 17.13 - 22.52	16.86 ± 0.80 15.63 - 17.78	17.39 ± 0.63 16.52 - 18.13	16.84 ± 0.90 15.90 - 17.71	15.39 ± 0.23 15.17 - 15.71
Profundidad de la rama mandibular	3.91 ± 0.98 3.26 - 4.13	4.19 ± 0.29 3.90 - 4.77	3.41 ± 0.19 3.23 - 3.80	3.42 ± 0.15 3.28 - 3.68	3.36 ± 0.28 3.06 - 3.62	2.94 ± 0.29 2.66 - 3.27
Altura de la hendidura sigmoidea	6.12 ± 0.48 5.38 - 6.70	6.46 ± 0.63 5.87 - 7.53	5.60 ± 0.38 4.97 - 6.03	5.84 ± 0.14 5.61 - 6.05	5.25 ± 0.40 4.84 - 5.65	4.85 ± 0.31 4.44 - 5.12
Altura del proceso condilar	10.53 ± 1.15 8.51 - 12.23	11.53 ± 1.21 10.50 - 13.51	9.63 ± 0.75 8.61 - 10.65	10.00 ± 0.26 9.62 - 10.33	9.51 ± 0.92 8.57 - 10.41	9.06 ± 0.58 8.55 - 9.90
Altura del proceso coronoide	8.03 ± 0.63 6.65 - 8.79	8.39 ± 0.76 7.49 - 9.67	7.15 ± 0.51 6.55 - 7.73	7.64 ± 0.34 7.10 - 8.07	6.88 ± 0.68 6.29 - 7.63	6.52 ± 0.32 6.19 - 6.91
Ancho del dentario	9.08 ± 0.79 7.13 - 9.82	9.38 ± 1.05 8.04 - 11.42	8.10 ± 0.64 7.27 - 9.01	7.75 ± 0.53 7.13 - 8.40	7.87 ± 0.55 7.25 - 8.30	7.60 ± 0.50 6.94 - 7.99

El total de los PAR por imagen seleccionada fueron: vista dorsal del cráneo ($n = 16$); vista ventral anterior-media del cráneo ($n = 14$); vista ventral media-posterior del cráneo ($n = 14$); vista lateral del cráneo ($n = 13$) y vista lateral de la mandíbula ($n = 13$). La descripción de los PAR se muestra en el Apéndice 2. Las configuraciones de coordenadas (x - y) de los PAR y las medidas lineales fueron realizadas usando el programa TPSDig (Rohlf 2007).

Morfometría Geométrica. En cada vista, los PAR seleccionados generaron una matriz de coordenadas (x - y) que representan las configuraciones geométricas de cada estructura (cráneo y mandíbula) por espécimen. Cada una de estas matrices de configuraciones de coordenadas fueron sometidas a un Análisis Generalizado de Procrustes con el programa CoordGen (Sheets 2005a), donde la variación asociada a los efectos de posición, orientación y escala es eliminada mediante una sobreposición Procrustes, usando la estimación de los mínimos cuadrados. En líneas generales este análisis consta de tres pasos iterativos: 1) cada configuración se centra en el origen del sistema de coordenadas y luego se ajusta a una unidad de tamaño común; 2) las configuraciones escaladas se trasladan unas sobre otras sobreponiéndose, de tal modo que coincidan sus centros de gravedad (centroides) y 3) se rotan hasta minimizar las distancias entre cada PAR de cada individuo y una configuración promedio, utilizando el criterio matemático de los mínimos cuadrados. Cada vez que se ejecutan estos tres pasos se calcula una configuración geométrica promedio que, progresivamente, se va optimizando con cada iteración (Bookstein 1991; Adams *et al.* 2004).

Análisis de tamaño y conformación. Los residuos del Análisis Generalizado de Procrustes generaron dos nuevas matrices; una que corresponde a las Desviaciones Parciales (*partial warps* = Pw) y otra que corresponde al estimador Tamaño Centroide (TC); éste se obtiene al calcular la raíz cuadrada de la suma de las distancias, elevadas al cuadrado, desde cada punto anatómico al centroide (Bookstein 1991). La matriz Pw se

empleó para realizar el Análisis de Variables Canónicas (AVC) con el programa CVAGen (Sheets 2005b), siguiendo a Rodríguez (2007), donde se calcularon las distancias de Mahalanobis para obtener la proporción de grupos re-clasificados y un análisis multivariado de varianza (MANOVA) por cada eje canónico, que nos permitió cubrir los casos con dos o más variables dependientes simultáneamente (Rodríguez 2007).

La clasificación de los 37 especímenes en los grupos *a priori* para cada vista se basó según la identificación en los catálogos de los individuos depositados en los museos revisados (MZUC y EBRG): *R. venustus* ($n = 17$), *R. f. elatturus* ($n = 6$), *R. f. ssp. 1* ($n = 3$), *R. f. tenuicauda* ($n = 7$) y *R. wetzeli* ($n = 4$). Las reclasificaciones *a posteriori* se establecieron de acuerdo a las distancias de Mahalanobis entre la conformación de cada individuo y la conformación media de cada especie y subespecie.

Las distancias de Mahalanobis calculadas en el AVC, se asociaron a la probabilidad de conocer cada conformación individual con respecto a la media de la especie o subespecie (mismo grupo) o del resto de los taxa (diferentes grupos), lo que permite establecer una reclasificación. La matriz con los valores de TC se analizó en PAST (PAleontological STATistics; Hammer y Harper 2011), mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$), con corrección de Bonferroni, para determinar si existían diferencias significativas en el TC del cráneo (vista dorsal, ventral y lateral) y mandíbula entre los individuos de cada grupo. Finalmente, los cambios de conformación en las estructuras sobre el espacio del AVC, fueron observados empleando la función de interpolación de placas de deformación (*Thin-Plate Spline*, TPS) del programa CVAGen (Sheets 2005b), donde se obtuvo una representación visual (rejillas de deformación), de las diferencias en conformación, con respecto a la configuración promedio (Van der Molen *et al.* 2007).

Resultados

Cráneo-vista dorsal. Los resultados del Tamaño Centroide (TC), muestran que los individuos de *R. wetzeli* presentaron un tamaño significativamente menor (41.94 mm \pm 2.73; $P < 0.01$). No se observaron diferencias importantes entre *R. f. elatturus* (46.57 mm \pm 3.98), *R. f. ssp. 1* (47.62 mm \pm 0.97), *R. f. tenuicauda* (49.66 mm \pm 3.11) y *R. venustus* (Sistema de Colinas Lara-Falcón, Cordillera Central y Los Andes; 50.87 mm \pm 4.44). Por su parte, los individuos de *R. venustus* provenientes de la Sierra de Aroa se separaron de forma significativa al ser el grupo con mayor TC en el cráneo (53.60 mm \pm 1.65; $P < 0.05$).

Se presentan los resultados de la prueba de reclasificación de cada eje discriminante del AVC: Eje 1 Wilks lambda ($\Lambda^1 = 0.0001$, $\chi^2 = 295.3124$, g.l. = 140, y $P < 0.0001$). Eje 2 Wilks lambda ($\Lambda^1 = 0.0001$, $\chi^2 = 164.5393$, g.l. = 108, y $P < 0.0001$). Las muestras reclasificadas (basadas en las distancias de Mahalanobis) fueron perfectamente asignadas (100%) a su grupo correspondiente: *R. f. elatturus* (6/6); *R. f. ssp. 1* (3/3); *R. f. tenuicauda* (7/7); *R. wetzeli* (3/3); pero de igual manera, todos los individuos de *R. venustus* de la Sierra de Aroa (8/8), definidos de aquí en adelante como "*R. venustus* Aroa", quedaron separados del resto de los *R. venustus* (8/8). El diagrama factorial del AVC para esta vista (Fig. 3A), muestra una separación marcada de tres grupos en la forma dorsal del cráneo (*R. venustus*, *R. fulviventer* y *R. wetzeli*), tres subespecies de *Rhipidomys fulviventer* y discrimina a la reciente población descubierta de la Sierra de Aroa (*R. venustus* Aroa).

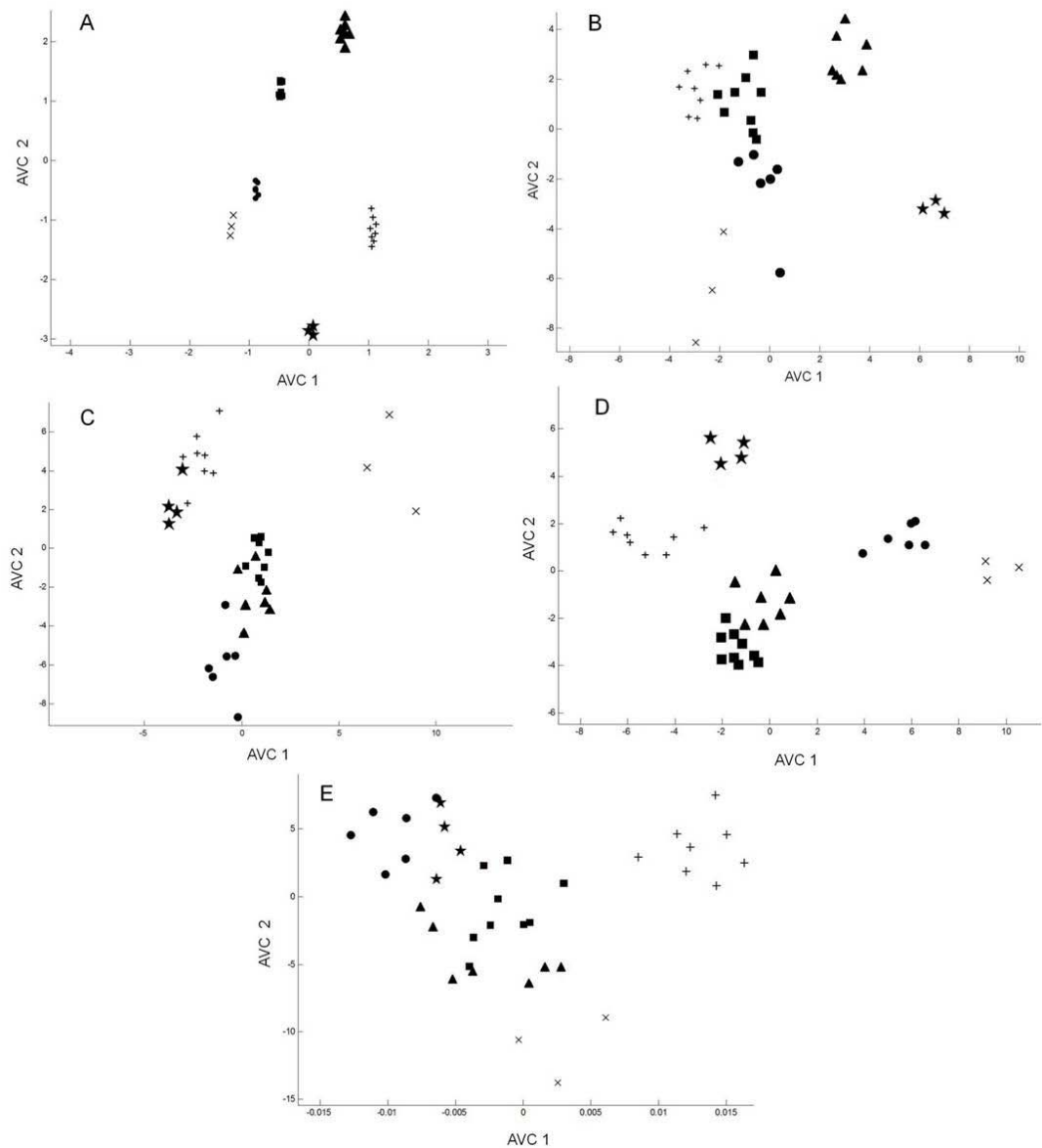


Figura 3. Análisis de las especies de *Rhipidomys* (Sección *fulviventer*), utilizadas en este estudio, mostrando la reclasificación *a posteriori* (basados en distancias Mahalanobis). Estrellas = *R. wetzeli*; cruces = *R. venustus* Aroa; equis = *R. f. ssp.1*; círculos = *R. f. elatturus*; cuadros = *R. venustus* y triángulos = *R. f. tenuicauda*. Vista del cráneo: dorsal (A), lateral (B), ventral anterior-media (C), ventral media-posterior (D) y mandíbula lateral (E).

La función de interpolación de placas de deformación (TPS), mostró diferencias en los PAR 2 y 16, que se desplazan verticalmente hacia abajo en las configuraciones de *R. f. elatturus* y *R. f. ssp. 1* (Fig. 4). Por su parte, *R. wetzeli*, comparte también diferencias en los PAR 2 y 16, pero adicionalmente, se observó un acortamiento de la celda correspondiente a la región cefálica (PAR 6 y 12; Fig. 4). Los PAR 6 y 12 se desplazaron diagonalmente en sentido ascendente en *R. venustus* y descendente en *R. venustus* Aroa, respectivamente (Fig. 4). En *R. f. tenuicauda*, el rostro y la región cefálica se estrechan (PAR 2, 6, 12 y 16; Fig. 4).

La Tabla 1 muestra claramente que *R. venustus* y *R. venustus* Aroa tienen los cráneos más grandes en la longitud total y hacia la parte posterior en la región cefálica; por su parte *R. wetzeli* posee el cráneo más pequeño en todas las medidas, comparada con el resto de los taxa. El cráneo de *R. f. tenuicauda* fue ligeramente mayor comparado con el resto de las subespecies de *R. fulviventer* en la longitud total y en cinco medidas asociadas a la región posterior.

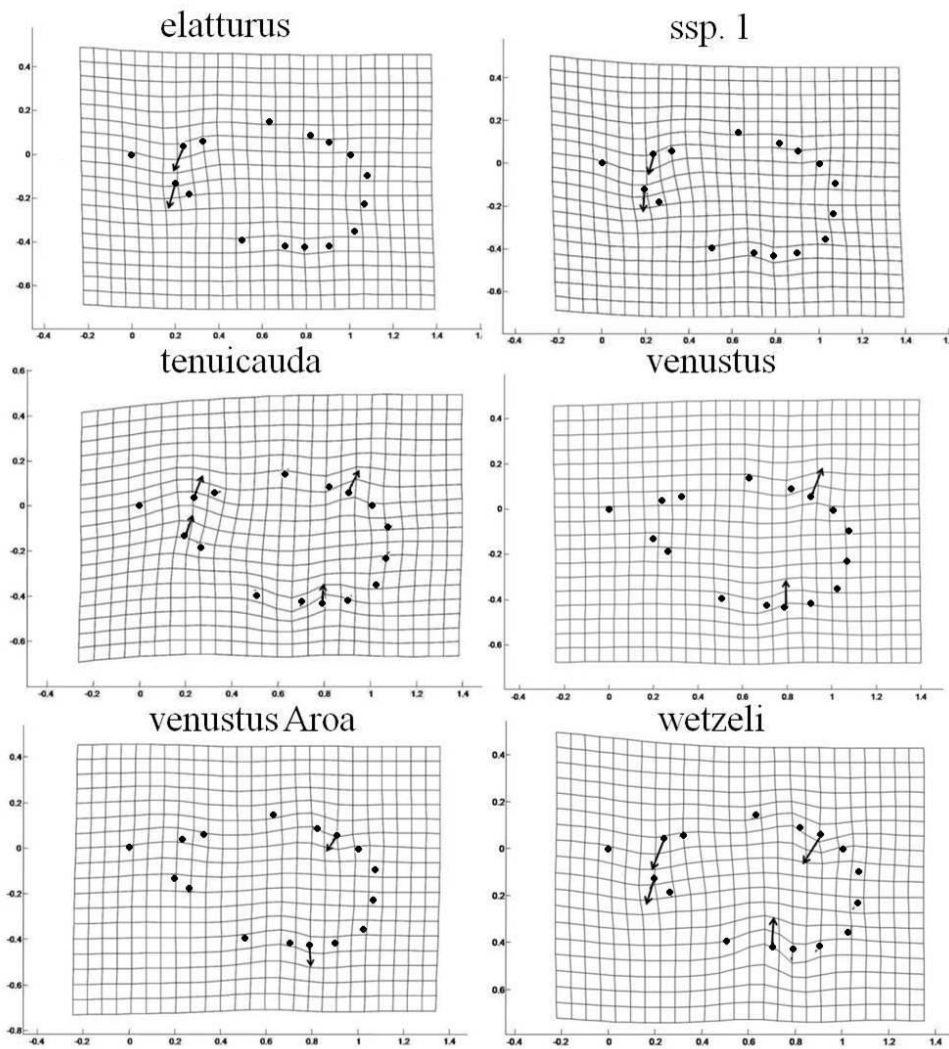


Figura 4. Rejillas de deformaciones de la vista dorsal del cráneo de *Rhipidomys* (Sección *fulviventer*), mostrando los PAR en donde ocurrieron las diferencias de los grupos *a posteriori*.

Cráneo-vista lateral. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre el TC de las subespecies de *R. fulviventer*: *R. f. elatturus* (46.63 mm \pm 2.247), *R. f. ssp. 1* (48.55 mm \pm 3.44) y *R. f. tenuicauda* (46.30 mm \pm 2.86), con respecto a *R. wetzeli* (39.34 mm \pm 2.54), que posee el tamaño menor de todos los grupos. Mientras que *R. venustus* (53.10 mm \pm 3.98) y *R. venustus Aroa* (53.15 mm \pm 4.40), presentaron tamaños significativamente mayores ($P < 0.01$) con respecto a las otras especies.

Se presentan los resultados de la prueba de reclasificación con un sólo eje discriminante del AVC: Eje 1 Wilks lambda (Λ^1) = 0.0002, $\chi^2 = 175.1175$, g.l. = 110, y $P < 0.0001$. Las muestras asignadas al 100% incluyeron *R. f. tenuicauda* (7/7) y *R. wetzeli* (3/3), seguidas de *R. f. elatturus* (83%; 5/6), *R. venustus Aroa* (75%; 6/8), *R. f. ssp.1* (66%; 2/3) y *R. venustus* (55%; 5/9). Dos taxa (*R. wetzeli* y *R. f. tenuicauda*), muestran las formas más diferentes, mientras que el resto (*R. venustus*, *R. venustus Aroa*, *R. f. ssp. 1* y *R. f. elatturus*), son más parecidas en la forma lateral del cráneo (Fig. 3B). La función TPS mostró un estrechamiento en la región anterior (PAR 12) y posterior (PAR 5 y 8) en las configuraciones de *R. f. elatturus* y *R. f. ssp.1* (Fig. 5); mientras que en *R. f. tenuicauda* y *R. venustus*, estos puntos se extendieron (Fig. 5). En *R. venustus Aroa*, los PAR 10 y 11, se desplazaron en sentido contrario alargando las celdas (Fig. 5). Por el contrario, en *R. wetzeli* estos puntos se acercan (Fig. 5).

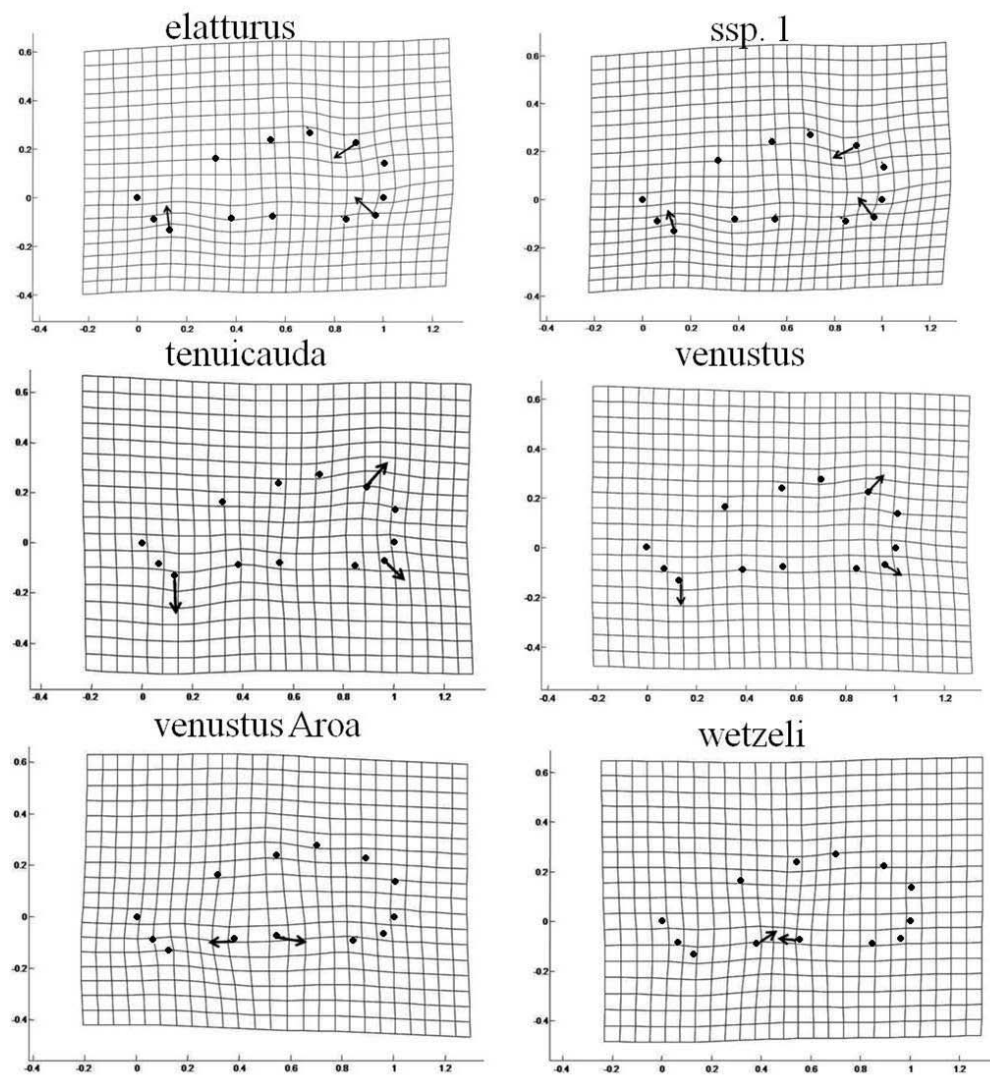


Figura 5. Rejillas de deformaciones de la vista lateral del cráneo de *Rhipidomys* (Sección *fulviventer*), mostrando los PAR en donde ocurrieron las diferencias de los grupos *a posteriori*.

En las medidas lineales (Tabla1), *R. venustus* y *R. venustus* Aroa tienen el rostro más elevado que el resto. Entre estos dos grupos de *Rhipidomys venustus*, *R. venustus* Aroa presenta un cráneo más elevado detrás del M3. En la parte posterior del cráneo (en la bula timpánica), *R. venustus*, *R. venustus* Aroa, *R. f. elatturus* y *R. f. ssp. 1*, son los que poseen una mayor altura.

Cráneo-vista ventral. La región anterior-media tuvo un TC significativamente menor ($18.16\text{mm} \pm 0.45$; $P < 0.01$) en *R. wetzeli*, comparado con las otras especies. No se observaron diferencias importantes entre *R. f. elatturus* ($20.55\text{ mm} \pm 0.65$), *R. f. ssp. 1* ($21.92\text{ mm} \pm 0.16$) y *R. f. tenuicauda* ($22.94\text{ mm} \pm 0.38$). Mientras que *R. venustus* ($24.55\text{ mm} \pm 0.64$) y *R. venustus* Aroa ($26.63\text{ mm} \pm 0.89$) presentaron tamaños significativamente mayores ($P < 0.01$), con el resto; sin embargo entre ellos no hubo diferencias.

Los resultados de la prueba de reclasificación de cada eje discriminante del AVC se presentan a continuación: Región anterior-media; Eje 1 Wilks lambda (Λ^1) = 0.0001, χ^2 = 197.6005, g.l. = 120, y $P < 0.0001$. Eje 2 Wilks lambda (Λ^1) = 0.0021, χ^2 = 129.7140, g.l. = 92, y $P < 0.005$. Las muestras reclasificadas al 100% fueron *R. f. elatturus* (6/6), *R. f. ssp. 1* (3/3) y *R. wetzeli* (4/4). Mientras que las muestras de *R. venustus*, *R. venustus* Aroa y *R. f. tenuicauda* obtuvieron los porcentajes menores en la reclasificación (88%;

8/9), (87%; 7/8) y (85%; 6/7). Un taxón es el más diferenciado en esta área (*R. f. ssp. 1*) y los restantes se repartieron en dos grupos; un primer grupo conformado por *R. wetzeli* y *R. venustus* Aroa y el otro agrupando a *R. venustus*, *R. f. elatturus* y *R. f. tenuicauda* (Fig. 3C). Las placas de deformación (TPS), muestran que cuatro especies (*R. f. elatturus*, *R. f. tenuicauda*, *R. venustus* Aroa y *R. venustus*), tienen morfología similar en el área anterior-media; mientras que *R. f. ssp. 1* y *R. wetzeli* fueron completamente diferentes (Fig. 6).

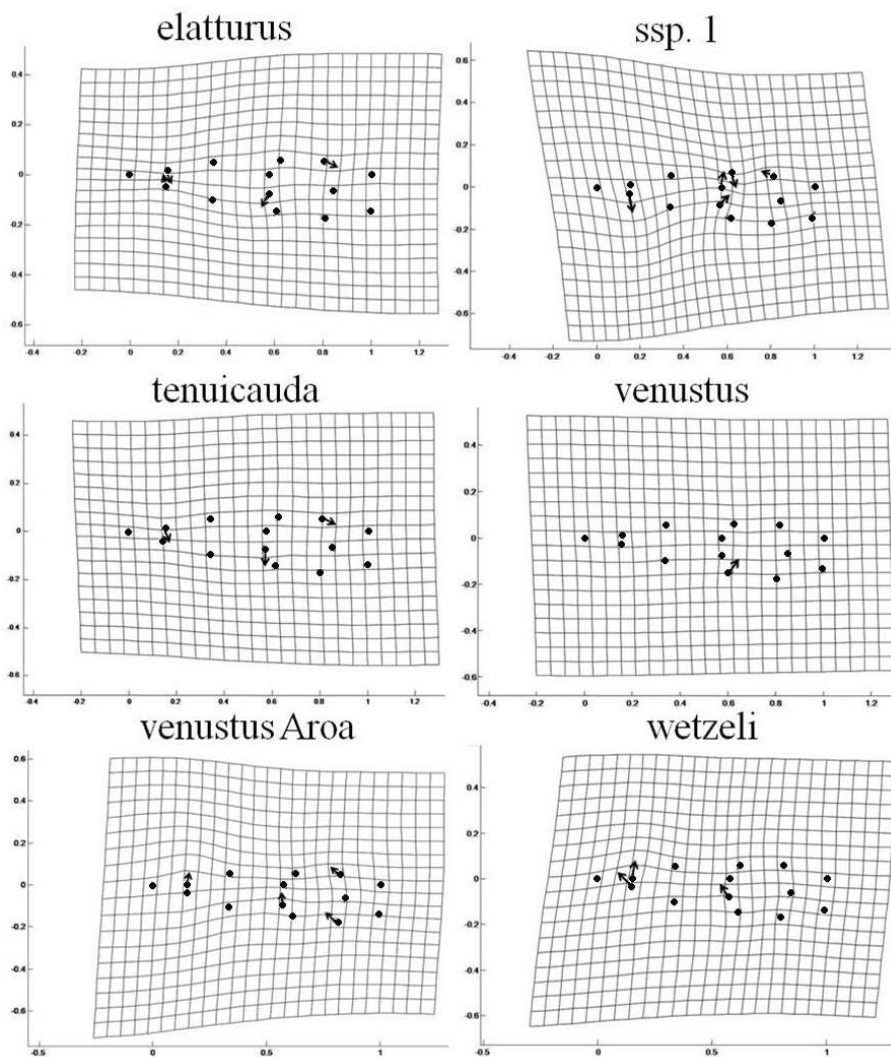


Figura 6. Rejillas de deformaciones de la vista ventral anterior-media del cráneo de *Rhipidomys* (Sección *fulviventris*), mostrando los PAR en donde ocurrieron las diferencias de los grupos a posteriori.

En la región anterior-media de la vista ventral, hubo tres medidas que separaron claramente a *R. venustus* y *R. venustus* Aroa del resto: longitud del paladar, longitud de la foramina incisivas y ancho del paladar (Tabla 1).

Con respecto a la región media-posterior, el TC de *R. f. elatturus* (19.82 mm \pm 0.75) y *R. wetzeli* (18.25 mm \pm 0.40), difirieron significativamente ($P < 0.01$) de *R. f. tenuicauda* (22.54 mm \pm 0.045), *R. f. ssp. 1* (23.44 mm \pm 1.52), *R. venustus* (22.60 mm \pm 0.51) y *R. venustus* Aroa (22.35 mm \pm 0.48). Los valores de cada eje discriminante fueron los siguientes; Eje 1 Wilks lambda (Λ^1) = 0.0001, $\chi^2 = 206.3199$, g.l. = 120, y $P < 0.0001$. Eje 2 Wilks lambda (Λ^1) = 0.0015, $\chi^2 = 136.0232$, g.l. = 92, y $P < 0.001$. Las muestras

reclasificadas al 100% fueron: *R. f. elatturus* (6/6); *R. f. ssp. 1* (3/3); *R. venustus* (9/9); *R. venustus* Aroa (8/8) y *R. wetzeli* (4/4). Por su parte, *R. f. tenuicauda* obtuvo el porcentaje menor (85%; 6/7). El diagrama factorial del AVC muestra la separación de cuatro taxa (*R. venustus* Aroa, *R. wetzeli*, *R. f. elatturus* y *R. f. ssp. 1*), mientras que *R. venustus* y *R. f. tenuicauda* son las más parecidas en la región ventral media-posterior (Fig. 3D). Las placas de deformación (TPS), mostraron que las mayores deformaciones para todos los taxa (excepto *R. f. tenuicauda*), ocurrieron hacia la región basioccipital (desde el PAR 3 hasta el 13; Fig. 7). La Tabla 1, mostró que una medida en el foramen magnum, en la región ventral media-posterior, claramente evidenció diferencias de *R. venustus* y *R. venustus* Aroa con respecto a los demás.

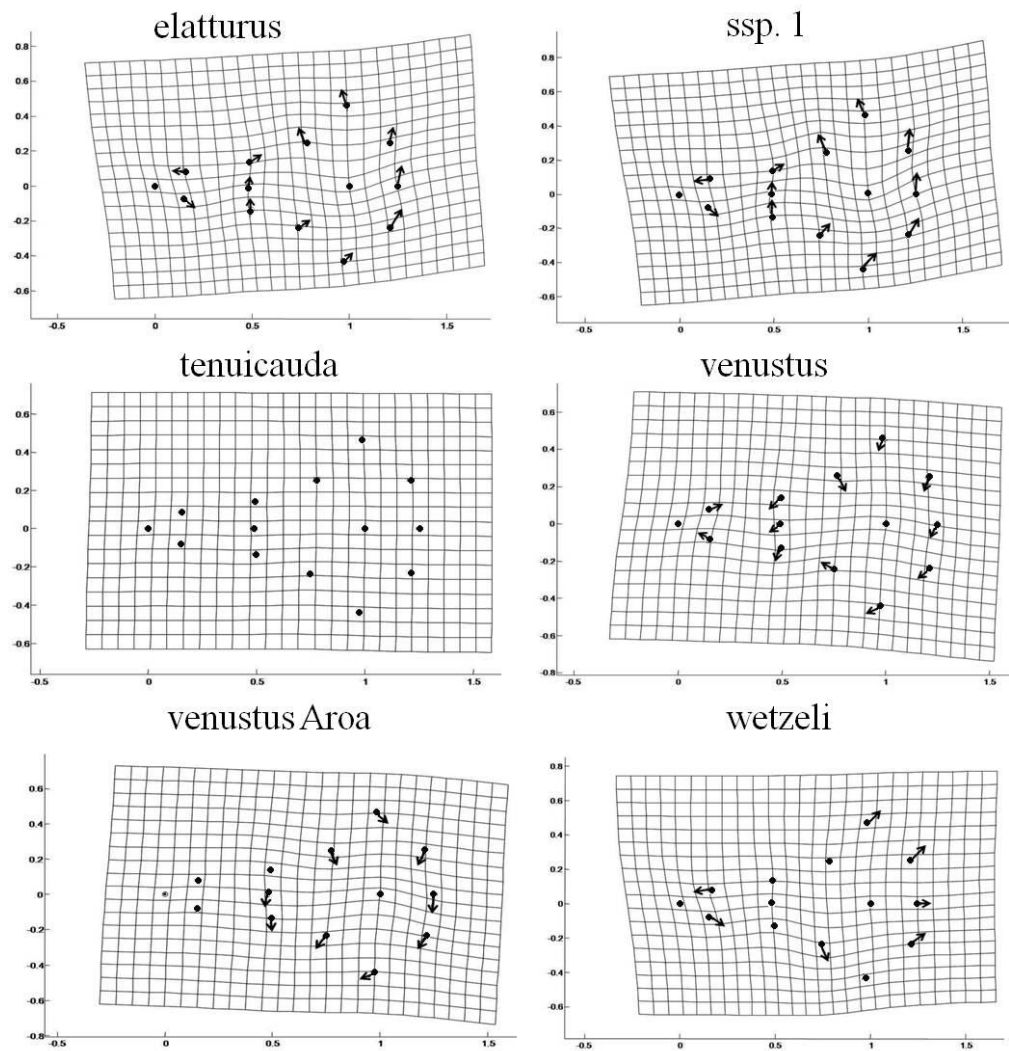


Figura 7. Rejillas de deformaciones de la vista ventral media-posterior del cráneo de *Rhipidomys* (Sección *fulviventer*), mostrando los PAR en donde ocurrieron las diferencias de los grupos *a posteriori*.

Mandíbula. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.005$) del TC entre *R. f. elatturus* (18.92 mm \pm 1.83), *R. f. ssp. 1* (18.71 mm \pm 1.38) y *R. f. tenuicauda* (18.43 mm \pm 1.28) con respecto a *R. venustus* Aroa (22.60 mm \pm 1.52) y *R. venustus* (23.63 mm \pm 3.853). Por su parte, *R. wetzeli* (15.36 mm \pm 0.94) presentó el menor tamaño, difiriendo significativamente ($P < 0.005$) del resto.

Los resultados de la prueba de reclasificación de cada eje discriminante del AVC fueron los siguientes: Eje 1 Wilks lambda (Λ^1) = 0.0006, $\chi^2 = 161.9908$, g.l. = 110, y

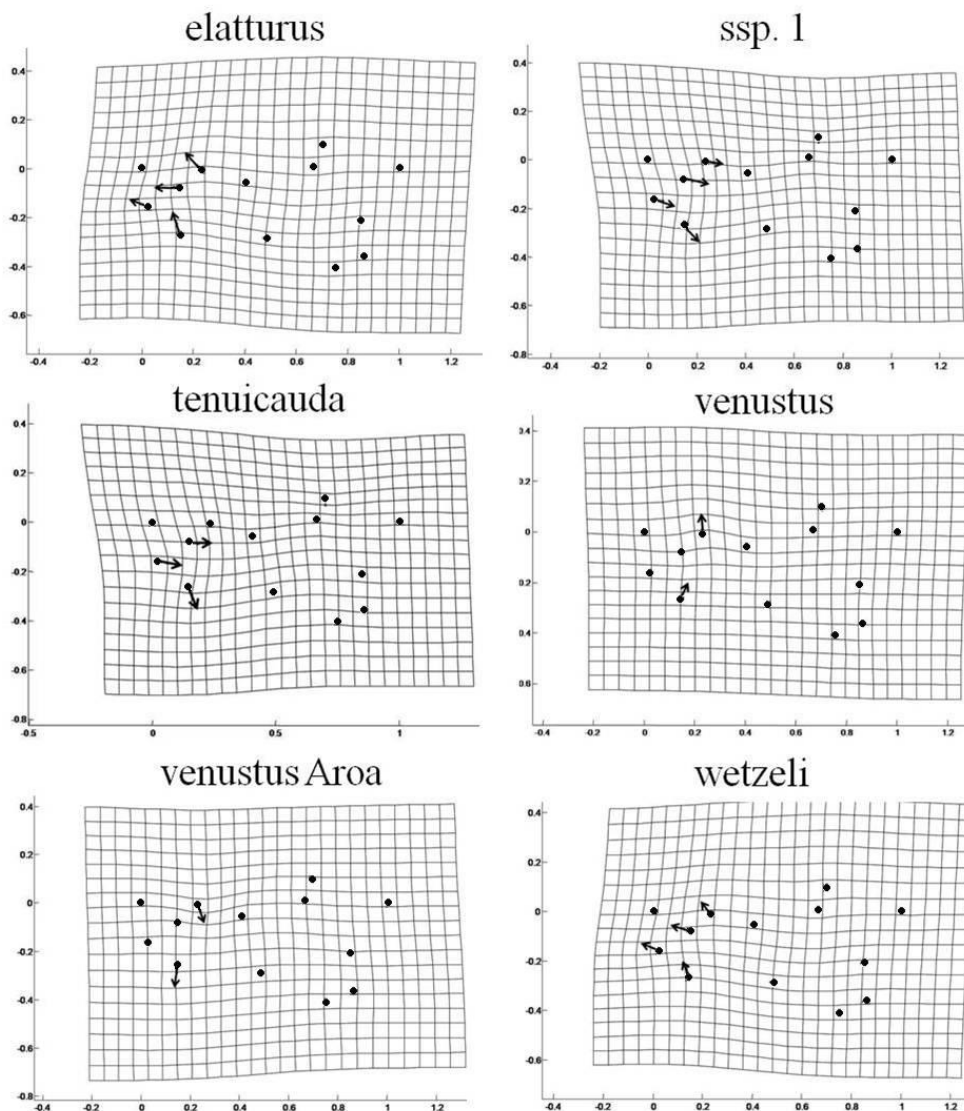


Figura 8. Rejillas de deformaciones de la mandíbula lateral de *Rhipidomys* (Sección *fulviventer*), mostrando los PAR en donde ocurrieron las diferencias de los grupos *a posteriori*.

$P < 0.0009$. Eje 2 Wilks lambda (Λ^1) = 0.0064, $\chi^2 = 111.0312$, g.l. = 84, y $P < 0.025$. Las asignaciones del 100% de reclasificación correspondieron para *R. f. ssp. 1* (3/3); *R. venustus* Aroa (8/8) y *R. wetzeli* (4/4). Los porcentajes menores fueron para *R. f. tenuicauda* (85%; 6/7), *R. f. elatturus* (83%; 5/6) y *R. venustus* (66%; 6/9). El diagrama factorial del AVC muestra una marcada separación para *R. venustus* Aroa y *R. f. ssp. 1* (Fig. 3E). En cuanto al TPS, las mayores deformaciones fueron observadas en la región anterior de la mandíbula (PAR 2, 3, 12 y 13) para *R. f. elatturus*, *R. wetzeli*, *R. f. ssp. 1* y *R. f. tenuicauda*, mientras que *R. venustus* Aroa y *R. venustus* los PAR 3 y 12 se desplazaron en sentido contrario (Fig. 8). La Tabla 1, evidenció que *R. venustus* y *R. venustus* Aroa fueron más grandes en cinco medidas de la mandíbula: longitud de la mandíbula, altura de la hendidura sigmoidea, del proceso condilar y coronoide y ancho del dentario. Por su parte, *R. wetzeli* fue menor en todas las medidas consideradas para la mandíbula en este estudio.

Discusión

En Venezuela, la sistemática y taxonomía de los *Rhipidomys*, ha sido algo controversial en cuanto a la validez o no de algunos nombres (Handley 1976; Musser y Carleton 1993; Tribe 1996; Linares 1998; López-Fuster *et al.* 2001; Voss *et al.* 2001; Musser y Carleton 2005; Sánchez-Hernández y Lew 2012). Por citar algunos ejemplos, Handley (1976) y Musser y Carleton (1993), consideraron a *R. venustus* como una especie plena, pero Tribe (1996), lo incluyó como una subespecie de *R. fulviventor*, que contenía cuatro subespecies: *R. f. tenuicauda* (Cordillera Oriental en Sucre y Monagas), *R. f. ssp. 1* (Cordillera Central en el Distrito Capital y Miranda), *R. f. elatturus* (Andes del oeste de Táchira) y *R. f. venustus* (Andes de Mérida y Trujillo). Sin embargo, otros autores consideran a *R. venustus* como una especie válida y endémica de Venezuela para los Andes (Cordillera de Mérida) y Cordillera Central (Linares 1998; Soriano *et al.* 1999; Musser y Carleton 2005; Rivas y Salcedo 2006; Sánchez-Hernández y Lew 2012). Más recientemente, su distribución se amplió para el Sistema de Colinas Lara-Falcón y es asignado a la entidad taxonómica de *R. venustus* (Anderson *et al.* 2012).

Adicionalmente, Linares (1998), considera la presencia de *R. sclateri* en el país, pero este nombre no es validado en publicaciones posteriores (Musser y Carleton 2005; Sánchez-Hernández y Lew 2012). Por citar un último ejemplo, López-Fuster *et al.* (2001), realizaron una revisión morfométrica de especímenes del norte de Venezuela asignados por estos autores a la subespecie *R. latimanus venezuelae* (*sensu* Tribe 1996); pero cabe mencionar que desde la publicación de la segunda edición de los mamíferos del mundo (Wilson y Reeder 1993), hasta las propuestas taxonómicas recientes (Linares 1998; Voss *et al.* 2001; Musser y Carleton 2005; Sánchez-Hernández y Lew 2012), el binomio reconocido para éste es *R. venezuelae*. Aunque Musser y Carleton (1993) y López-Fuster *et al.* (2001), postulan que posiblemente esta forma pueda representar el complemento andino oriental de *R. latimanus*.

En cuanto a los resultados de este estudio, los análisis derivados de la morfometría geométrica se correlacionan con las medidas tradicionales (morfometría clásica; Tabla 1), propuesta para la Sección *fulviventor* en Venezuela (Tribe 1996). El método separó a las tres especies documentadas actualmente (*R. venustus*, *fulviventor* y *wetzeli*; Sánchez-Hernández y Lew 2012) y a las tres subespecies para el caso de *R. fulviventor* (Tribe 1996).

A pesar de contar con una baja representatividad de especímenes analizados, se pueden interpretar los resultados de la siguiente manera: el lado dorsal del cráneo, representa el área en donde se manifiestan los mayores cambios, resaltado en la región del rostro y cefálica (raíz de los arcos cigomáticos, parietales, interparietales y occipital). *Rhipidomys venustus* Aroa (Sierra de Aroa) y *R. wetzeli*, son los taxa que poseen los cráneos más diferenciados en cuanto a la forma y tamaño (ver Figs. 3A, 4). Por su parte, *R. venustus* (Cordillera de Mérida, Cordillera Central, Sistema de Colinas Lara-Falcón) y *R. venustus* Aroa, tienen diferencias entre si (ver Tabla 1, Figs. 3A, 4), lo que posiblemente significaría que la población de la Sierra de Aroa puede ser un taxon no nombrado, incluido aquí en *R. venustus*.

La mandíbula de las distintas especies que conforman la Sección *fulviventor* para Venezuela, es la parte ósea menos diferenciada (en cuanto a la forma) en la región

media-posterior (e.g. procesos coronoides, angulares, condilares, hendidura sigmoidea), entre los individuos de los seis taxa. Las deformaciones en la mandíbula para todos ellos, se denotan marcadamente en la región anterior (desde la base superior e inferior de los incisivos hasta la base anterior del primer molar).

Tanto *R. venustus* Aroa como *R. venustus*, son los taxa con cráneos y mandíbulas más robustos y de mayor tamaño. Por el contrario, *R. wetzeli*, es la especie que posee el cráneo y mandíbula más pequeño. Si comparamos las medidas lineales tomadas en los PAR, con su relativo opuesto de cada vista (Tabla 1), igualmente *R. venustus* Aroa, *R. venustus* y *R. wetzeli* siguen diferenciándose del resto.

Dentro de las subespecies de *R. fulviventor*, los cráneos de *R. f. ssp. 1* (Fig. 3A, B, C, D y E), son los que menos comparten similitudes en su conformación con respecto a los otros *Rhipidomys* y por lo tanto, son los más diferenciados dentro de las subespecies de *R. fulviventor* para Venezuela. Esta nueva evidencia para *R. f. ssp. 1*, permite confirmar que estos individuos representan una forma claramente diferenciable (a nivel subespecífico; Tribe 1996) dentro de *Rhipidomys fulviventor*; lo que reviste importancia, ya que recientemente *R. f. ssp. 1.*, ha sido incluido en listados taxonómicos como *R. venustus* (Rivas y Salcedo 2006). Quedaría pendiente hacer revisiones taxonómicas que incluyan mayores muestras de la localidad tipo (Parque Nacional Waraira Repano = El Ávila; Tribe 1996) y otras adyacentes (e.g. Parque Nacional Henri Pittier), así como la comparación de caracteres externos y craneales, además de análisis de secuenciación de ADN para asignar un nombre correspondiente.

El tamaño muestral en el estudio taxonómico de mamíferos es un aspecto importante, sobre todo, en grupos altamente variantes para Venezuela (e.g. Soricomorpha; Woodman 2002). Aunque no se cuenta con un trabajo sobre variabilidad morfológica para los *Rhipidomys* venezolanos (Tribe 1996), los resultados presentados aquí y los señalados a continuación, concuerdan en que a pesar de las bajas muestras empleadas para algunas especies de mamíferos en la morfometría geométrica (sobre todo en el caso de Rodentia), éstos se correlacionan con los arreglos sistemáticos, taxonómicos y filogenéticos propuestos actualmente (la mayoría, basados en morfometría clásica).

Por ejemplo, Rivas y Linares (2006), compararon la morfología de los miembros posteriores de nueve géneros de roedores sigmodontinos en la Guayana venezolana utilizando morfometría geométrica. Pese al pequeño tamaño muestral en algunos de los taxa revisados: *Oecomys bicolor* ($n = 1$), *Oecomys concolor* ($n = 2$) y *Oecomys rex* ($n = 2$), los resultados de este estudio permitieron establecer agrupamientos en cuanto a las estrategias de locomoción entre los taxa investigados. Rodríguez (2007), con una muestra de 50 especímenes describió la forma del aparato bucal de cinco especies de roedores múridos en México, utilizando PAR en la región ventral del cráneo y la mandíbula; aunque el mayor número de individuos fue de sólo 12 (*Peromyscus mexicanus*), los resultados coincidieron con las dietas referidas previamente para las especies estudiadas; además, la morfometría geométrica le permitió separar dos taxa difícilmente de identificar (*Peromyscus mexicanus* y *P. melanocarpus*).

Otro caso, es ejemplificado en el estudio de tendencias evolutivas en cráneos de felinos, usando morfometría geométrica (Lencastre Sicuro 2011). En el total de las muestras digitalizadas por el autor, algunos de los taxa estaban representados por uno (e.g. *Catopuma badia*), dos (*Felis nigripes*) o tres individuos (*Felis margarita*); pero de igual

manera como en los ejemplos anteriores, los resultados derivados fueron concordantes con la filogenia actualmente propuesta para los félidos.

Partiendo del principio que han postulado algunos autores (Bookstein 1991; Rohlf y Marcus 1993; Adams *et al.* 2004; Zelditch *et al.* 2004), de que la morfometría geométrica es una técnica que permite la separación de las especies o grupos de especies mediante la forma de las estructuras (derivado del componente genético) y no por tamaño (derivado de la fisiología), además de la evidencia aparente de que la baja representación de muestras individuales en algunos grupos de mamíferos no afectaría los resultados (e.g. Rivas y Linares 2006; Rodríguez 2007; Lencastre Sicuro 2011), por lo antes expuesto, este método puede ser una herramienta útil, para analizar grupos taxonómicos dentro de la clase Mammalia, cuyos miembros en colecciones zoológicas estén muy mal representados (e.g. Rodentia). Sin embargo, Cardini y Elton (2007) exponen que hay que ser cautelosos en los tamaños de las muestras, en los resultados de varianza y desviación estándar, ya que en muestras pequeñas de algunos grupos, estos parámetros en la mayoría de las pruebas estadísticas son pocos exactos.

Con respecto a los nuevos ejemplares de *Rhipidomys venustus* provenientes de la Sierra de Aroa, es importante destacar que esta área ha llamado la atención en los años recientes y se han realizado algunas investigaciones relacionadas con mamíferos (Delgado-Jaramillo *et al.* 2011; García *et al.* 2012). Las descripciones de algunos taxa de vertebrados conocidos sólo de esta región (e.g. Roze y Solano 1963; Mijares-Urrutía y Rivero 2000; Quiroga-Carmona y Molinari 2012), es una muestra de las altas tasas de especiación en ese sitio.

En vista de la separación de los *R. venustus*, provenientes de esta formación boscosa, se requieren de investigaciones adicionales que contemplen la revisión de caracteres asociados con morfología externa (patrones de coloración corporal, escamas, almohadillas, entre otros), cráneo-mandibulares (estructuras óseas, presencia o ausencia de cúspides en los dientes) y genética para esta morfoespecie, esto con la finalidad de soportar los hallazgos geométricos y de medidas. Los *Rhipidomys* de la Sierra de Aroa, pueden representar a un taxón diferenciado a nivel de subespecie o especie. Hasta tanto esto no ocurra, los especímenes provenientes del área siguen siendo asignados provisionalmente a *R. venustus*.

Agradecimientos

A F. Bisbal, J. Sánchez-Hernández y E. Camargo por permitirnos revisar los ejemplares depositados en el Museo de la Estación Biológica de Rancho Grande (EBRG). A J. Liria y dos árbitros anónimos por las sugerencias para mejorar el manuscrito.

Literatura citada

- ACERO, A. P., J. J. TAVERA, Y J. REYES. 2005. Systematics of the genus *Bagre* (Siluriformes: Ariidae): A morphometric approach. *Cybium* 29:127-133.
- ADAMS, D. C., D. E. SLICE, Y F. J. ROHLF. 2004. Geometric morphometrics: Ten years of following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology* 71:5-16.
- ANDERSON, R. P., E. E. GUTIÉRREZ, J. OCHOA-G., F. J. GARCÍA, Y M. AGUILERA. 2012. Faunal nestedness and species-area relationship for small non-volant mammals in "sky

- islands" of northern Venezuela. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 47:157-170.
- BECHARA, Y. W., Y J. LIRIA.** 2012. Morfometría geométrica en cinco especies de Buthidae y Scorpionidae (Arachnida: Escorpiones) de Venezuela. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:421-431.
- BOGDANOWICZ, W., J. JUSTE, R. D. OWEN, Y A. SZTENCEL.** 2005. Geometric morphometrics and cladistics: testing evolutionary relationships in mega- and microbats. *Acta Chiropterologica* 7:39-49.
- BOOKSTEIN, F. L.** 1991. *Morphometric tools for landmark data. Geometry and biology* Cambridge University Press. New York, EE.UU.
- CARDINI, A., Y S. ELTON.** 2007. Sample size and sampling error in geometric morphometric studies of size and shape. *Zoomorphology* 126:121-134.
- CAMUL, R., Y P. D. POLLY.** 2005. Phylogenetic and environmental components of morphological variation: skull, mandible, and molar shape in Marmots (*Marmota*, Rodentia). *Evolution* 59:2460-2472.
- CORDERO-ESTRELA, P., M. BAYLAC, D. CHRISTIANE, Y J. POLOP.** 2008. Combining geometric morphometrics and pattern recognition to identify interspecific patterns of skull variation: case study in sympatric Argentinian species of the genus *Calomys* (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae). *Biological Journal of the Linnean Society* 94:365-378.
- CORTI, M., M. AGUILERA, Y E. CAPANA.** 1998. Phylogeny and size and shape changes in the skull of the South American rodent *Proechimys*. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 44:139-150.
- DELGADO-JARAMILLO, M. I., M. MACHADO, F. J. GARCÍA, Y J. OCHOA.** 2011. Murciélagos (Mammalia: Chiroptera) del Parque Nacional Yurubí, Venezuela: listado taxonómico y estudio comunitario. *Revista de Biología Tropical* 59:1757-1776.
- DE ANDRADE COSTA, B. M., L. GEISE, L. G. PEREIRA, Y L. P. COSTA.** 2011. Phylogeography of *Rhipidomys* (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae) and description of two new species from southeastern Brazil. *Journal of Mammalogy* 92:945-962.
- DE LA SANCHA, N. U., G. D' ELÍA, C. J. TRIBE, P. E. PÉREZ, L. VÁLEZ, Y R. H. PINE.** 2011. *Rhipidomys* (Rodentia, Cricetidae) from Paraguay: noteworthy new records and identity of the Paraguayan species. *Mammalia* 75:269-276.
- DUJARDIN, J. P.** 2000. Introducción a la Morfometría, con énfasis en Triatominae y Phlebotominae. IRD, UMR CNRS-IRD 9226. (Disponible en: <http://www.mpl.ird.fr/morphometrics/>).
- GARCÍA, F. J., M. I. DELGADO-JARAMILLO, M. MACHADO, Y L. AULAR.** 2012. Preliminary inventory of mammals from Yurubí National Park, Yaracuy, Venezuela with some comments on their natural history. *Revista de Biología Tropical* 60:459-472.
- GUERRERO, J. A., E. DE LUNA, Y C. SANCHEZ-HERNÁNDEZ.** 2003. Morphometrics in the quantification of character state identity for the assessment of primary homology: an analysis of character variation of the genus *Artibeus* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Biological Journal of the Linnean Society* 80:45-55.
- HAMMER, Ø., Y D. A. T. HARPER.** 2011. PAST: PAleontological STATistics, versión 2.10. (Disponible en: <http://folk.uio.no/ohammer/past/>).

- HANDLEY, C. O. JR.** 1976. Mammals of the Smithsonian Venezuelan Project. Brigham Young University Science Bulletin, Biological Series 20:1-91.
- LENCASTRE, S. F.** 2011. Evolutionary trends on extant cat skull morphology (Carnivora: Felidae): a three dimensional geometrical approach. Biological Journal of the Linnean Society 103:176-190.
- LINARES, O. J.** 1998. Mamíferos de Venezuela. Sociedad Conservacionista Audubon de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- LÓPEZ-FUSTER, M. J., R. PÉREZ-HERNÁNDEZ, Y J. VENTURA.** 2001. Variación craneométrica de *Rhipidomys latimanus venezuelae* (Muridae, Sigmodontinae). Orsis 16:111-120.
- MIJARES-URRUTÍA, A., Y R. RIVERO.** 2000. A new treefrog from The Sierra de Aroa, Northern Venezuela. Journal of Herpetology 34:80-84.
- MARCHÁN-RIVADENEIRA, M. R., C. J. PHILLIPS, R. E. STRAUSS, J. A. GUERRERO, C. A. MANCINA, Y R. J. BAKER.** 2010. Cranial differentiation of fruit-eating bats (genus *Artibeus*) based on size-standardized data. Acta Chiropterologica 12:143-154.
- MORGAN, C. C.** 2009. Geometric morphometrics of the scapula of South American caviomorph rodents (Rodentia: Hystricognathi): form, function and phylogeny. Mammalian Biology 74:497-506.
- MUSSER, G. G., Y M. D. CARLETON.** 1993. Family Muridae. Pp. 501-755 in Mammals species of the world: a taxonomic and geographic reference (Wilson D. E., y D. M. Reeder, eds.). Segunda edición. Smithsonian Institution Press. Washington, EE.UU.
- MUSSER, G. G., Y M. D. CARLETON.** 2005. Superfamily Muroidea. Pp. 894-1531 in Mammals species of the world: a taxonomic and geographic reference (Wilson D. E. y D. M. Reeder, eds.). Tercera edición. Johns Hopkins University Press. Baltimore, EE.UU.
- QUIROGA-CARMONA, M., Y J. MOLINARI.** 2012. Description of a new shrew of the genus *Cryptotis* (Mammalia: Soricomorpha: Soricidae), from the Sierra de Aroa, an isolated mountain range in northwestern Venezuela, with remarks on biogeography and conservation. Zootaxa 3441:1-20.
- RIVAS, B. A., Y M. A. SALCEDO.** 2006. Lista actualizada de los mamíferos del Parque Nacional El Ávila, Venezuela. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales 164:29-56.
- RIVAS, B. A., Y O. J. LINARES.** 2006. Cambios en la forma de la pata posterior entre roedores sigmodontinos según su locomoción y hábitat. Mastozoología Neotropical 13:205-215.
- RODRÍGUEZ A. A.** 2007. Descripción morfométrica del aparato bucal de cinco especies de roedores múridos del Municipio de Santiago Comaltepec, Oaxaca. Tesis Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México.
- ROHLF, F. J.** 2007. TpsDig, program for Digitizing landmarks and outline for Geometric morphometric analyses, Version 2.04. (Disponible en: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/index.html>).
- ROHLF, F. J., Y L. MARCUS.** 1993. A Revolution in Morphometrics. Trends Ecology and Evolution 8:129-132.
- ROZE, J. A., Y H. SOLANO.** 1963. Resumen de la familia Caecilidae (Amphibia: Gymnophiona) de Venezuela. Acta Biológica Venezolánica 3:287-300.

- SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, J., Y D. LEW.** 2012. Lista actualizada y comentada de los mamíferos de Venezuela. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales 173-174:173-238.
- SHEETS, H. D.** 2005a. CoordGen6, Coordinate Generation program for calculating shape coordinates. (Disponible en: <http://www3.canisius.edu/~sheets/morphsoft.html>).
- SHEETS, H. D.** 2005b. CVAGen6, Canonical Variates Analysis program for the analysis of shape, based on partial warp scores. (Disponible en: <http://www3.canisius.edu/~sheets/morphsoft.html>).
- SORIANO, P. J., A. DÍAZ DE PASCUAL, J. OCHOA-G., Y M. AGUILERA.** 1999. Biogeographic analysis of the mammal communities in the Venezuelan Andes. *Interciencia* 24:17-25.
- SOTO-VIVAS, A., J. LIRIA, Y E. DE LUNA.** 2011. Morfometría geométrica y filogenia en *Rhodniini* (Hemiptera, Reduviidae) de Venezuela. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 27:87-102.
- TRIBE, C. J.** 1996. The Neotropical rodent genus *Rhipidomys* (Cricetidae: Sigmodontinae) - a taxonomic revision. Ph. D. dissertation. University College. London, Reino Unido.
- TRIBE, C. J.** 2005. A new species of *Rhipidomys* (Rodentia, Muroidea) from north-eastern Brazil. *Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro* 63:131-146.
- VAN DER MOLEN, S., N. MARTÍNEZ ABADÍA, Y R. GONZÁLEZ-JOSÉ.** 2007. Introducción a la morfometría geométrica: curso teórico práctico. Universitat de Barcelona. Barcelona, España.
- VOSS, R. S., D. P. LUNDE, Y N. B. SIMMONS.** 2001. The mammals of Paracou, French Guiana: a neotropical lowland rainforest fauna part 2. Nonvolant species. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 263:1-236.
- WILSON, D. E., Y D. A. REEDER (EDS).** 1993. Mammals species of the world: a taxonomic and geographic reference, segunda edición. Smithsonian Institution Press. Washington, EE.UU.
- WOODMAN, N.** 2002. A new species of small-eared shrew from Colombia and Venezuela (Mammalia: Soricomorpha: Soricidae: Genus *Cryptotis*). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 115:249-272.
- ZELDITCH, M., D. L. SWIDERSKI, H. D. SHEETS, Y W. L. FINK.** 2004. Geometric morphometrics for biologists: a primer. Elsevier Academic. Boston, EE.UU.

Sometido: 6 de diciembre de 2012

Revisado: 11 de diciembre de 2012

Aceptado: 15 de marzo de 2013

Editor asociado: Jesús Maldonado

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández

Apéndice I

Especímenes examinados:

Rhipidomys venustus. MZUC: La Trampa del Tigre (10° 54' 11" N, -68° 48' 01" O; 1,940m), Sector El Silencio, Parque Nacional Yurubí, Sierra de Aroa, estado Yaracuy (MZUC-970 al 978). Monumento Natural Pico Codazzi, estado Aragua (MZUC-900). EBRG: San Luís, Parque Nacional Juan Crisóstomo Falcón, sector Cumbre de Uría, 9 km de Cabure; 1,320 m (EBRG-24865). 9.4 km, Norte de Caracas Dto. Federal (EBRG-15251). 14 Km E. Trujillo (EBRG-15253, 15254, 15255, 15256). 5.5 Km E. y 2 Km S, Tabay, Mérida (EBRG-15258). Monte Zerpa, La Hechicera, 1,900 m, Mérida (EBRG-28303).

Rhipidomys wetzeli. EBRG: 85 Km SE El Dorado, Bolívar (EBRG-15236, 15237, 15238, 15239).

Rhipidomys fulviventor elatturus. EBRG: 35 Km S y 22 Km O San Cristóbal, Táchira (EBRG-15241, 15242, 15243, 15244, 15245, 15246).

Rhipidomys fulviventor ssp. 1. EBRG: 9.4 Km N, Caracas, Venezuela (EBRG-15248, 15250, 15252).

Rhipidomys fulviventor tenuicauda. EBRG: 2 Km N y 4 Km O de Caripe, cerca de San Agustín, 1,162 m, Monagas (EBRG-15259, 15260, 15261, 15262, 15263, 15264). Serranía Turimiquire, cumbre cerro La Laguna, 2,200 m Anzoátegui (EBRG-22872).

Apéndice II

Definición de los Puntos Anatomicos de Referencia (PAR) para cada una de las vistas digitalizadas:

Dorsal del cráneo: 1, punto más anterior del rostro entre los nasales; 2-16, punto más ancho del rostro en la región maxilar; 3-15, punto anterior de la raíz dorsal del arco cigomático en la región maxilar; 4-14, punto en la sutura del hueso esquamosal con el jugal; 5-13, punto posterior del arco cigomático en el hueso esquamosal; 6-12, margen posterior de la abertura acústica en la región de la bula timpánica; 7-11, punto exterior medio sobre el hueso periótico; 8-10, punto exterior de la región exoccipital; 9, punto más posterior del cráneo.

Ventral anterior-media del cráneo: 1, punto más anterior del paladar en la base de los incisivos superiores; 2, punto anterior de la foramina incisiva izquierda; 3-13, punto medio de la foramina incisiva en la sutura premaxilar-maxilar; 4, punto posterior de la foramina incisiva derecha; 5-11, punto medio entre el alvéolo del primer molar superior; 6-10, punto anterior entre el alvéolo del tercer molar superior; 7-9, punto anterior de los pterigoides en la región pre-esfenoide; 8, punto más posterior del paladar; 12, punto posterior de la foramina incisiva derecha; 14, punto anterior de la foramina incisiva derecha.

Ventral media-posterior del cráneo: 1, punto posterior del hueso pre-esfenoide; 2-14, punto medio del hueso basi-esfenoide; 3-12, punto anterior en la región basi-occipital; 4-11, punto medio en la región basi-occipital; 5-10, punto posterior en la región basi-occipital; 6-9, punto posterior interno de los cóndilos occipitales; 7, punto anterior del foramen magnum; 8, punto posterior del foramen magnum.

Lateral del cráneo: 1, punto más anterior del cráneo; 2, punto sobre la base de la raíz dorsal anterior del arco cigomático; 3, punto medio sobre la región frontal; 4,

punto medio del hueso parietal; 5, punto medio entre la sutura anterior y posterior del hueso interparietal; 6, punto medio en la región exoccipital; 7, punto más alto del hueso occipital; 8, punto medio del hueso occipital; 9, punto medio inferior de la bula timpánica; 10, punto posterior de la fila molar en la base posterior del último molar; 11, punto anterior de la fila molar en la base anterior del molar; 12, punto en la base inferior de los incisivos superiores; 13, punto en la base superior de los incisivos superiores.

Mandíbula lateral: 1, punto en la base superior de los incisivos; 2, punto más profundo en la curvatura entre la base superior de los incisivos y la base anterior del primer molar; 3, punto anterior en la base del primer molar; 4, punto superior del dentario en la base posterior del segunda molar; 5, punto superior del proceso coronoide; 6, punto más profundo de la hendidura sigmoidea ; 7, punto superior más externo del proceso condilar; 8, punto más interno del dentario entre el proceso condilar y proceso angular; 9, punto más externo del proceso angular; 10, punto en la base inferior del proceso angular; 11, punto interno más profundo en la curvatura de la base de la mandíbula; 12, punto más externo de la curvatura en la región anterior de la base de la mandíbula; 13, punto en la base inferior de los incisivos.

In Memoriam:

Dr. Roberto Martínez Gallardo
(1961-2013)



Roberto Martínez Gallardo, nació en la ciudad de México el 7 de septiembre de 1961. Realizó sus estudios de primaria, secundaria y bachillerato en la ciudad de México. En el año de 1982 ingresó a la carrera de Biología en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en la que obtuvo el título con la tesis: “Estudio experimental de la remoción de frutos y semillas por roedores (*Heteromys desmarestianus* y *Peromyscus mexicanus*) de algunas de las principales especies arbóreas de la selva alta perennifolia en la Estación de

Biología Tropical Los Tuxtlas”.

Desde aquel entonces Roberto estuvo bajo la tutela de Víctor Sánchez-Cordero, fue parte del grupo de estudiantes y hoy mastozoólogos consagrados del cubículo Z-116 y uno de los primeros estudiantes de Víctor en el Laboratorio de Mastozoología del Instituto de Biología de la UNAM.

En 1989 ingresa a la maestría en la Facultad de Ciencias de la UNAM y culmina exitosamente en el año de 1990 defendiendo la tesis: “Estudio de la remoción post-dispersión de frutos y semillas por roedores en una selva húmeda”. En 1991 inició sus estudios doctorales también en la Facultad de Ciencias de la UNAM, siempre asociado al Instituto de Biología. Su trabajo de tesis lo enfocó a la “Remoción post-dispersión de semillas y frutos por mamíferos en diferentes grados de perturbación antropogénica de la selva alta perennifolia en la región de Los Tuxtlas, Veracruz”. Finalmente obtuvo el grado en el año de 1995. Durante esos años, Roberto combinaba sus estudios con actividades deportivas y de recreación, formó parte del equipo de fútbol del Laboratorio de Mastozoología, del Instituto de Biología, de la UNAM, junto con hoy reconocidos investigadores (Enrique Martínez Meyer, Fernando Cervantes, Miguel Briones, Javier Sosa, Gerardo Sánchez Rojas, Jesús Martínez y otros más). Fue participante en reuniones sociales y de bohemia, un excelente amigo y compañero, y siempre se le veía ayudando a sus compañeros en el laboratorio.

Durante su formación académica Roberto presentó alrededor de 29 ponencias en diversos foros nacionales e internacionales. Resaltan sus conferencias sobre los avances en sus investigaciones sobre la remoción post-dispersión de roedores en selvas húmedas, pero

también es destacable mencionar diversos temas que siempre consideró importantes como: la diversidad de mamíferos de los Tuxtlas, Veracruz; ecología de roedores (*Peromyscus* y *Heteromys*, entre otros más); sistema de información Geográfica aplicado para la conservación de la mastofauna; diversidad de mamíferos en áreas naturales protegidas y otros temas más. Además, aún como estudiante, Roberto publicó algunos resultados de sus primeras investigaciones (Martínez-Gallardo y Sánchez-Cordero, 1993) y asesoró a una estudiante de licenciatura para obtener su título (Biciego 1996)

Durante la última etapa de su formación (1986-1988), Roberto colaboró activamente con Víctor Sánchez-Cordero y Rodolfo Dirzo en los proyectos: Ecología de mamíferos tropicales, interacción planta-animal y en la conservación de *Crocodylus moreletii* en la región de Los Tuxtlas. Realizó una estancia de investigación en el Departamento de Zoología del Field Museum of Natural History de Chicago, Illinois, EE.UU. como investigador visitante en 1991.

Una vez obtenido el grado de Doctor, fue contratado por la Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California (UABC), como responsable del programa de investigación "Biología y Ecología del Borrego Cimarrón (*Ovis canadensis cremnobates*, Elliot 1903) en Baja California, México. A partir de ese proyecto, siguió desarrollando una línea de investigación en torno a la biología, ecología y conservación del borrego cimarrón ("Estudio del Borrego Cimarrón en Baja California, México"; "Estado de conservación, dinámica poblacional y reproductiva de Borrego Cimarrón en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México" y "Determinación de la proporción de sexos y la dieta del borrego cimarrón en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México").

Su línea de investigación se amplió a otros grupos de mamíferos: Gato montés (*Lynx rufus*), coyote (*Canis latrans*) y puma (*Puma concolor*), evaluando principalmente el impacto de sus poblaciones sobre la actividad pecuaria de la zona. Además incursionó en el estudio de la comunidad de murciélagos en cuatro ambientes del área de distribución original del matorral rosetófilo costero, todo esto en Baja California. Participó hasta el momento de su partida en aproximadamente en 49 proyectos de investigación financiados por diversas instancias nacionales e internacionales.

El Dr. Martínez Gallardo publicó cerca de 45 trabajos, tanto en revistas nacionales e internacionales y capítulos de libros. Trabajos de investigación básica, aplicada y de divulgación. Destacan sus primeros trabajos sobre la remoción de frutos y semillas (Sánchez-Cordero y Martínez-Gallardo 1997), algunos más sobre las especies de mamíferos de la selva de los Tuxtlas (Martínez-Gallardo y Sánchez-Cordero. 1997 a, b), y varios sobre borrego cimarrón (Ayala-Cano y Martínez-Gallardo 2001; Martínez-Gallardo y Galindo-Manriquez 2001; Martínez-Gallardo y Ayala-Cano 2007).

Participó en un poco más de 100 eventos académicos, entre simposios, talleres y congresos. En la mayoría de las veces en compañía de sus alumnos, motivándolos y preparándolos. Muchos de nosotros tenemos grandes recuerdos de varios eventos, donde como antes convivimos fuertemente con Roberto. Cada dos años, es ya una costumbre la reunión de los exalumnos del Instituto de Biología, en las que asistió hasta el congreso Nacional de Mastozoología de 2008 celebrado en Autlán, Jalisco.

En cuanto a formación de recursos humanos, el Dr. Martínez-Gallardo había graduado a 39 alumnos, entre los niveles de licenciatura, maestría y doctorado, la gran mayoría alumnos egresados de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja

California. Fue muy querido y respetado en las cátedras que él impartió. Inicio en 1997 con Ecología y dinámica de poblaciones en la carrera de Biología de la Facultad de Ciencias, UABC. Le siguieron materias como: evolución, modelos lineales generalizados aplicados a la ecología, manejo y conservación de vida silvestre y ecofisiología animal, estos tres últimos dentro del programa de la maestría en manejo de ecosistemas de zonas áridas en la Facultad de Ciencias, UABC.



Roberto, fue un gran estudiante, un investigador admirable, un formador de profesionistas, pero sobre todo un gran ser humano. Falleció la madrugada del 16 de febrero del 2013 en la ciudad de Ensenada, Baja California, después de varios años de una ardua lucha contra la diabetes. Como un homenaje al Dr. Roberto Martínez Gallardo, recordamos algunos de los pasajes que tuvimos con Él, como parte de la gran amistad que nos unió:

Son demasiados los recuerdos que tengo de Roberts desde el Z-116. La primera vez que lo llevé a Los Tuxtlas, nos quedamos en Catemaco a dormir en un cuartucho, que apenas había lugar para dos catres (Hotel Tío Tin), lloviendo a cántaros parecía Macondo y hablamos de los 100 años o más de la soledad mexicana, de Llano en Llamas y Pedro Páramo, toda la noche. Al día siguiente, muy temprano, nos fuimos en el camión de redilas a Los Tuxtlas; cuando Roberts vio la Estación, se enamoró de ella, sus trabajos sobre remoción de frutos y semillas de Los Tuxtlas, ya son clásicos... Quizá mi reflexión sea la que comenté hace unos días, en el círculo de la vida, se supone que los viejos se mueren primero que los jóvenes; cuando eso no pasa, es más difícil el pesar. Descansa en paz, mi querido Roberts...

VS-C.

Excelente amigo. Mastozoólogo siempre dispuesto a colaborar, a compartir sus conocimientos y a discutir sobre ciencia. Promotor de la matemática y la estadística como parte fundamental del quehacer profesional del biólogo. Aplicador de los modelos lineales generalizados y de los análisis de varianza anidados. Siempre con “un mundo de cosas” que hacer, pero constantemente con tiempo para los amigos. Parte del representativo “Los Murcis”, equipo de balompié de camaradas del Instituto de Biología de la UNAM. Hacedor de pasos a ritmo de cumbia y salsa. Bohemio en patios, selvas y humedales. Científico de la remoción-postdispersión de semillas y frutos. Enamorado de “Los Tuxtlas”, de los *Heteromys* y de los *Peromyscus*. Amante de los murciélagos. Compañero de la vida silvestre y de los parques nacionales. Formador de mentes. Miembro distinguido del Z-116 antes que el SNI. Sereno aun después del último viaje. Gracias Robert. Descansa en paz.

JS-E.

Fueron los mejores momentos de mi vida estudiantil, aquel paso por el laboratorio de mastozoología y la Colección Nacional de Mamíferos. En ese entonces conocí a mí otra familia, amigos que hasta la fecha tengo muy cerca. Entre ellos Roberto; siempre activo, hablando de *Heteromys*, de estadística y de los difíciles “Glims” para nosotros dos. Fue compartir con Él como estudiantes, el pequeño espacio del Z-116, compartir computadora, libros y hasta cafetera. Era esperar el viernes, para salir a convivir y aun allí seguir la discusión. Después, durante los últimos años, la convivencia siguió, a pesar de la distancia tuve la oportunidad de verlo estudiar borregos cimarrón y murciélagos, de emocionarse como siempre con su trabajo, de atender a sus alumnos, ya como un gran investigador. Cada dos años y gracias a los congresos de la Asociación Mexicana de Mastozoología (AMMAC), tenía la oportunidad de verlo y charlar, aprendí mucho con Él. Reitero mi respeto y admiración a Roberto.

MB-S.

Mis recuerdos sobre Roberto datan de nuestra época de estudiantes de doctorado en el Instituto de Biología, UNAM. Lo recuerdo como un gran compañero, siempre presente, inteligente, amable, alegre...y un gran bailaror. Siempre dispuesto a ayudar y apoyar en cualquier momento. Solemne en nuestra ceremonia de investidura de grado de doctor. Elemento fundamental en los partidos de fútbol y en las reuniones del Instituto y en casas de compañeros y compañeras. Siempre atento y dispuesto a colaborar en el desarrollo del libro sobre las colecciones mastozoológicas de México. Por nuestro trabajo nos distanciamos, pero era muy grato encontrarme con él en los congresos de mastozoología...y volver a bailar! Gracias Roberto, por el recuerdo que nos dejas y las gratas experiencias que vivimos en una época maravillosa. Descansa en paz.

CL

Creo que mi trabajo en la Estación de los Tuxtlas, Veracruz, fue el primero que él asesoró para tesis de licenciatura. Se trató de hacer recorridos y algunas colectas en la estación y la reserva de los Tuxtlas en el año de 1991. Estando muy jóvenes, como parte del trabajo de campo, nos aventuramos caminando a conocer cómo estaba el estado de conservación del ecosistema que caracteriza a esa zona. En nuestra metodología, se nos ocurrió hacer guardias nocturnas para “ver” y escuchar actividad de mamíferos terrestres. Él junto con otros compañeros, llevaron madera y vigas a la Reserva para hacer tapancos en los que nos quedamos en la noche. Esas veces, fueron noches de cansancio y de miedo por los ruidos, las sombras y el aire, pero él, siempre tuvo la decencia de calmarme, de protegerme y responder por mí durante la “velada” silvestre. Durante el día, una vez, tuvimos que correr para que un buey de un potrero no nos diera una cornada. Roberto, con su gran tamaño, me empujó a una zanja en la que caí; él corrió y cayó en la misma más adelante, después de que logramos estar escondidos, lejos del buey o que ya no le importáramos. Salimos de la zanja, nos reunimos, nos preguntamos si estábamos bien, nos vimos a los ojos y como niños, comenzamos a reír de nuestra distracción, de nuestro susto y del posible accidente que hubiéramos tenido, yo me sorprendí de la agilidad que tenía en aquel entonces. Por aquel tiempo, mientras nos explicaba como caracterizar los lugares, que era un sendero de fauna, las zonas de sucesión primaria y secundaria y lo mejor, cómo la gente puede afectar esas zonas. Él tenía la costumbre de llevar pipa en mano y tabaco, paliacate al cuello y mochila en la espalda. Por lo regular, solía atreverse a preguntar a algunas de las personas del lugar, algunos de los usos que le daban a los recursos naturales disponibles. Pudiera contar anécdotas de nuestra estancia en la estación, nuestros recorridos a San Martín, a San Andrés, en las playas y en nuestra casa de “La Victoria”. Digo nuestra casa, porque Él la rentó, allí vivimos el tiempo necesario mientras hicimos nuestro trabajo de campo, pero, como son tantas mejor finalizo diciendo. Esta experiencia me sirvió para los años en qué estuve como profesional de servicios en el

Instituto Nacional de Ecología (INE) trabajando en impacto ambiental. Años después, hice una maestría y doctorado combinando teorías biológicas y antropológicas que disfruté mucho. Sé que parte de mi formación como bióloga y luego antropóloga, Robertrón o *Robertodomys tluxtlae* que así lo bautizamos un día de su cumpleaños un 7 de septiembre, influyó en mi persona de una manera tan especial, que hoy como profesora la practico día con día.

Gracias...Amigo mío.

RB

Después de todo lo comentado quizás falte poco por agregar, yo por mi parte siempre tendré en mente a Roberto como un hombre de campo (sé que al final producto de su enfermedad ya no tanto), quien por varios días fue capaz de seguir la pista de las madrigueras de *Liomys pictus* a pesar de que por su tamaño uno no podría imaginar su capacidad física y agilidad, en esa ocasión nos acompañaba el Víctor quien durante todo ese día se sentaba en un cubeta que llevamos por si en la madriguera había semillas y muy dedicado veíamos que estaba escribiendo, al final y después de que Roberto y yo nos arrástranos por la selva de chamela, descubrimos que Vic estaba dibujando cuadritos y en vez de enfadarnos, él fue el primero en reír y nos dimos cuenta lo importante que era convertirnos en doctores para poner a la gente a trabajar, resumiendo Roberto era un tipo con un gran sentido del humor y alguien que sorprendía por sus capacidades

GS-R

Hoy expreso, aunque triste, un amplio placer por escribirle unas líneas a un gran amigo que se nos ha adelantado, Roberto Martínez Gallardo. Como muchos otros, en la vida he sido marcado al carecer de muchos apoyos. Un joven provinciano, en aquel entonces, llega a la gran ciudad sin conocer a nadie para estudiar una maestría. Al pasar el tiempo, este joven encontró cobijo con un grupo de estudiantes en el cubículo Z-116 del Instituto de Biología de la UNAM. Entre esos estudiantes, el gran Roberto, no por su tamaño corporal, sino por su bondad, actitud, disponibilidad a orientar y, de poder, apoyar en lo material, también. En lo particular estoy muy agradecido con Roberto y otros amigos. Para mí es un honor compartir viejas y nuevas experiencias con ellos, y lamento que Roberto no esté físicamente con nosotros para seguir aprendiendo. Debemos continuar juntos, esforzándonos más porque considero que nuestro quehacer nos ha hermanado. Debo mucha experiencia de vida y académica a Roberto, que a pesar de la distancia, estábamos juntos. Me resta unirme a los comentarios de gratitud hacia Roberto. Hoy lo recuerdo visitándonos en Campeche, dejando a un lado el Congreso de Mastozoología desarrollado en la ciudad de Mérida, Yucatán en noviembre del 2000 para ir a conocer mi casa y saber de mi esposa Griselda Escalona, que también lo conoció y convivió con él en la Estación Biológica de los Tuxtlas. Ella lo recuerda como un consejero

académico y como un gran amigo. Lo que hoy pasamos con la pérdida de Roberto, debe ser un acto de unión para con todos. Donde quiera que Roberto se encuentre, estará orgulloso de sus amigos. Descanse en paz

JV-C

La época de estudiante es inolvidable por las experiencias que la acompañan y la amistad que se forja con la convivencia diaria durante varios años. En esa etapa conocí más de cerca a Roberto, mi vecino, con quien compartí alegrías y tristezas. Nuestra amistad surgió cuando coincidimos en la Licenciatura en Biología, en la entonces Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza, donde junto con compañeros como Patricia Koleff y Angélica Correa teníamos el denominador común de vivir por el mismo rumbo. Juntos aprendimos a querer la profesión que elegimos por decisión propia, los recuerdos que tengo de Roberto van desde las salidas a campo a Isla Verde en Veracruz con poco dinero pero felices de recorrer el Malecón o pasarnos la noche en la Disco con una sola bebida, la búsqueda de fósiles en Hidalgo y las caminatas en el Chichinautzin donde como es de suponer a él le tocaba cagar lo más pesado. Compartimos momentos inolvidables alrededor de la fogata en compañía de maestros como Alfredo Bueno, David Espinosa Organista e Isaías Salgado Ugarte, con pláticas acerca de la vida, proyectos, sueños y maratones de chistes. El tiempo e intereses familiares nos llevó por caminos separados; sin embargo, a pesar de la distancia nuestra amistad permaneció al igual que los recuerdo de una época en la que ninguno sabía lo que el destino le depararía, por lo que doy gracias a la vida el haberme permitido disfrutarlos en compañía de mi vecino y amigo de la calle de al lado... Roberto.

RM-G

**Miguel Briones-Salas¹, Victor Sánchez-Cordero², Javier Sosa-Escalante³,
Consuelo Lorenzo⁴, Raquel Biciego⁵, Gerardo Sánchez-Rojas⁶,
Jorge Vargas-Contreras⁷ y Rosa María Gómez⁸.**

¹Laboratorio de Vertebrados Terrestres (Mastozoología), Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAX), Instituto Politécnico Nacional. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca 71230, Oaxaca. E-mail: mbriones@ipn.mx (MB-S).

²Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. Departamento de Zoología. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Tercer Circuito Exterior s/n Ciudad Universitaria, Coyoacán, Distrito Federal 04510, email: victor@ibunam2.ibiologia.unam.mx (VS-C).

³Centro para la Gestión de la Sustentabilidad. Calle 78, número 578 entre 13-1 y 128 (Mérida 2000), Mérida, Yucatán, 97217. E-mail: jeseara@prodigy.net.mx (JS-E).

⁴Departamento de Ecología y Sistemática Terrestres, El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, San Cristóbal de Las Casas 29290, Chiapas, México. E-mail: clorenzo@ecosur.mx (CL).

⁵Escuela Nacional Preparatoria, Plantel Núm 7, Universidad Nacional Autónoma de México. Calzada de la Viga No. 54 esq. Zoquipa, Merced Balbuena, Ciudad de México, 15810. Email: rbaque@gmail.com (RB).

⁶Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Col. Carboneras. Mineral de la Reforma, Hidalgo 42184, México. E-mail: gerardo.sanchezrojas@gmail.com (GS-R).

⁷Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20, Campeche, Campeche 24039 E-mail: jalbino64@hotmail.com (JV-C)

⁸Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Apartado Postal 273 Ex-Hacienda de Nazareno Xoxocotlán, 68000, Oaxaca, México, email: rmgomez80@hotmail.com (RMG).

- AYALA-CANO, S., Y R. MARTINEZ-GALLARDO.** 2001. Development of a methodology in order to determine steroid hormone levels (P4, T, E2) in excretas of bighorn sheep population (*Ovis canadensis cremnobates*) in San Pedro Martir Sierra, Baja California, Mexico. Desert Bighorn Council Transactions 45:173-189.
- BICIEGO, S. R.** 1996. La mastofauna de la región de Los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- MARTÍNEZ-GALLARDO, R., Y V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 1997a. Historia Natural de algunas especies de mamíferos en la región de los Tuxtlas. Pp. 591-609 in Historia Natural de Los Tuxtlas (González Soriano, E., R. Dirzo, y R. C.Vogt, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- MARTÍNEZ GALLARDO, R., Y V. SÁNCHEZ CORDERO.** 1997b. Lista anotada de los mamíferos de la región de los Tuxtlas. Pp. 625-628 in Historia Natural de Los Tuxtlas (González Soriano, E., R. Dirzo, y R. C.Vogt, eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- MARTINEZ-GALLARDO, R., Y E. GALINDO-MANRIQUEZ.** 2001. Feeding habits of bighorn sheep (*Ovis canadensis cremnobates*) in San Pedro Mártir Sierra, Baja California, México. Desert Bighorn Council Transactions 45:111-123.
- MARTÍNEZ-GALLARDO, R., Y V. SÁNCHEZ-CORDERO.** 1993. Dietary value of fruits and seeds to spiny pocket mice *Heteromys desmarestianus* (Heteromyidae). Journal of Mammalogy 74: 436-442.
- MARTÍNEZ-GALLARDO, R., Y S. G. AYALA-CANO.** 2007. Biología, hábitat y manejo del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en México. Pp. 151-164 in Tópicos en Sistemática, Biogeografía, Ecología y Conservación de Mamíferos (Sánchez-Rojas, G., y A. Rojas, eds.). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, México.
- SÁNCHEZ-CORDERO, V., Y R. MARTÍNEZ-GALLARDO.** 1997. Postdispersal fruit and seed removal by forest dwelling-rodents in a lowland rainforest in Mexico. Journal of Tropical Ecology 14:1-13.