

Estado: El preprint no ha sido enviado para publicación

Conocimiento de la dieta de los murciélagos nectarívoros de México: concentrado en pocas especies y en provincias biogeográficas tropicales

Romeo A. Saldaña-Vázquez, Stephanie Ortega-García

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.2112>

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación se describen en el manuscrito, cuando corresponda.
- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- El autor que presenta declara que todos los autores responsables de la preparación del manuscrito están de acuerdo con este depósito.
- Los autores declaran que si el manuscrito se publicará en el servidor SciELO Preprints, estará disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- El autor que hace el envío declara que las contribuciones de todos los autores están incluidas en el manuscrito.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.

Enviado en (AAAA-MM-DD): 2021-04-13

Postado en (AAAA-MM-DD): 2021-04-20

Conocimiento de la dieta de los murciélagos nectarívoros de México: concentrado en pocas especies y en provincias biogeográficas tropicales

Diet knowledge of the nectar-feeding bats of Mexico: concentrated in few species and tropical biogeographic provinces

Autores:

Stephanie Ortega-García*

<http://orcid.org/0000-0003-4667-0627>

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México.

Romeo A. Saldaña-Vázquez

<https://orcid.org/0000-0002-6442-772X>

Instituto de Investigaciones en Medio Ambiente Xabier Gorostiaga S.J., Universidad Iberoamericana Puebla.

* Autor de correspondencia: sortega@cieco.unam.mx

Contribución de Autores: idea inicial del artículo, redacción general, análisis de resultados, discusión y la revisión final (SOG); redacción general, análisis de resultados, discusión y la revisión final (RASV).

Conflicto de intereses: Los autores declaran no poseer conflictos de intereses.

Resumen

Introducción: La interacción biológica entre los murciélagos y las plantas es clave para la estabilidad de los ecosistemas y para la supervivencia del ser humano, quien ha generado industrias económicamente importantes a través de ella, como la producción del tequila y mezcal en México. Por esta razón es importante determinar el estado actual del conocimiento de la dieta de los murciélagos nectarívoros con lo cual podemos establecer las especies de murciélagos con mayor número de interacciones reportadas, las especies vegetales con las que interactúan y las provincias biogeográficas donde lo hacen. El presente estudio tuvo como objetivo hacer una revisión sistemática de literatura sobre las plantas que se han reportado como alimento de las especies de murciélagos nectarívoros que habitan las diferentes provincias biogeográficas de México. **Materiales y métodos:** La búsqueda de literatura se realizó en la base de datos de Web of Science y en el buscador Google Scholar, con la finalidad de obtener tanto publicaciones científicas indizadas por Clarivate Analytics, como literatura gris. Con la información recopilada construimos curvas de rarefacción de riqueza de la dieta de murciélagos, así como un mapa que ubica las localidades donde se ha reportado esta interacción en las diferentes provincias biogeográficas de México. **Resultados:** La dieta de los murciélagos nectarívoros de México se concentra en los géneros *Agave* spp., *Ceiba* spp. y *Pseudobombax* spp. Estas plantas proveen alimento a más del 75% de las especies de murciélagos nectarívoros de México. *Leptonycteris yerbabuena* es la especie con mayor información sobre su dieta, mientras que *Lynchonycteris obscura* es la especie de la que menos información de su dieta en México se cuenta. Además, ninguna especie de murciélago llega a tener un registro mayor al 40% de la riqueza esperada. Por otro lado, las localidades donde se ha estudiado la dieta de estos murciélagos en México se concentran en las provincias biogeográficas Veracruzana, en la parte sur de las Tierras bajas del Pacífico, La Faja Volcánica Transmexicana, Cuenca del Balsas y Sierra Madre del Sur. **Discusión y Conclusiones:** Con base en lo anterior podemos concluir que el conocimiento sobre la dieta de los murciélagos nectarívoros en México está sesgado a los géneros de plantas y murciélagos más comunes y con mayor distribución geográfica. Asimismo, el conocimiento de la dieta de los murciélagos está lejos de estar completado en México, debido a que provincias biogeográficas con mayor diversidad de cactáceas y suculentas se han estudiado poco.

Palabras clave: Chiroptera, Conservación, Glossophagini, Macroecología, Néctar.

Abstract

Introduction: The biological interaction between bats and plants is key for the stability of ecosystems and for the survival of the human being, who has generated economically important industries through it, such as the production of tequila and mezcal in Mexico. For this reason, it is important to determine the current state of knowledge of the diet of nectar-feeding bats, with which we can establish the species of bats with the highest number of reported interactions, the plant species with which they interact and the biogeographic provinces where they do so. The present study aimed to carry out a systematic review of the literature on the plants that have been reported as food for nectar-feeding bats species that inhabit the different biogeographic provinces of Mexico. *Materials and methods:* The literature search was carried out in Web of Science database and Google Scholar search engine, in order to obtain both scientific publications indexed by Clarivate Analytics, as well as gray literature. With the information collected, we built rarefaction curves of richness of the diet of bats, as well as a map that show the localities of different biogeographic provinces where they have been reported. *Results:* The diet of nectarivorous bats in Mexico is concentrated in the genera *Agave* spp., *Ceiba* spp. and *Pseudobombax* spp. These plants provide food for more than 75% of the species of nectar-feeding bats in Mexico. *Leptonycteris yerbabuena* is the species with the most information on its diet, while *Lynchonycteris obscura* is the species with the least information on its diet in Mexico. Furthermore, no species of bat has a record greater than 40% of expected richness. On the other hand, the localities where the diet of these bats has been studied in Mexico are concentrated in the next biogeographic provinces: Veracruzana, the southern part of the Lowlands of the Pacific, the Trans-Mexican Volcanic Belt, Cuenca del Balsas and Sierra Madre del Sur. *Discussion and Conclusions:* We can conclude that knowledge about the diet of nectar-feeding bats in Mexico is biased towards the most common genera of plants and bats with a greater geographic distribution. Likewise, knowledge of the diet of bats is far from complete in Mexico, due to the fact that biogeographic provinces with greater diversity of cacti and succulents have been little studied.

Keywords: Chiroptera, Conservation, Glossophagini, Macroecology, Nectar.

Introducción

La relación que hay entre los murciélagos y las plantas que visitan ha sido de interés en la ecología y biología evolutiva desde hace décadas (Baker 1961; Faegri y van del Pijl 1979; Fleming 1982, Fleming *et al.* 2009). Los estudios que han documentado las interacciones planta-murciélago nos han permitido identificar el papel clave que algunas de las especies de murciélagos tienen en la reproducción y dispersión de las plantas con las que interactúan (Ibarra-Cerdeña *et al.* 2005; Arias-Cóyotl *et al.* 2006). Al mismo tiempo nos han permitido identificar la estructura de algunas de sus comunidades y por ende saber qué especies de murciélagos tienen papeles preponderantes para la estabilidad de esa comunidad, lo que es útil para mantener los servicios ecosistémicos que estos organismos nos brindan (Mello *et al.* 2011). Realizar estos estudios no es sencillo, se requiere de muchas horas de muestreo nocturno, además de más de un ciclo fenológico para obtener información más verás acerca del papel de los murciélagos y su influencia en la comunidad a la que pertenecen (Muchhala y Jarrín-V 2002; Tschapka 2004). Debido a ello, mucho del conocimiento generado se ha hecho a escalas geográficas pequeñas, y con una o pocas especies de estudio de plantas o murciélagos (Stoner *et al.* 2003; von Helversen y von Helversen 2003).

Los murciélagos nectarívoros del nuevo mundo se ubican taxonómicamente dentro de la familia Phyllostomidae, subfamilia Glossophaginae (Ramírez-Pulido *et al.* 2014; Muchhala y Tschapka 2020). Es un grupo diverso que muestra adaptaciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento para alimentarse del polen y néctar de flores (Tschapka *et al.* 2008; Ayala-Berdon *et al.* 2011; Muchhala y Tschapka 2020). Adicionalmente, presentan atributos ecológicos que sugieren que son especies susceptibles a la extinción en comparación con otros murciélagos neotropicales. Por ejemplo, la pérdida de hábitat es una amenaza inminente debido a la desaparición de las plantas de las que se alimentan; en el caso de especies migratorias, éstas pueden encontrar diferentes amenazas a lo largo de su recorrido como depredadores, e infraestructura humana que puede reducir sus poblaciones (Arita y Santos del Prado 1999). Así mismo, los cambios drásticos en la temperatura como consecuencia del cambio climático, pueden reducir la cantidad de néctar producido por las plantas de las cuales se alimentan, la respuesta térmica de los murciélagos y amenaza con reducir el solapamiento de la distribución geográfica tanto de plantas como de murciélagos (Ortega-García *et al.* 2020; Zamora-Gutiérrez *et al.* 2021).

En el territorio mexicano se distribuyen doce especies de murciélagos nectarívoros (Ramírez-Pulido *et al.* 2014), dentro de este grupo hay dos especies y un género endémico para el país (Ramírez-Pulido *et al.* 2014). Además de su diversidad y especialización biológica, estos mamíferos juegan un papel importante social y económico para México debido a los servicios ecosistémicos que aportan al polinizar plantas relacionadas con la producción de bebidas alcohólicas como el tequila y mezcal (Trejo-Salazar *et al.* 2016), o frutos como la pitaya (*Stenocereus queretaroensis*), lo que produce ganancias de más de US\$2,500/ha (Tremlett *et al.* 2020).

A pesar de lo anterior, al momento carecemos de estudios a una escala macroecológica que nos permitan identificar el estado del conocimiento de la relación de los murciélagos nectarívoros y las plantas de las que se alimentan para el país. Si bien se han hecho esfuerzos recientes para sintetizar la información sobre las interacciones potenciales entre plantas quiropterofílicas y murciélagos filostómidos (ver Zamora-Guitérrez *et al.* 2021), no existe una revisión de la evidencia empírica de dichas interacciones en México. Por lo cual el presente estudio tuvo como objetivo la recopilación de la evidencia empírica sobre las plantas de las que se alimentan los murciélagos nectarívoros de México. Para conocer los géneros de plantas más visitados, las especies de murciélagos de las cuales desconocemos sus dietas y finalmente visualizar geográficamente los posibles sesgos de investigación por provincias biogeográficas de México, con la finalidad de guiarnos hacia mejores estrategias de conservación de este especializado grupo de mamíferos.

Materiales y métodos

Búsqueda de datos

Realizamos una búsqueda exhaustiva de literatura científica en la plataforma de literatura científica Google Académico, así como de la base de datos Web of Science. Las palabras clave que se utilizaron en la búsqueda fueron: 1) el nombre científico de cada especie de murciélago nectarívoro que se distribuye en México actualmente (e. g. *Leptonycteris nivalis*) AND “nectar” AND “diet” AND “pollination”. Estas palabras clave se buscaron en el título y resumen de los documentos, la cual abarcó toda aquella que fue publicada desde el año 1955 hasta diciembre de 2020. No se excluyó la literatura gris como las tesis de diferentes grados académicos.

Una vez recopiladas todas las referencias, los documentos duplicados obtenidos por las dos plataformas de búsqueda fueron eliminados. Evaluamos todos los documentos de acuerdo al siguiente criterio de inclusión: 1) las especies de estudio deberían ser especies de murciélagos nectarívoros que se distribuyen actualmente en México, 2) el estudio debería mencionar el nombre científico de la planta de la que el murciélago se alimentaba, 3) se incluyeron dentro de nuestra base de datos registros de néctar, polen, semillas, frutos y avistamientos que confirmaban la visita a las plantas como parte de la dieta de los murciélagos.

Después de leer el texto completo eliminamos los documentos que no tenían certidumbre de qué especie de murciélago visitaba la planta. Mientras que para la construcción de la base de datos para las curvas de rarefacción de especies de plantas visitadas por murciélagos cuando encontrábamos que estudios diferentes reportaban un mismo registro de planta para una misma especie de murciélago, sólo se tomó en cuenta uno de los estudios. Esto para evitar aumentar la completitud del inventario de las interacciones entre un género de planta y una especie de murciélago. Una vez que obtuvimos una base de datos de todas plantas visitadas por los murciélagos nectarívoros de México, ésta fue homogeneizada siguiendo la nomenclatura de TROPICOS y POWO.

Análisis de datos

Para identificar que géneros de plantas tenían más registros de consumo o visita de murciélagos se realizó un mapa de calor a partir de una matriz de interacciones planta-murciélago. Esta matriz contenía en las columnas a las especies de murciélagos y en los renglones los géneros de plantas visitados o consumidos por estos. Dentro de cada celda se colocó el número de registros reportados en la literatura para dicho género (Figura 1). Con dicha matriz construimos las curvas de rarefacción de especies observadas. Esto con la finalidad de identificar si la información hasta ahora generada de esta interacción planta-animal es representativa para cada especie de murciélago. Las curvas de rarefacción de especies se construyeron con números de Hill de orden 0 (riqueza de especies). La extrapolación y rarefacción de cada especie se construyeron con un intervalo de confianza del 95%, permitiendo una extrapolación al doble del número de observaciones observadas. Estos análisis y gráficos se realizaron usando el paquete de R iNEXT V. 2.0.20 y pheatmap (R Development Core Team 2021; Hsieh et al., 2016; Kolde 2015).

Análisis espacial de las interacciones planta-murciélago

De cada uno de los documentos seleccionados se obtuvieron las localidades geográficas únicas que los autores indicaban como sitio de estudio. En los casos donde se mencionaba la localidad pero no las coordenadas geográficas, estas fueron estimadas por medio una calculadora de georreferenciación (Wieczorek y Wieczorek, 2021). Posteriormente las localidades fueron visualizadas geográficamente usando ESRI ArcGIS © version 10 (Redlands, CA 1999–2010). Dicha visualización se realizó en conjunto con las Provincias Biogeográficas de México (Morrone et al., 2017) ya que la diversidad biológica de México es resultado de las condiciones geológicas y climáticas que han desarrollado una biota particular en el país (Morrone 2019).

Resultados

Nuestra búsqueda de literatura resultó 2,200 documentos. Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión antes descritos, 37 documentos fueron considerados dentro de nuestro estudio (ver Apéndice 1). Con lo cual obtuvimos 262 registros de plantas correspondientes a 202 géneros de las cuales se registró alguna interacción por parte de los murciélagos nectarívoros de México. El género *Agave* se registró para 10 de las 12 especies de murciélagos, seguido del género *Ceiba* y *Pseudobombax* para 9 de las 12 especies de estudio (Figura 1).

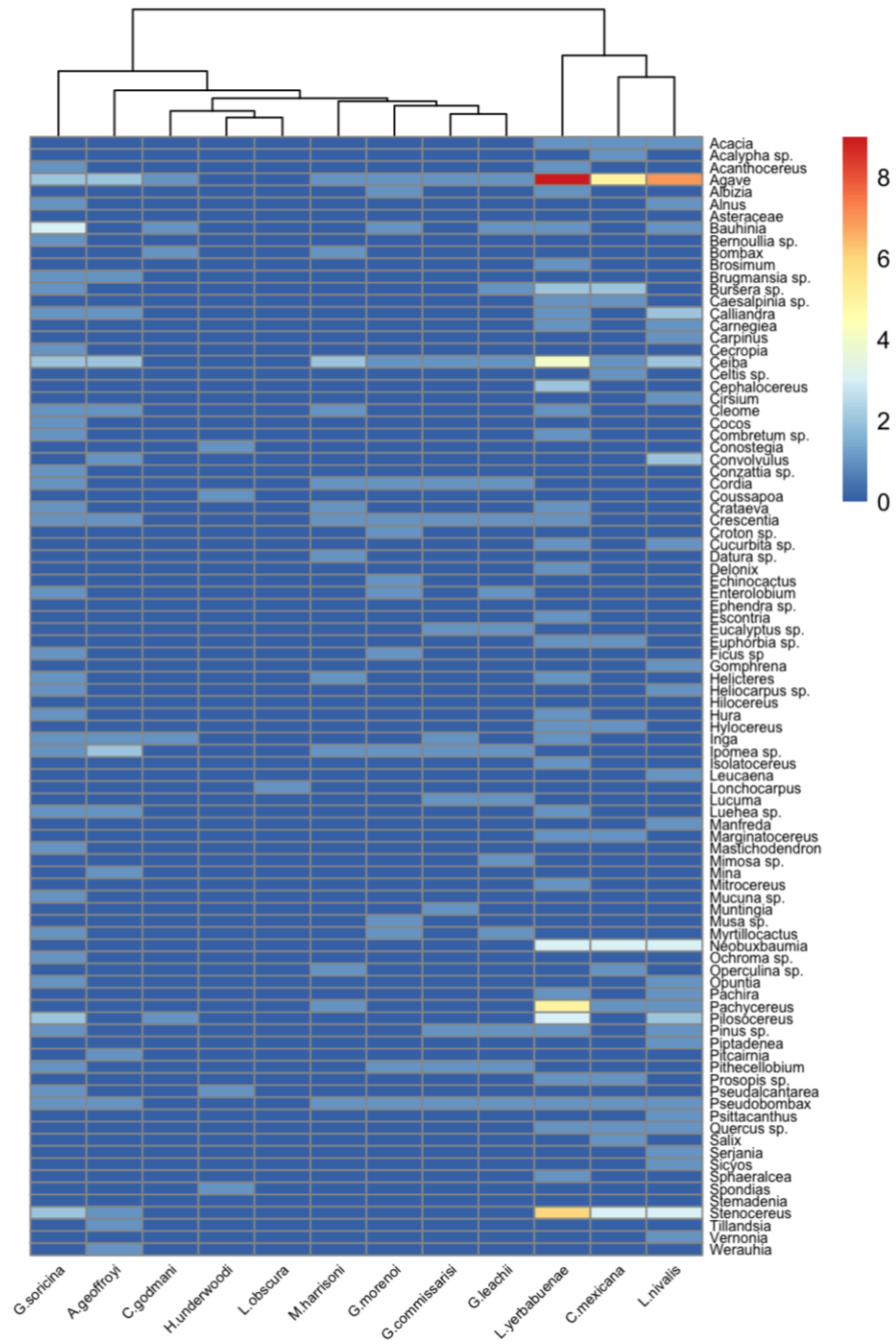


Figura 1. Mapa de calor de las interacciones murciélago-plantas: las celdas de la matriz muestran los pares planta-murciélago (renglones y columnas correspondientes a cada especie de murciélago y género de planta que le corresponde). Para la cual un incremento (color rojo) o decremento (color azul) ocurre en el número de interacciones.

En el caso de los murciélagos, la especie *Leptonycteris yerbabuena* fue la especie con más registros de plantas visitadas, representando el 24.4 % del total de los registros, mientras que *Lynchonycteris obscura* es la especie de la cual desconocemos ampliamente su dieta, ya que sólo representó el 0.3 % del total de los registros (Figura 1). La representatividad del muestreo para la interacción planta-murciélgo osciló entre el 5 y 40 % (Figura 2). El número efectivo de especies calculado por el número de Hill no alcanzó la asíntota para ninguna de las especies después de la extrapolación.

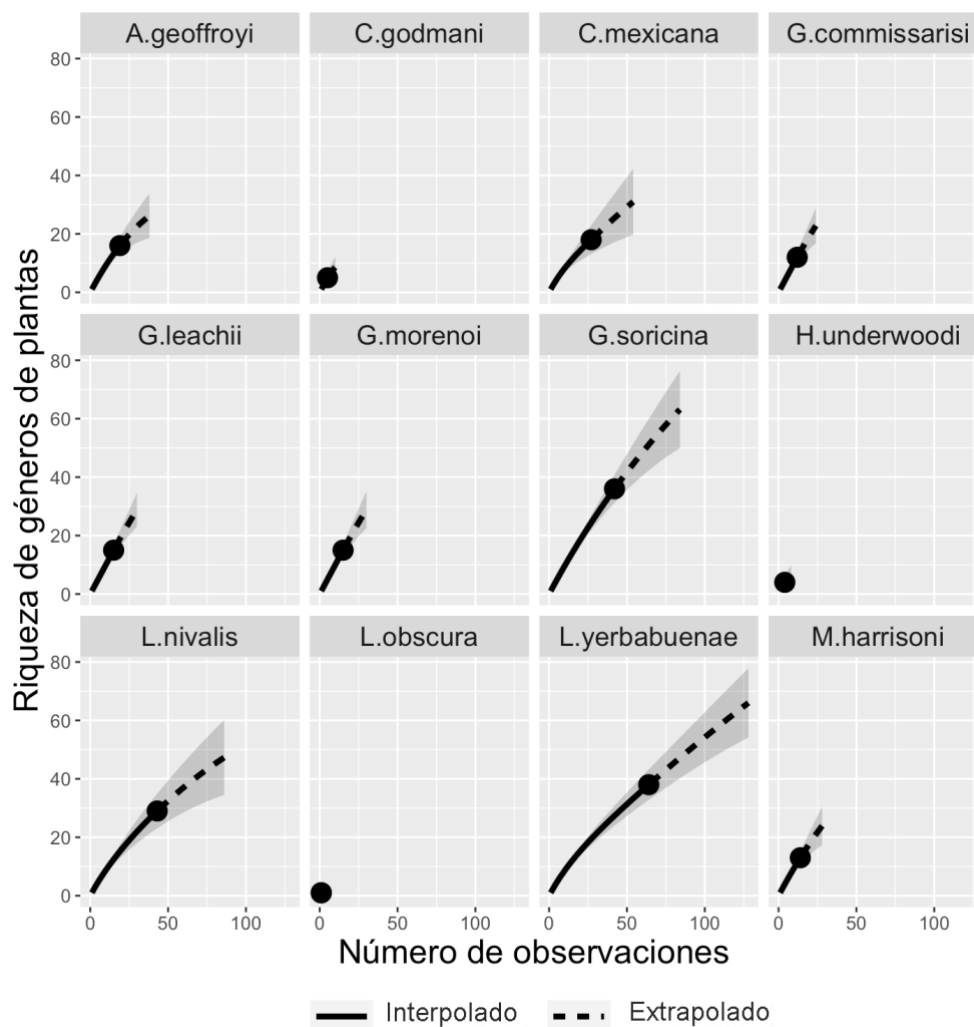


Figura 2. Curvas de rarefacción para las doce especies de murciélagos nectarívoros de México en relación al número de géneros de plantas que visitan. Puede observarse que la curva de extrapolación no llega a la asíntota para ninguna de las especies de murciélgo.

Análisis espacial de las interacciones planta-murciélago

Al sumar las distribuciones geográficas de los murciélagos nectarívoros de México, éstas incluyen a todo el país (Arita y Sánchez del Prado 1999). Sin embargo, los registros de la interacción planta-murciélago se concentran en la región centro y sur de México (Figura 3 y 4). El total de localidades mapeadas fueron 149, ya que sólo se incluyeron localidades únicas, y no en todos los estudios fue posible obtener coordenadas geográficas ya que la información era incompleta. Los estados para los que no se reportaron registros fueron: Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Nayarit, Nuevo León, Guanajuato, Ciudad de México y Tlaxcala (Figura 3). Mientras que las provincias biogeográficas no representadas fueron: Baja California, California y Tamaulipas (Figura 4). Sin embargo algunas de las provincias están representadas sólo por pocas localidades marginales como son el Desierto Chihuahuense, la Sierra Madre Oriental y los Altos de Chiapas.

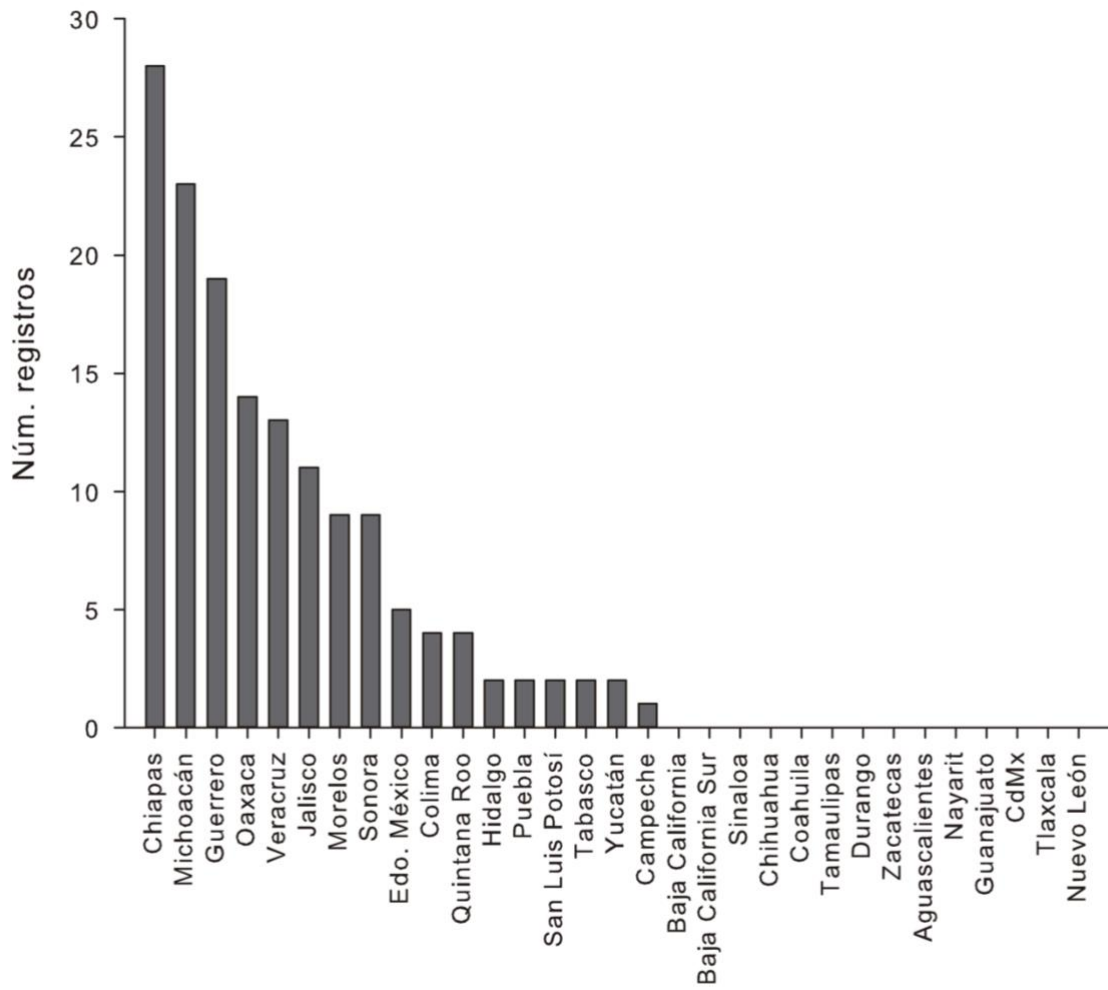


Figura 3. Abundancia de registros donde se reporta una interacción entre planta-murciélago por estado de la República Mexicana.

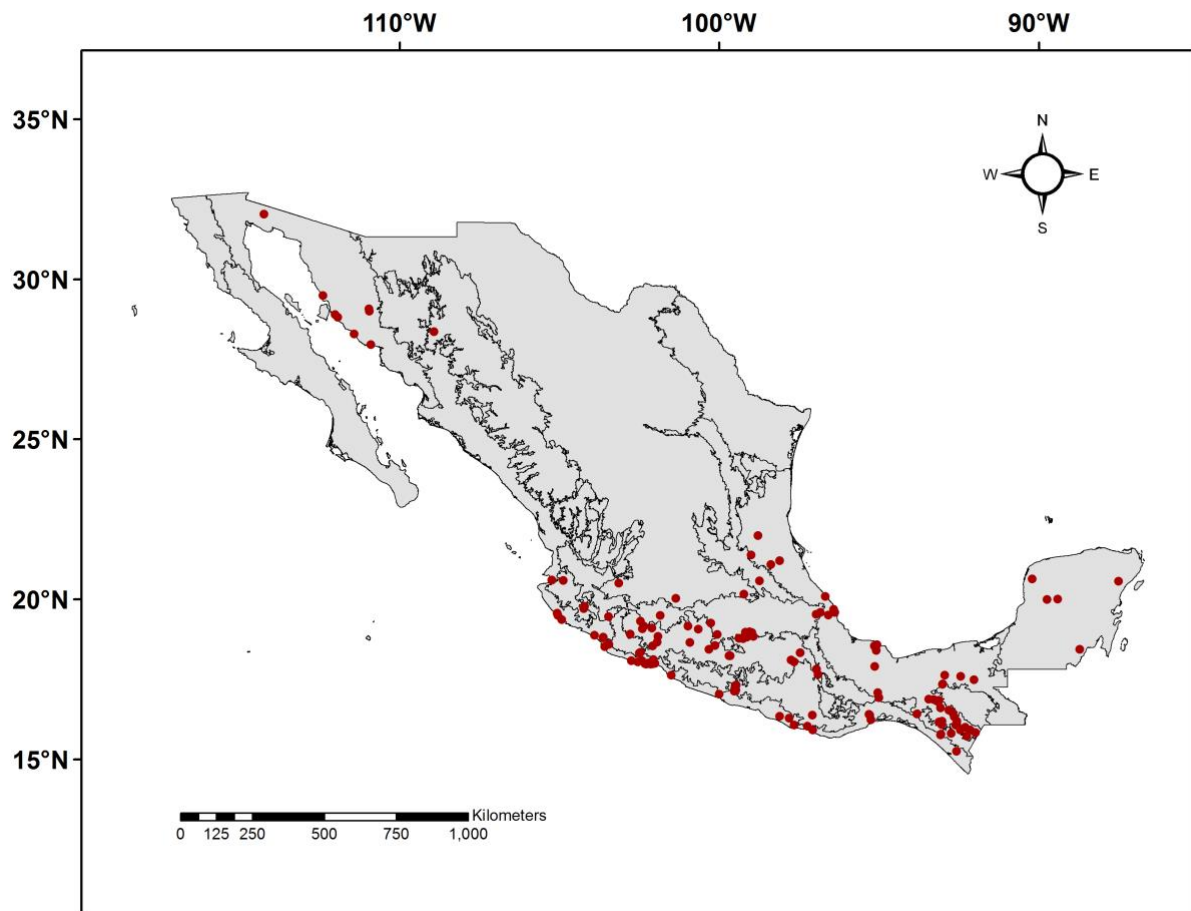


Figura 4. Mapa de los registros de interacción planta-murciélago en relación a las Provincias Biogeográficas de México (para más detalles de las Provincias ver Morrone 2019).

Discusión

Fleming *et al.* (2009), realizaron un estudio acerca de la evolución de la polinización por murciélagos, en él se incluyó un listado de 360 especies de angiospermas que los murciélagos nectarívoros pertenecientes a la familia Phyllostomidae visitan. Su estudio incluyó a todas las especies del nuevo mundo contenidas en los géneros de murciélagos considerados especializados en la alimentación de néctar y los géneros de visitantes florares oportunistas, lo cual hizo un total de 29 géneros diferentes de murciélagos nectarívoros analizados. Mientras que en nuestro estudio analizamos los 8 géneros de murciélagos nectarívoros que se distribuyen en México. A pesar de que el estudio de Fleming *et al.* (2009) incluye un mayor número de géneros de

murciélagos analizados dentro de un área geográfica más amplia, nuestro estudio logró representar un 72.7 % del número de las especies de plantas visitadas por murciélagos registradas por Fleming *et al.* (2009). Esto sugiere que en general, el conocimiento de las especies de plantas visitadas por los murciélagos nectarívoros de México es representativo al conocimiento total de la dieta de los murciélagos nectarívoros filostómidos. Sin embargo, como nuestro estudio muestra, en la parte norte de México es necesario hacer esfuerzos para ampliar el conocimiento de esta relación mutualista.

Una revisión a nivel de especie de murciélago nos permitió observar algunos aspectos relevantes. El conocimiento de la dieta entre las especies de murciélagos es heterogéneo, para las especies *Lychonycteris obscura* e *Hilonycteris underwoodi* hallamos menos de cinco géneros de plantas visitadas (Figura 1), lo que contrasta fuertemente con *L. yerbabuena* y *G. soricina* para las cuales encontramos más de 30 géneros. Esta diferencia en el conocimiento de la dieta de estas especies podría estar relacionado con una distribución geográfica más amplia y densidades locales mayores de *L. yerbabuena* y *G. soricina* (Arita y Sánchez del Prado 1999). Además del interés de conocer los polinizadores potenciales de plantas de importancia económica como es el caso de *L. yerbabuena*, el cual se considera como uno de los principales polinizadores de agaves y cactáceas de interés comercial (Arizaga *et al.* 2000; Trejo-Salazar *et al.* 2016).

Dentro de nuestro análisis, decidimos incluir no sólo los registros correspondientes a néctar o polen asociados a los murciélagos, sino también los frutos de los que se ha registrado se alimentan. De las doce especies de estudio, sólo dos tuvieron algún registro de frugivoría: *L. yerbabuena* e *H. underwoodi*. Esto muestra que estos hábitos han sido escasamente estudiados. La información disponible para *L. yerbabuena*, sugiere que la fruta es una importante parte de su dieta, lo que coloca a estos murciélagos no sólo como especies polinizadoras sino también como dispersoras de semillas (Rojas-Martínez *et al.* 2012), y por lo tanto participes en la regeneración de la vegetación natural.

Como hemos mencionado anteriormente, los murciélagos nectarívoros tienen un papel clave en nuestros ecosistemas, sin embargo, además del amplio desconocimiento de sus interacciones con las plantas que visitan, el panorama debido a grandes amenazas ambientales como el cambio climático y el cambio de uso de suelo, es poco alentador. Zamora-Gutiérrez *et al.* (2021), analizaron con diferentes escenarios a futuro, cómo los patrones de co-ocurrencia entre murciélagos polinizadores y las plantas que polinizan pueden quebrantarse debido a éstas

dos amenazas. Los autores encontraron que en general las interacciones planta-murciélago podrían disminuir en promedio entre un 47.1-34.1 % en México. Si deseamos la permanencia de los murciélagos, de las plantas que visitan y de los servicios ecosistémicos que nos aportan a largo plazo, profundizar en su estudio podría guiarnos hacia estrategias de conservación más efectivas.

Agradecimientos

Dedicamos este estudio a la memoria de Moisés García Castillo, Chiapaneco de corazón, biólogo y amante de la naturaleza.

Literatura citada

Arias-Cóyotl, E., K. E. Stoner y A. Casas. 2006. Effectiveness of bats as pollinators of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in wild, managed in situ, and cultivated populations in La Mixteca Baja, Central Mexico. *American Journal of Botany* 93(11):1675-1683.

Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez de Arellano y E. Vega. 2000. Pollination ecology of *Agave macrocartha* (Agavaceae) in a Mexican tropical desert. II. The role of pollinators. *American Journal of Botany* 87(7):1011-1017.

Arita, H. y K. Santos del Prado. 1999. Conservation biology of nectar-feeding bats in Mexico. *Journal of Mammalogy* 80(1):31-41.

Ayala-Berdon, J, N. Rodríguez-Peña, M. Orduña-Villaseñor., K.E Stoner., D.H. Kelm y J.E. Schondube. 2011. Foraging behaviour adjustments related to changes in nectar sugar concentration in phyllostomid bats. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 160:143–148.

Baker, H.G. 1961 The adaptation of flowering plants to nocturnal and crepuscular pollinators. *Quarterly Review of Biology* 36:64-73.

Faegri, K. y L. van del Pijil. 1979. *The principles of pollination ecology*. 2nd edn. Toronto, Canadá, Pergamon Press.

Fleming, T. H. 1982. The foraging strategies of plant-visiting bats. En: Kunz T. H. ed. Ecology of Bats. New York, EE.UU. Plenum Press, 287-325

Fleming, T. H., C. Geiselman y W. J. Kress. 2009. The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. *Annals of Botany* Volume 104(6):1017-1043, <https://doi.org/10.1093/aob/mcp197>.

Hsieh, T. C., K. H. Ma, A. Chao. 2020. iNEXT: Interpolation and Extrapolation for Species Diversity. R package version 2.0.20, http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/

Ibarra-Cerdeña, C., L. I. Iñiguez-Dávalos y V. Sánchez-Cordero. 2005. Pollination ecology of *Stenocereus queretanoensis* (Cactacea), a chiropterophilous columnar cactus, in a tropical dry forest of Mexico. *American Journal of Botany* 92(3):503-509.

Kolde, R. 2015. "pheatmap: Pretty heatmaps [Software]." URL <https://CRAN.R-project.org/package=pheatmap>.

Mello, R. M., F. M. D. Marquitti, Jr. P. R. Guimarães, E. K. V. Kalko, P. Jordano y M. A. Martínez de Aguiar. 2011. The missing part of seed dispersal networks: Structure and robustness of bat-fruit interactions. *PLoS ONE* 6(2):e17395. doi:10.1371/journal.pone.0017395.

Morrone, J. J., T. Escalante y G. Rodríguez-Tapia. 2017. Mexican biogeographic provinces: map and shapefiles. *Zootaxa* 4277, 277-279. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>.

Morrone, J. J. 2019. Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90:e902980.

Muchhala, N. y P. Jarrín-V. 2002. Flower visitation by bats in cloud forests of western Ecuador. *Biotropica* 34(3):387-395.

Muchhala, N., y M. Tschapka. 2020. 16. The Ecology and Evolution of Nectar Feeders. En *Phyllostomid Bats* pp. 273-294. EE.UU. University of Chicago Press.

Ortega-García, S., D. Ferreyra-García y J.E. Schondube. 2020. Gut reaction! Neotropical nectar-feeding bats responses to direct and indirect costs of extreme environmental temperatures. *Journal of Comparative Physiology B* 190:655–667. <https://doi.org/10.1007/s00360-020-01288-z>.

POWO. Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens. 2020. Disponible en: <http://www.plantsoftheworldonline.org>. Consultado el 20 de Enero de 2021.

Ramírez-Pulido, J., N. A. L. González-Ruiz, Gardner y J. Arroyo-Cabrales. 2014. List of recent land mammals of Mexico. *Special Publications of the Museum of Texas Tech University* 63:1-69.

Rojas-Martínez, A., H. Godínez-Alvarez, A. Valiente-Banuet, M. del Coro Arizmendi y O. Sandoval Acevedo. 2012. Frugivory diet of the lesser long-nosed bat (*Leptonycteris yerbabuena*), in the Tehuacán Valley of central Mexico. *THERYA* 3:371-380, DOI: 10.12933/therya-12-94.

Trejo-Salazar, Roberto-Emiliano, L. E. Eguiarte, D. Suro-Piñera y R. A. Medellín. 2016. Save Our Bats, Save Our Tequila: Industry and Science Join Forces to Help Bats and Agaves. *Natural Areas Journal* 36(4):523-530, <https://doi.org/10.3375/043.036.0417>.

Tremlett, C. J., K. S. H. Peh, V. Zamora-Gutiérrez y M. Schaafsma. 2020. Value and benefit distribution of pollination services provided by bats in the production of cactus fruits in central Mexico. *Ecosystem Services* <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101197>

Tschapka, M. 2004 Energy density patterns of nectar resources permit coexistence within a guild of Neotropical flower-visiting bats. *Journal of Zoology* 263:7-21.

Tschapka, M., E. B. Sperr, L. A. Caballero-Martínez y R. A. Medellín. 2008. Diet and cranial morphology of *Musonycteris harrisoni*, a highly specialized nectar-feeding bat in Western Mexico. *Journal of Mammalogy* 89(4):924-931, <http://dx.doi.org/10.1644/07-MAMM-A-038.1>

TROPICOS. Missouri Botanical Garden. Disponible en: <http://www.tropicos.org>. Consultado el 20 de Enero de 2021.

Wieczorek, C. y J. Wieczorek. 2021. Georeferencing Calculator. Disponible en: <http://georeferencing.org/georefcalculator/gc.html>. Consultado el 15 de marzo de 2021.

Zamora-Gutiérrez, V., A. N. Rivera-Villanueva, S. Martínez Balvanera, A. Castro-Castro y J. Aguirre-Gutiérrez. 2021. Vulnerability of bat-plant pollination interactions due to environmental change. *Global Change Biology* doi:10.1111/gcb.15611.

Apéndice 1. Documentos incluidos en este estudio

1. Valiente-Banuet, A., A. Rojas-Martínez, M. Del Coro Arizmendi y P. Dávila. 1997. Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalaensis* and *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Central Mexico. *American Journal of Botany* 84(4):452-455.
2. Valiente-Banuet, A., R. Santos Gally, M. C. Arizmendi y A. Casas. 2006. Pollination biology of the *Hylocereus undatus* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* 68:1-8. doi:10.1016/j.jaridenv.2006.04.001.
3. Rojas-Martínez, A., H. Godínez-Alvarez, A. Valiente-Banuet, M. del Coro Arizmendi y O. Sandoval Acevedo. 2012. Frugivory diet of the lesser long-nosed bat (*Leptonycteris yerbabuena*), in the Tehuacán Valley of central Mexico. *THERYA* 3:371-380, DOI: 10.12933/therya-12-94.
4. Ramírez, D. S. E. 2019. Dieta de *Leptonycteris nivalis* en una localidad den centro de México. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Tesis de Maestría.
5. Miranda-Jácome, A., R. Rodríguez-García y M. A. Munguía-Rosas. 2019. *Journal of Arid Environments* 174:103990. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.06.001>.
6. Estrada, A., R. Coates-Estrada y C. Vázquez-Yanes. 1984. Observations on fruiting and dispersers of *Cecropia obtusifolia* at Los Tuxtlas, Mexico. *Biotropica* 16(4):315-318.
7. Delgado-Fernández, M., J. G. Escobar-Flores y K. Franklin. 2017. El cardón gigante (*Pachycereus pringlei*) y sus interacciones con la fauna en la península de Baja California, México. *Acta Universitaria* 17(5):11-18 doi: 10.15174/au.2017.1274.
8. Tschapka, M., E. B. Sperr, L. A. Caballero-Martínez y R. A. Medellín. 2008. Diet and cranial morphology of *Musonycteris harrisoni*, a highly specialized nectar-feeding bat in Western Mexico. *Journal of Mammalogy* 89(4):924-931, <http://dx.doi.org/10.1644/07-MAMM-A-038.1>
9. Borbón-Palomares, D.B. F. Laborin-Sivirian, C. Tinoco-Ojanguren, M. C. Peñalba, I. Reyes-Ortega y F. Molina-Freaner. 2018 Reproductive ecology of *Agave colorata*: the importance of nectar-feeding bats and the germination consequences of self-pollination. *Plant Ecology* 219, 927–939 <https://doi.org/10.1007/s11258-018-0847-x>

10. Aguilar-Rodríguez, P.A. T. Krömer, J.G. García-Franco, y M.C. MacSwiney G. 2016. From dusk till dawn: nocturnal and diurnal pollination in the epiphyte *Tillandsia heterophylla* (Bromeliaceae). *Plant Biology* 18:37-45. <https://doi.org/10.1111/plb.12319>
11. Aguilar-Rodríguez, P. A., M. Tschapka, J. G. García-Franco, T. Krömer, MacSwiney G M. C. 2019. Bromeliads going batty: pollinator partitioning among sympatric chiropterophilous Bromeliaceae. *AoB PLANTS* 11:plz014; doi: 10.1093/aobpla/plz014.
12. Aguilar-Rodríguez, P. A., T. Krömer, M. Tschapka, J. G. García-Franco, J. Escobedo-Sarti y M. C. MacSwiney G. 2019. Bat pollination in Bromeliaceae. *Plant Ecology & Diversity* doi.org/10.1080/17550874.2019.1566409
13. Chávez, E. A. 2018. Repartición de recursos y patrones de alimentación en murciélagos nectarívoros del Bosque tropical seco de México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tesis de Maestría.
14. Castro-Luna, A. A. y V. J. Sosa. 2009. Consumption of *Conostegia xalapensis* fruits and seed dispersal of *Coussapoa oligocephala* by the nectarivorous bat *Hylonycteris underwoodi* Thomas, 1903 (Chiroptera: Phyllostomidae). *Studies of Neotropical Fauna and Environment* 44(3):137-139 DOI: 10.1080/01650520903184636.
15. Arreola, G. M. del R. 2018. Variación del ensamble de visitantes florales de (*Agave cupretata*) cultivado y silvestre en el municipio de Madera, Michoacán, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tesis de Mestría.
16. Álvarez-Castañeda, S. T., y T. Álvarez. 1991. Los murciélagos de Chiapas. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
17. Tschapka, M., E. B. Sperr, L. A. Caballero-Martínez y R. A. Medellín. 2008. Diet and cranial morphology of *Musonycteris harrisoni*, a highly specialized nectar-feeding bat in Western Mexico. *Journal of Mammalogy* 89(4):924-931, <http://dx.doi.org/10.1644/07-MAMM-A-038.1>
18. Trejo-Salazar, Roberto-Emiliano, L. E. Eguiarte, D. Suro-Piñera y R. A. Medellín. 2016. Save Our Bats, Save Our Tequila: Industry and Science Join Forces to Help Bats and Agaves. *Natural Areas Journal* 36(4):523-530, <https://doi.org/10.3375/043.036.0417>.

19. Ticul Álvarez y N. Sánchez-Casas. 1997. Notas sobre la alimentación de *Musonycteris* y *Choeroniscus* (Mammalia:Phyllostomidae) en México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 2:113-115.
20. Stoner, K. E., K. A. O.-Salazar, R. C. R.-Fernández y M. Quesada. 2003. Population dynamics, reproduction, and diet of the lesser long-nosed bat (*Leptonycteris curasoae*) in Jalisco, Mexico: implications for conservation. *Biodiversity and Conservation* 12:357-373.
21. Sperr, E. B., L. A. Caballero-Martínez, R. A. Medellín y M. Tschapka. 2011. Seasonal changes in species composition, resource use and reproductive patterns within a guild of nectar-feeding bats in a west Mexican dry forest. *Journal of Tropical Ecology* 27:133-145.
22. Santos Gally R. 2002. Composición de azúcares y contenido energético del néctar de nueve especies quiropterófilas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Licenciatura.
23. Sánchez-Casas, N. y Ticul Álvarez. 2000. Palinofagia de los murciélagos del género *Glossophaga* (Mammalia:Chiroptera) en México. *Acta Zoológica Mexicana* 81:23-62.
24. Sánchez, R. y R. A. Medellín. 2007. Food habits of the threatened bat *Leptonycteris nivalis* (Chiroptera: Phyllostomidae) in a mating roost in Mexico. *Journal of Natural History* 41:25-28, 1753-1764, DOI: 10.1080/00222930701483398.
25. Rodríguez-Peña, N. , K. E. Stoner, J. E. Schondube, J. Ayala-Berdón, C. M. Flores-Ortiz y C. Martínez del Río. 2007. Effects of Sugar Composition and Concentration on Food Selection by Saussure's Long-nosed Bat (*Leptonycteris curasoae*) and the Long-tongued Bat (*Glossophaga soricina*). *Journal of Mammalogy* 88(6):1466-1474 DOI: <http://dx.doi.org/10.1644/06-MAMM-A-353R1.1>
26. Peñalba, M. C., F. Molina-Freaner¹ y L. Larios Rodríguez. 2006. Resource availability, population dynamics and diet of the nectar-feeding bat *Leptonycteris curasoae* in Guaymas, Sonora, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15:3017–3034 DOI 10.1007/s10531-005-4876-0.
27. Munguía-Rosas, M. A., V. J. Sosa y M. E. Jácome-Flores. 2010. Pollination system of the *Pilosocereus leucocephalus* columnar cactus (tribe Cereeae) in eastern Mexico. *Plant biology* 12:578–586 doi:10.1111/j.1438-8677.2009.00254.x

28. Molina-Freaner, F. y Luis E. Eguiarte. 2003. The pollination biology of two paniculate Agaves (Agavaceae) from northwestern Mexico: Contrasting roles of bats as pollinators. *American Journal of Botany* 90(7): 1016–1024.
29. Magaña, G K. C., J. A. Vázquez-García, J. G. González Gallegos y O. Reyna Bustos. 2008. Visitantes florales en *Agave valenciana* Cházaro & A.Vázquez (Agavaceae) en Mascota, Jalisco, México. *Scientia-CUCBA* 10(1-2):1-6.
30. Ibarra-Cerdeña C. N., L. I. Iñiguez-Dávalos y V. Sánchez-Cordero. 2005. Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a chiropterophilous columnar cactus, in a Tropical dry forest of Mexico. *American Journal of Botany* 92(3): 503–509.
31. González Terrazas T. P. 2008. Factores ecológicos que influyen en la estructura de la comunidad de murciélagos nectarívoros en Callejones, Colima, México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Licenciatura.
32. Eguiarte, L., C Martínez del Río y H. Arita. 1987. El néctar y el polen como recursos: el papel ecológico de visitantes a las flores de *Pseudobombax ellipticum*. *Biotropica*. 19(1):74-82.
33. Dar, S., Arizmendi M. C. y A. Valiente-Banuet. 2006. Diurnal and nocturnal pollination of *Marginatocereus marginatus* (Pachycereae: Cactaceae) in Central Mexico. *Annals of Botany* 97:423–427 doi:10.1093/aob/mcj045.
34. Caballero-Martínez, L. A., I. V. Rivas Manzano y L. I. Aguilera Gómez. 2009. Hábitos alimentarios de *Anoura geoffroyi* (Chiroptera: Phyllostomidae) En Ixtapan del Oro, Estado de México. *Acta Zoológica Mexicana* 25(1):161-175.
35. Caballero-Martínez, L. A., L. I. Aguilera-Gómez, I. V. Rivas-Manzano, C. J. Aguilar-Ortigoza y V. Lamus-Molina. 2012. Biología floral y polinización de *Ipomoea murucoides* Roem. & Schult. (Convolvulaceae) en Ixtapan del Oro, Estado de México (México). *Anales de Biología* 34: 65-76 DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.0.34.11>
36. Arizaga, S., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramírez de Arellano y E. Vega. 2000. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a mexican tropical desert. The role of pollinators. *American Journal of Botany* 87(7):1011-1017.

37. Arias-Cóyotl, E., K. E. Stoner y A. Casas. 2006. Effectiveness of bats as pollinators of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in wild, managed in situ, and cultivated populations in la Mixteca baja, central Mexico. *American Journal of Botany* 93(11): 1675–1683.