



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Caracterización de los ensambles de murciélagos
nectarívoros en parques urbanos de la Ciudad de México**

TESIS

Que para obtener el título de:

BIÓLOGA

Presenta :

SAMARA SHAMES PÉREZ HARP



DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Rodrigo A. Medellín Legorreta

Ciudad Universitaria, CDMX, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos de la alumna
Pérez
Harp
Samara Shames
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
2. Datos del Tutor
Dr.
Medellín
Legorreta
Rodrigo Antonio
3. Datos del Sinodal 1
Dr.
Eguiarte
Fruns
Luis Enrique
4. Datos del Sinodal 2
Dra.
Hortelano
Moncada
Yolanda
5. Datos del Sinodal 3
Dr.
Ortega
Reyes
Jorge
6. Datos del Sinodal 4
Dr.
Ávila
Flores
Rafael
7. Datos del trabajo escrito
Caracterización de los ensambles de murciélagos nectarívoros en parques urbanos de la Ciudad de México.
63 pp.
2023

A mi madre.

*No hay manera de agradecer el trabajo que has hecho por nosotras,
pero te puedo dedicar mis mayores esfuerzos.*

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias por la formación, tanto académica como personal.

Al Dr. Rodrigo Medellín, por abrirme las puertas de su laboratorio y del mundo de los murciélagos. No hubo vuelta atrás desde el momento que sostuve a esa primera mamá “lepto” en El Pinacate.

A los directivos de los sitios de muestreo: el Jardín Botánico de la UNAM, el Bosque de Chapultepec, el Jardín Botánico de Chapultepec, el Zoológico de San Juan de Aragón y el Zoológico Los Coyotes. Gracias por abrirnos las puertas para hacer un estudio tan bonito e interesante que nos ayuda a conocer y proteger mejor la fauna de las áreas verdes de la CDMX. Un especial agradecimiento al M. en C. Fernando Gual Sill, por todo el apoyo a lo largo de la construcción y desarrollo del estudio; al Dr. Salvador Arias por abrirnos las puertas al maravilloso JB-IB, un sitio clave del estudio; a la Biol. Adriana Fernández, por recibirnos tan cálidamente durante un año.

A la Dra. Mariana Rojas y al Dr. Salvador Arias, por su apoyo en la identificación de cactáceas.

A Fer, por el acompañamiento desde el día uno. Este proyecto no se hubiera podido construir sin ti. Gracias por tres años de esta gran mancuerna: aprendí y sigo aprendiendo muchísimo de ti.

A Daniela y a René, por las cien noches de campo compartidas.

A toda la gente que nos acompañó en campo. Gracias por su apoyo para poder lograr este proyecto. Sobre todo, infinitas gracias a Moni Farrera, Ángel, Javi y Daniel Ramos. Moni, tu compañía y apoyo aligeraba las noches de trabajo.

A Juan Pellón y Ganesh, por los consejos y asesorías para los análisis, las presentaciones de congresos y el manuscrito. Muchas gracias, Juan, por las clases de diversidad y el apoyo con R.

A IdeaWild, por otorgarme una beca de equipo que permitió culminar este trabajo exitosamente.

A mis sinodales, Dr. Luis Eguiarte, Dra. Yolanda Hortelano, Dr. Jorge Ortega y Dr. Rafael Ávila, por tomarse el tiempo de revisar y enriquecer este trabajo con sus comentarios.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mis papás, por todo el apoyo y formación a lo largo de mi vida. Sin ustedes no estaría donde estoy. Gracias por darme la plataforma para volar.

A mi hermana, por ser mi compañera de vida durante los años de universidad. Tu ejemplo me empuja siempre.

A las mujeres de mi familia, por enseñarme fortaleza, liderazgo, determinación y responsabilidad.

A mis amigas de la facultad y del laboratorio: construirme y deconstruirme en su compañía es un regalo.

A mi grupo de la facultad, por su amistad y compañía durante toda la carrera. Fue un placer compartir este camino con ustedes, tanto los altos como los bajos. No hubiera sido lo mismo sin ustedes.

A Moni, por sostenerme emocionalmente en el momento final, cuando todo me rebasaba.

A la vida, porque estos años de tesis, en la rudeza de todo lo que trajeron, me enseñaron innumerables lecciones de vida.

ÍNDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
MURCIÉLAGOS EN LAS CIUDADES	10
MURCIÉLAGOS NECTARÍVOROS	11
CIUDAD DE MÉXICO	13
OBJETIVOS	15
HIPÓTESIS	15
MÉTODOS	17
ÁREA DE ESTUDIO	17
<i>Ciudad de México (CDMX)</i>	17
<i>Sitios de muestreo: parques urbanos</i>	18
TRABAJO DE CAMPO	24
<i>Marcaje de individuos</i>	25
<i>Disponibilidad de alimento</i>	25
ANÁLISIS DE DATOS	26
<i>Composición de los ensambles: Curvas de rango-abundancia</i>	26
<i>Diversidad de los ensambles: Números de Hill</i>	26
<i>Disponibilidad de alimento</i>	27
<i>Porcentaje de urbanización y vegetación aledaña</i>	30
<i>Modelos Lineales Generalizados (GLMs)</i>	31
RESULTADOS	32
ESTRUCTURA DE LOS ENSAMBLES	33

<i>Composición de los ensambles</i>	33
<i>Diversidad de los ensambles</i>	34
PRESENCIA ESTACIONAL DE LOS MURCIÉLAGOS NECTARÍVOROS	36
<i>Especies migratorias</i>	36
<i>Dinámica mensual de las abundancias de murciélagos por sitio</i>	36
<i>Recapturas de individuos</i>	37
DESPLAZAMIENTOS ENTRE SITIOS	39
DISPONIBILIDAD DE ALIMENTO	39
PORCENTAJE DE URBANIZACIÓN Y VEGETACIÓN ALEDAÑA.....	41
MODELOS LINEALES GENERALIZADOS (GLMs).....	42
DISCUSIÓN	43
SITIOS DE ESTUDIO	45
CHOERONYCTERIS MEXICANA	46
LEPTONYCTERIS SPP.....	47
ANOURA GEOFFROYI	49
GLOSSOPHAGA MUTICA	49
DESPLAZAMIENTOS ENTRE SITIOS	50
LA IMPORTANCIA DEL ALIMENTO.....	50
CONSIDERACIONES FINALES	51
PERSPECTIVAS PARA ESTUDIOS FUTUROS	52
CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS	54

RESUMEN

En la Ciudad de México (CDMX), una de las ciudades más grandes del mundo, la información sobre murciélagos nectarívoros se limita a listados de especies y reportes esporádicos. En este trabajo se caracterizaron los ensambles de murciélagos nectarívoros a lo largo de un año, en cuatro parques urbanos de la CDMX, con el propósito de evaluar su situación actual en la ciudad, describir su dinámica estacional y discutir el papel de las áreas verdes urbanas con plantas quiropterófilas en su conservación. Cada parque fue visitado mensualmente de febrero 2021 a febrero 2022, colocando redes de niebla frente a plantas quiropterófilas en floración. Los murciélagos capturados fueron marcados con un PIT tag de 8 mm.

Se registraron 367 capturas de 217 individuos diferentes. Se capturaron a cuatro de las cinco especies de murciélagos nectarívoros históricamente registradas en la CDMX, incluyendo a aquellas consideradas migratorias y en categorías de riesgo de conservación. *Choeronycteris mexicana* fue la especie más abundante y ampliamente distribuida, mostrando una aparente residencia en la CDMX la mayor parte del año, con posibles movimientos en invierno, así como una alta tolerancia a la urbanización. Los resultados contrastaron con la limitada literatura sobre la especie, donde es considerada amenazada, migratoria y con abundancias bajas. *Leptonycteris yerbabuena* y *Leptonycteris nivalis* mostraron un comportamiento migratorio, con una estancia temporal y transitoria en la ciudad. *Anoura geoffroyi* fue la especie menos abundante, registrada sólo en parques del sur de la CDMX. *Glossophaga mutica* no fue capturada en el estudio.

La disponibilidad de flores de agaves parece ser el factor más importante influenciando la abundancia de los murciélagos nectarívoros en la CDMX, independientemente del porcentaje de urbanización o de vegetación aledaña, o del tamaño del área verde (factores que no mostraron un efecto significativo). Esta tesis muestra la relevancia del uso ornamental de agaves en áreas verdes urbanas para la conservación de murciélagos nectarívoros en la CDMX (y potencialmente en otras ciudades).

ABSTRACT

In Mexico City (CDMX), one of the largest cities in the world, information on nectar-feeding bats is limited to species lists and sporadic reports. In this study we characterized the ensembles of nectar-feeding bats over a year in four urban parks of CDMX. The goal was to assess the current situation of this bat group in the city, describe their seasonal dynamics, and discuss the role of urban green areas with chiropterophilous plants in their conservation. Each park was visited monthly from February 2021 to February 2022, placing mist nets in front of flowering chiropterophilous plants. All captured bats were marked with an 8 mm PIT tag.

We recorded 367 captures of 217 different individuals. We captured four out of the five historically recorded species of nectar-feeding bats in CDMX, including those considered migratory and in conservation risk categories. *Choeronycteris mexicana* was the most abundant and widely distributed species, showing an apparent residency in CDMX for most of the year, with possible winter movements, and exhibiting a high tolerance to urbanization. These findings differ from the limited literature on the species, where it is considered threatened, migratory and with low abundances. *Leptonycteris yerbabuena* and *Leptonycteris nivalis* exhibited migratory behavior, with a temporary and transitory presence in the city. *Anoura geoffroyi* was the least abundant species, recorded only in parks in southern CDMX. *Glossophaga mutica* was not captured during the study.

The availability of agave flowers seems to be the most important factor influencing the abundance of this bat group in CDMX, regardless of the percentage of surrounding urbanization or vegetation, or the size of the green area (factors that did not exhibit a significant effect). This thesis shows the relevance of the ornamental use of agaves in urban green areas, for nectar-feeding bats conservation in CDMX (and potentially other cities).

INTRODUCCIÓN

Vivimos en un planeta cada vez más urbanizado. Actualmente más de la mitad de la población humana reside en áreas urbanas (United Nations, 2019) y el tamaño de las ciudades aumenta más rápido que el tamaño de la población que las habita (Shlomo et al., 2016). Esta acelerada urbanización ha modificado profundamente los ecosistemas y su biodiversidad (Ellis, 2015; Müller et al., 2013). Entre sus principales impactos bióticos se encuentran la pérdida y fragmentación del hábitat -que reduce la conectividad poblacional y genética-, la modificación de las comunidades por la pérdida de especies nativas -principalmente las especialistas-, y la introducción de especies exóticas (Grimm et al., 2008; McDonald et al., 2013). Entre los principales impactos abióticos destacan la contaminación atmosférica, la del suelo y la del agua, y las alteraciones climáticas, como el efecto de la isla de calor urbano (Grimm et al., 2008; McDonald et al., 2013). Lo anterior es especialmente preocupante considerando la elevada urbanización en regiones biodiversas (McDonald et al., 2013). Por ejemplo, en Latinoamérica se estima que más del 80 % de la población ya es urbana (United Nations, 2019).

El proceso de urbanización supone una importante amenaza para la fauna silvestre local, ya que puede provocar el desplazamiento de especies y poner en riesgo a sus poblaciones. No obstante, se ha demostrado que un considerable número de especies, sobre todo generalistas, logra adaptarse e incluso prosperar en estos ambientes modificados, aprovechando los hábitats remanentes y emergentes para su alimentación y refugio (Bateman & Fleming, 2012; Lepczyk et al., 2017; McDonald et al., 2013; McKinney, 2006; Müller et al., 2013). Estos hábitats urbanos incluyen parches de vegetación nativa, áreas verdes urbanas -como parques y jardines-, e incluso la infraestructura humana -como edificios y puentes-.

Murciélagos en las ciudades

Los murciélagos son uno de los mamíferos más abundantes en las ciudades (Jung & Threlfall, 2016), pero también son afectados por la urbanización. En general, se ha observado una reducción de su riqueza y actividad a medida que la urbanización aumenta (Jung & Threlfall, 2016; Russo & Ancillotto, 2015). Se han reportado efectos negativos en las comunidades de murciélagos,

asociados a la pérdida de vegetación y su fragmentación, a las carreteras, al ruido, a la iluminación y a la contaminación (Berthinussen & Altringham, 2012; Bunkley et al., 2015; Jung & Threlfall, 2016; Lewanzik & Voigt, 2014; Ramos-H et al., 2020; Russo & Ancillotto, 2015; Stone et al., 2009; Voigt et al., 2020).

El patrón general que se ha observado para murciélagos en áreas urbanas es similar al de otros grupos taxonómicos: la riqueza de especies disminuye, con la pérdida de taxones sensibles y la dominancia de unos pocos generalistas (Jung & Threlfall, 2016; Russo & Ancillotto, 2015). Por ejemplo, se ha visto que algunos molósididos, como *Tadarida brasiliensis*, presentan una mayor adaptación a las ciudades (e.g., Avila-Flores & Fenton, 2005; Li & Wilkins, 2015; Rodríguez-Aguilar et al., 2017). Estas diferencias adaptativas entre taxones se han asociado a particularidades ecológicas y morfológicas de cada especie, como la flexibilidad del uso de refugios y una morfología alar asociada a un vuelo rápido y alto (Jung & Threlfall, 2018). Esta última característica podría facilitar el desplazamiento en la matriz urbana, a pesar de la presencia de elementos como carreteras y edificios.

Es importante resaltar que la mayoría de los estudios de murciélagos urbanos se han enfocado en especies insectívoras de las zonas templadas de Europa y Norteamérica (Jung & Threlfall, 2016), mientras que se cuenta con información limitada sobre la presencia y adaptación de las especies nectarívoras de Latinoamérica (Albuquerque-Lima et al., 2022; Diniz et al., 2019; Pellón et al., 2021). Debido a su dieta basada principalmente en néctar y polen de angiospermas, este grupo podría enfrentarse a importantes riesgos de conservación con los cambios de uso de suelo derivados de la urbanización. En las ciudades, la diversidad y distribución de las plantas es modificada por el ser humano, creando un mosaico de especies nativas e introducidas. Esta composición heterogénea moldea la disponibilidad de recursos para polinizadores como los murciélagos a lo largo del año, impactando a su vez en el ensamblaje de sus comunidades locales (Hennig & Ghazoul, 2012; McDonald et al., 2013).

Murciélagos nectarívoros

Los murciélagos nectarívoros, como su nombre lo indica, se alimentan principalmente de néctar y polen, representando uno de los numerosos gremios alimenticios del orden Chiroptera (el segundo

orden de mamíferos con más especies). Son polinizadores altamente eficientes, transportando grandes cantidades de polen por largas distancias (Fleming et al., 2009; Goldshtein et al., 2020). Por esto, cumplen un papel fundamental en la reproducción y el mantenimiento de la diversidad genética de al menos 528 especies de angiospermas, muchas de ellas de importancia económica (Fleming et al., 2009).

Los murciélagos morfológica y fisiológicamente adaptados a esta dieta pertenecen a dos de las 21 familias actualmente reconocidas de murciélagos (Simmons & Cirranello, 2022): Pteropodidae (África, Asia y Oceanía) y Phyllostomidae (América) (Fleming et al., 2009). En América, los murciélagos nectarívoros del continente están agrupados en dos subfamilias especializadas en esta dieta: Glossophaginae y Lonchopyllinae. En México se distribuyen 12 especies de este gremio de murciélagos, todas pertenecientes a la primera subfamilia (Ramírez-Pulido et al., 2014).

Las flores de las plantas quiropterófilas (i.e., polinizadas por murciélagos) se caracterizan por estar activas en la noche -muchas de ellas abren una sola noche-, una localización expuesta y lejos del follaje, y un néctar diluido, pero abundante (Fleming et al., 2009; Tschapka & Dressler, 2002). En México podemos encontrar un gran número de plantas polinizadas por murciélagos, entre las cuales se pueden enlistar los agaves o magueyes (*Agave* spp.), las cactáceas columnares, los cazahuates (*Ipomoea* spp.), los coquitos o clavelinas (*Pseudobombax* spp.), los pochotes (*Ceiba* spp.), entre otras (Ortega-García & Saldaña-Vázquez, 2022).

Algunas de las plantas quiropterófilas mexicanas son de gran relevancia económica, cultural y ecológica, como los agaves y las cactáceas columnares (Trejo-Salazar et al., 2016; Valiente-Banuet et al., 1996). Asimismo, agaves y cactus son utilizados de forma ornamental, tanto por su belleza, como por su bajo requerimiento hídrico, y se pueden encontrar en áreas verdes urbanas como parques, jardines (públicos y particulares) y camellones. Este uso se puede observar a través de la Ciudad de México, donde la floración de estas plantas podría ofrecer potenciales recursos alimenticios a los polinizadores locales, como los murciélagos nectarívoros.

Ciudad de México

En la Ciudad de México (CDMX), una de las ciudades más grandes del mundo (United Nations, 2019), se han registrado históricamente cinco de las doce especies de murciélagos nectarívoros reportadas en el país: *Anoura geoffroyi* Gray, 1838 (Calderón-Acevedo et al., 2022), *Choeronycteris mexicana* Tschudi, 1844, *Glossophaga mutica* Merriam, 1898 (antes *G. soricina handleyi* Webster & Jones, 1980; Calahorra-Oliart et al., 2021), *Leptonycteris nivalis* Saussure, 1860, y *Leptonycteris yerbabuena* Martínez & Villa, 1940 (Hortelano-Moncada et al., 2016; Hortelano-Moncada & Cervantes, 2011; Sánchez et al., 1989) (Tabla 1). Tres de estas cinco se encuentran enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010, 2019) y, además, son consideradas especies migratorias: *C. mexicana*, *L. nivalis* y *L. yerbabuena* (Arroyo-Cabrales et al., 1987; Cole & Wilson, 2006; Fleming, 2019; Hensley & Wilkins, 1988).

Tabla 1. Especies de murciélagos nectarívoros registradas en la Ciudad de México, su estado de conservación y comportamiento migratorio.

Especie	NOM-059-SEMARNAT-2010	Lista Roja de la UICN	Migratoria
<i>Anoura geoffroyi</i>	-	Preocupación menor (LC)	No
<i>Choeronycteris mexicana</i>	Amenazada (A)	Casi amenazada (NT)	Sí
<i>Glossophaga mutica</i>	-	Preocupación menor (LC)	No
<i>Leptonycteris nivalis</i>	Amenazada (A)	Amenazada (EN)	Sí
<i>Leptonycteris yerbabuena</i>	Protección especial (Pr)	Casi amenazada (NT)	Sí

No obstante, la información que se tiene sobre estos murciélagos en la CDMX se encuentra limitada a listados de especies (Hortelano-Moncada et al., 2009, 2016; Hortelano-Moncada & Cervantes, 2011; Navarro-Frías et al., 2007; Sánchez et al., 1989) y a reportes esporádicos (García Bermúdez, 2018). Además, los primeros están principalmente basados en ejemplares de colecciones biológicas y reportes de la literatura, en donde se incluyen registros antiguos. Esto podría provocar la inclusión de especies cuyas poblaciones podrían haber sido afectadas de manera importante por el acelerado crecimiento urbano de las últimas décadas, hasta el punto de ser desplazadas de la ciudad. Esta posibilidad es particularmente preocupante para aquellas especies en categorías de riesgo de conservación y especialistas en su dieta, como es el caso de *L. nivalis*, *L. yerbabuena* y *C. mexicana* (Arita & Santos-Del-Prado, 1999).

La limitada información sobre los murciélagos nectarívoros en una gran urbe como la CDMX abre la oportunidad de evaluar si las cinco especies históricamente registradas siguen presentes en la entidad. Además, se desconoce en qué momento del año se pueden encontrar a las especies migratorias. Esta es una importante limitante para diseñar estrategias efectivas para su conservación en la región. Es por esto que en el presente estudio se realizó una evaluación mensual, a lo largo de un año, de los murciélagos nectarívoros en parques urbanos con plantas quiropterófilas, dentro de la matriz urbana de la CDMX. Esto, con el objetivo de evaluar su situación actual en la región, describir su presencia estacional y discutir el rol de las áreas verdes con plantas quiropterófilas en la conservación de los murciélagos nectarívoros en la CDMX.

OBJETIVOS

General:

Caracterizar los ensambles de murciélagos nectarívoros a lo largo de un año, en cuatro parques urbanos de distintas zonas de la Ciudad de México.

Particulares:

1. Caracterizar y comparar la estructura de los ensambles en cada parque.
2. Describir la presencia estacional de los murciélagos nectarívoros en la Ciudad de México.
3. Detectar posibles desplazamientos de los individuos entre los cuatro parques.
4. Evaluar la influencia del porcentaje de urbanización y vegetación aledaña, así como el tamaño del parque y la disponibilidad de alimento, sobre la abundancia de murciélagos nectarívoros.

HIPÓTESIS

1. H_1 : La urbanización tiene un efecto negativo en la abundancia de murciélagos nectarívoros.

H_0 : La urbanización no tiene un efecto en la abundancia de murciélagos nectarívoros.

Predicción: La abundancia de murciélagos nectarívoros será menor en los sitios con mayor porcentaje de urbanización alrededor.

2. H_1 : La disponibilidad de alimento, el tamaño del área verde y la vegetación aledaña tienen un efecto positivo en la abundancia de murciélagos nectarívoros.

H_0 : La disponibilidad de alimento, el tamaño del área verde y la vegetación aledaña no tienen un efecto en la abundancia de murciélagos nectarívoros.

Predicción: La abundancia de murciélagos nectarívoros será mayor en los sitios con mayor disponibilidad de alimento, con el área verde más grande y con mayor porcentaje de vegetación alrededor.

MÉTODOS

Área de estudio

Ciudad de México (CDMX)

La Ciudad de México (19° 26' 32" N, 99° 08' 47" O) se ubica en el centro del país, a 2 240 msnm, en el Eje Volcánico Transversal. Además, se encuentra en lo que se considera como la zona de transición entre la región Neártica y Neotropical, de acuerdo con la distribución de murciélagos (Ortega & Arita, 1998). Es la entidad más pequeña del país (1 494 km²) (INEGI, 2021); colinda con el estado de Morelos al sur y con el Estado de México al norte, este y oeste (CDHDF, 2018). Su población es de 9 209 944 habitantes (la segunda más grande después del Estado de México) y su densidad poblacional, de 6 163 habitantes/km², es la más alta del país (INEGI, 2021). La ciudad, además, es parte de un complejo metropolitano interconectado, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), cuya población supera los 20 millones de habitantes (INEGI, 2015). La superficie de la ZMVM, de 7 815 km², abarca las 16 demarcaciones territoriales de la CDMX, 59 municipios del Estado de México y un municipio de Hidalgo (SEDESOL et al., 2004).

La fisiografía de la CDMX está representada por sierra (48 %), llanura (45 %), lomerío (6.42 %) y meseta (0.55 %). Tiene 17 elevaciones principales que van desde los 2280 msnm (Cerro de Chapultepec) hasta los 3930 msnm (Volcán Ajusco). Su geología se divide en roca ígnea extrusiva (68.21 %), suelo lacustre (25.25 %) y suelo aluvial (6.54 %) (INEGI, 2017). Sus climas son templado subhúmedo (60 %), semifrío subhúmedo (27 %), seco y semisecho (7 %) y templado húmedo (6 %) (INEGI, 2016). Las lluvias se presentan en verano, pero la precipitación total anual es variable: 600 mm en la región seca y 1 200 mm en la región templada húmeda (Ajusco). La temperatura media anual es de 16 °C, con temperaturas mayores a los 25 °C de marzo a mayo y menores a los 5 °C en enero y diciembre (GDF, 2012; INEGI, 2016). Por la compleja orografía y los diferentes usos de suelo (principalmente relacionados a la urbanización), la temperatura y la precipitación varían entre zonas de la misma ciudad. En el poniente, las lluvias son intensas y las temperaturas relativamente bajas; caso contrario a la zona oriente (Aguilar, 2016). Además, el fenómeno conocido como “isla de calor urbano” genera un aumento de temperatura de hasta 4 °C con respecto a las áreas verdes (CONABIO, 2021).

La CDMX se divide en dos grandes zonas administrativas: el Suelo de Conservación (59 %, principalmente al sur y suroeste) y el Suelo Urbano (41 %) (GDF, 2012). Sin embargo, solo 31.7 % de la superficie de la entidad está cubierta por vegetación natural, la cual está conformada por bosque (27.4 %), pastizal (3.6 %) y matorral xerófilo (0.7 %). El 68.3 % restante corresponde a terrenos para la agricultura, zonas urbanas, áreas sin vegetación aparente, cuerpos de agua y vegetación secundaria (INEGI, 2016).



Figura 1. Mapa del Suelo de Conservación y el Suelo Urbano de la CDMX. Tomado de SEDEMA (2015).

Sitios de muestreo: parques urbanos

Se seleccionaron cuatro parques urbanos pertenecientes a distintas zonas de la matriz urbana de la CDMX, todos dentro del denominado Suelo Urbano (SU). Los sitios fueron elegidos por la presencia de plantas quiropterófilas y que tres de ellos se encuentran embebidos o adyacentes a

grandes áreas verdes con importancia ambiental en la ciudad. Otro criterio considerado fue la accesibilidad y seguridad del sitio para realizar muestreos nocturnos.

Los sitios de muestreo fueron: 1) Jardín Botánico de Chapultepec (CH), dentro del Bosque de Chapultepec, 2) Zoológico de San Juan de Aragón (ARA), adyacente al Bosque de San Juan de Aragón, 3) Jardín Botánico e Instituto de Ecología de la UNAM (UNAM), dentro de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) y 4) Zoológico Los Coyotes (COY).

Tabla 2. Ficha resumen de los cuatro sitios de estudio: Jardín Botánico de Chapultepec (CH), Zoológico de San Juan de Aragón (ARA), Jardín Botánico e Instituto de Ecología de la UNAM (UNAM) y Zoológico Los Coyotes (COY).

Sitio	Superficie (ha)	Área Verde mayor	Altitud (msnm)	Ubicación en la matriz urbana	Coordenadas	Demarcación territorial y densidad poblacional
CH	4	Bosque de Chapultepec (686 ha)	2 250	Noroeste (NO)	19° 25' 23.2" N 99° 10' 55.7" W	Miguel Hidalgo (8 928 hab/km ²)
ARA	36.1	Bosque de San Juan de Aragón (162 ha)	2 233	Noreste (NE)	19° 27' 46.0" N 99° 04' 58.6" W	Gustavo A. Madero (13 348 hab/km ²)
UNAM	3.7	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) (237 ha)	2 325	Suroeste (SO)	19° 19' 07.1" N 99° 11' 39.3" W	Coyoacán (11 395 hab/km ²)
COY	11.2	-	2 250	Sureste (SE)	19°19'08.4"N 99°07'19.6"W	Coyoacán (11 395 hab/km ²)



Figura 2. A) Ubicación de los cuatro sitios de estudio, dentro del polígono de la Ciudad de México. B) Acercamiento a los sitios de estudio y las distancias entre ellos. **CH:** Jardín Botánico de Chapultepec; **UNAM:** Jardín Botánico e Instituto de Ecología de la UNAM; **ARA:** Zoológico de San Juan de Aragón; **COY:** Zoológico Los Coyotes.

1. *CH: Jardín Botánico de Chapultepec*

El Jardín Botánico de Chapultepec es un espacio de 4 ha, dentro de la 1ª sección del Bosque de Chapultepec, cuya colección incluye plantas domesticadas (de ornato, medicinales y alimentarias), de humedal, de pastizales, agaves, suculentas, cactáceas, orquídeas y arboreto (SEDEMA, 2018b). En esta colección se pueden encontrar plantas quiropterófilas como cazahuates (e.g., *Ipomoea murucoides*), agaves (*Agave* spp.), plátanos (*Musa* sp.) y distintas especies de cactáceas columnares (e.g., *Pilosocereus leucocephalus*).

Área verde mayor: Bosque de Chapultepec

El Bosque de Chapultepec comprende 686 ha, divididas en tres secciones. Además, en el año 2021 se agregó una cuarta sección con 73 ha. La primera sección cuenta con 274 ha, de las cuales 182 son áreas verdes. Este bosque, mayormente artificial, está decretado como Área de Valor Ambiental (AVA), en la categoría de Bosque Urbano (SMA, 2012a), y está reportado como el parque urbano más grande de América Latina (SEDEMA, 2018a).

La vegetación del bosque integra una alta proporción de especies exóticas. En la 1ª sección se han reportado 105 especies arbóreas, con dominancia de trueno chino (*Ligustrum lucidum*), cedro blanco (*Hesperocyparis lusitanica*), pinos (*Pinus* spp.), liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*) y pimentero brasileño (*Schinus terebinthifolia*). En la 2ª sección las más dominantes son el fresno mexicano (*Fraxinus uhdei*), el eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*) y el trueno chino (*L. lucidum*). En la 3ª sección, éstas son el eucalipto rojo (*E. camaldulensis*), el fresno mexicano (*F. uhdei*) y el cedro blanco (*H. lusitanica*) (GODF, 2006). Sin embargo, a pesar de que la vegetación del bosque está principalmente constituida por especies arbóreas, se pueden encontrar algunos agaves utilizados ornamentalmente en la 1ª y 2ª sección. En este bosque urbano también se pueden encontrar algunos cazahuates (*Ipomoea murucoides* e *I. pauciflora*).

2. **ARA:** Zoológico de San Juan de Aragón

El Zoológico de San Juan de Aragón ocupa una superficie de 36 ha. Se localiza en el noreste de la ciudad, a un lado del Bosque de San Juan de Aragón (SMA, 2012b). En su interior, como parte de la ambientación de sus distintas secciones, se pueden encontrar numerosas jardineras con plantas quiropterófilas. Aquí se han sembrado abundantes agaves, muchos de ellos de gran tamaño y cactáceas columnares (e.g., *Stenocereus stellatus*). Adicionalmente, en el zoológico se encuentra sembrado un árbol de la especie *Pseudobombax ellipticum*.

Área verde mayor: Bosque de San Juan de Aragón

El Bosque de San Juan de Aragón es un bosque artificial ubicado en donde se encontraba el antiguo Lago de Texcoco. El sitio está decretado como Área de Valor Ambiental (AVA) en la categoría de Bosque Urbano. Cuenta con 162 ha, de las cuales 114 son áreas verdes y el resto corresponden al lago e infraestructura (SMA, 2012a); con una elevación promedio de 2 240 msnm. Además, es el 2º parque urbano más grande de la ciudad. El bosque se encuentra adyacente al límite entre la Ciudad de México y el Estado de México. Está rodeado de una densa urbanización, con vialidades aledañas de gran flujo vehicular y está a menos de dos km del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM); lo que lo expone a considerables niveles de contaminantes, ruido, luz artificial, etc.

A pesar de contar con 88 especies de árboles, la vegetación del parque está dominada por pocos taxones. El 73.67 % de los ejemplares vegetales vivos está constituido por casuarinas (*Casuarina equisetifolia*), eucalipto rojo (*E. camaldulensis*), cedro blanco (*Hesperocyparis lusitanica*), fresno mexicano (*F. uhdei*), ciprés mediterráneo (*Cupressus sempervirens*) y roble australiano (*Grevillea robusta*) (Velasco Bautista et al., 2013).

3. UNAM: Jardín Botánico e Instituto de Ecología de la UNAM

Para este trabajo, se muestreó en el Jardín Botánico IB-UNAM y el adyacente Instituto de Ecología, ambos en Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Estas dos instituciones colindan entre sí y se complementan en especies quiropterófilas, por lo que se decidió incluirlas en el mismo polígono de estudio.

El Jardín Botánico tiene una superficie de 12.7 ha, 2.75 de las cuales están exhibidas al público y corresponden al área donde se realizó el muestreo de este estudio. El resto está ocupado por invernaderos de trabajo y otras instalaciones, así como por la vegetación natural propia de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). El jardín constituye, además, una de las zonas de amortiguamiento de la REPSA (Caballero, 2012).

Las colecciones del jardín albergan alrededor de siete mil plantas de más de 1 500 especies, en su mayoría nativas de México (IBUNAM, 2021). Aquí, los agaves y las cactáceas han tenido un gran énfasis, pues sus colecciones tienen una importante representación de las especies mexicanas registradas para ambos grupos. En el caso de las cactáceas, este jardín botánico alberga la colección más grande en el país. Sus colecciones también incluyen plantas ornamentales, medicinales, tropicales, acuáticas y el arboretum, así como las colecciones taxonómicas de dalias, yucas y dasilirios, orquídeas, nopales silvestres y crasuláceas (Caballero, 2012).

Por otro lado, el polígono del Instituto de Ecología ocupa un área de 0.95 ha, donde se encuentran sembrados varios ejemplares de cazahuates (*Ipomoea murucoides* e *I. pauciflora*), así como distintas especies de agaves.

Área verde mayor: Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA)

La REPSA es una reserva ecológica urbana que se encuentra bajo la protección de la UNAM y cuenta con una superficie fragmentada de 237 ha. Representa uno de los remanentes más grandes y mejor conservados del ecosistema del pedregal de la cuenca de México, donde la comunidad vegetal más característica y extendida es el matorral xerófilo de palo loco (*Pittocaulon praecox* = *Senecio praecox*) (Rzedowski, 1954). Además, es considerada como una de las áreas protegidas de mayor riqueza florística de toda la cuenca de México. Se reporta una riqueza de aproximadamente 340 especies de plantas vasculares, con una estimación de 1.44 especies/ha (Castillo-Argüero et al., 2007; Lot & Cano-Santana, 2009).

Este ecosistema es de origen volcánico, producido a partir del derrame de lava del Volcán Xitle. El suelo es escaso, poco profundo y rocoso. La altitud varía de 2 292 a 2 365 msnm. El sitio presenta una estacionalidad marcada por su tipo de suelo, con una época de lluvias de junio a octubre y una época de secas de noviembre a mayo. Su topografía heterogénea ha propiciado una gran variedad de microambientes y, por lo mismo, una alta riqueza florística, donde dominan las formas de vida herbácea y arbustiva (Castillo-Argüero et al., 2004, 2007).

La REPSA es el único de los sitios de estudio que representa un relicto de vegetación natural. Dentro del listado de especies nativas se encuentran algunas plantas quiropterófilas, como *Agave salmiana*, *Agave scabra* (= *Manfreda scabra* = *M. brachystachya*) y *Calliandra houstoniana* var. *anomala* (= *Calliandra grandiflora*) (Castillo-Argüero et al., 2007; Eguiarte & Burquez, 1987; Ortega-García & Saldaña-Vázquez, 2022). Adicionalmente, su topografía heterogénea incluye múltiples oquedades y cuevas, donde anteriormente se han reportado murciélagos nectarívoros (García Bermúdez, 2018).

4. COY: Zoológico Los Coyotes

Este zoológico del sureste de la mancha urbana cuenta con 11.2 ha de superficie. Ha sido caracterizado como un “zoológico multimodal”, pues también desarrolla un papel de parque recreativo, con actividades deportivas, de campismo y de convivencia familiar y social (SMA, 2012b). En este sitio se pueden encontrar múltiples individuos de plátanos (*Musa* sp.), cazahuates (*I. murucoides*) y agaves (*Agave* spp.), así como algunos ejemplares de cactus

columnares (e.g., *Lophocereus marginatus* = *Stenocereus marginatus* = *Pachycereus marginatus*).

Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó bajo los permisos de colecta científica SGPA/DGVS/05988/20 y SGPA/DGVS/08072/21, otorgados al Dr. Rodrigo A. Medellín Legorreta. Asimismo, se siguieron los lineamientos de la American Society of Mammalogists para el uso de mamíferos silvestres en la investigación (Sikes & Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists, 2016), así como los del Bat Specialist Group de la UICN para el manejo de quirópteros con fines de investigación (Botto Nuñez et al., 2020; Kingston et al., 2021).

Cada sitio fue visitado dos noches al mes durante un año, de febrero 2021 a febrero 2022. Los monitoreos se realizaron en los días con menor iluminación lunar (con una visibilidad máxima del 50%). En cada noche se colocaron 8-10 redes de niebla (de 2.6 m de altura) frente a plantas quiropterófilas en floración, cubriendo un total de 51 metros lineales de red. Las redes se mantuvieron abiertas durante cinco horas a partir de la puesta de sol y fueron revisadas aproximadamente cada 30 minutos.

El esfuerzo de muestreo se determinó de la siguiente forma: $E_m = m^2 \text{ red} \times \text{horas de exposición} \times \text{días de muestreo}$ (López et al., 2009; Straube & Bianconi, 2016). Esto resultó en un esfuerzo de muestreo de 17 238 $m^2 \text{ red} \times \text{hora}$, en cada uno de los sitios y un total de 68 952 $m^2 \text{ red} \times \text{hora}$ para todo el estudio.

De cada individuo capturado, se registró la hora de captura, especie (usando la clave de Medellín et al., 2008), sexo, peso, longitud del antebrazo, edad, estado reproductivo y planta frente a la que se capturó. La edad se determinó con base en la osificación de las falanges (Brunet-Rossinni & Wilkinson, 2009), distinguiendo entre adultos y subadultos. En el caso del estado reproductivo, se diferenció entre machos con testículos escrotados y no escrotados (posición abdominal), similar a lo descrito por Rivero-Monteagudo et al. (2021). Las hembras se categorizaron en inactivas, preñadas, lactando y post-lactando; esto se distinguió mediante la palpación del vientre e inspección de los pezones.

Marcaje de individuos

Se marcó a cada murciélago con un microchip PIT tag de 8 mm (miniHPT8, Biomark Inc.), colocado de manera subdérmica en el dorso, entre los omóplatos. Para realizar el procedimiento, el individuo se colocó en posición de decúbito prono sobre una superficie firme y previamente desinfectada. Adicionalmente, se cubrió la cabeza para reducir el estrés y se sostuvo cuidadosamente con la mano, para evitar el movimiento del torso. La zona de la herida se desinfectó con solución antiséptica de superoxidación y, al terminar la colocación del microchip, se aplicó una gota de pegamento de cianocrilato, para evitar la expulsión del dispositivo antes de que la herida sane.

Se leyó cada microchip con un lector de mano (GPR Plus Handheld PIT Tag Reader, Biomark Inc.), antes y después de su colocación, para confirmar su funcionamiento adecuado y registrar su número único. A lo largo del año, se examinó a cada murciélago con el lector, antes de su procesamiento, con el objetivo de diferenciar entre nuevas capturas (procediendo con el marcaje correspondiente), y recapturas (registrando el número del PIT tag). Al finalizar el registro de cada individuo, se ofreció solución azucarada a saciedad para compensar el tiempo de retención y se liberaron en el sitio de captura.

Disponibilidad de alimento

Antes de iniciar los muestreos, los sitios de estudio se recorrieron para identificar las áreas con plantas quiropterófilas que podían florecer a lo largo del año. De esta manera se identificó un recorrido que permitía evaluar de forma casi exhaustiva las flores disponibles a lo largo de todo el sitio de estudio.

La disponibilidad de alimento se estimó mediante el conteo visual de las flores de plantas quiropterófilas activas. Esto se realizó cada noche, a través del recorrido establecido al inicio del año, y 4 horas después de la puesta de sol para asegurar que todas las flores ya estuvieran abiertas. Las flores de las plantas frente a las redes de niebla se contaron al final del recorrido para no interferir con las capturas. Se utilizaron binoculares y/o una escalera cuando la altura de la planta así lo requirió (e.g., inflorescencias del género *Agave*). En el caso de los agaves con inflorescencias paniculadas de gran tamaño (e.g., *Agave salmiana*), se realizó un conteo de todas las flores de una

panícula, multiplicando el resultado por el número de panículas con flores activas. El conteo mediante binoculares se comparó inicialmente con un conteo por fotografía y el resultado fue muy similar. Asimismo, en el primer mes de muestreo, y cada 4 meses, se estandarizó la estimación comparando el conteo entre dos personas. Adicionalmente, se tomaron fotografías de las plantas mencionadas, para poder identificarlas posteriormente.

Análisis de datos

Composición de los ensambles: Curvas de rango-abundancia

Para evaluar la composición de los ensambles de murciélagos nectarívoros, se obtuvieron curvas de rango-abundancia para cada sitio, construidas a partir de la abundancia relativa de las especies registradas en cada comunidad, es decir, la abundancia de cada especie dividida entre el número total de individuos registrados en la comunidad.

En este estudio, todos los análisis que consideran abundancia de especies se realizaron con base en los individuos diferenciados a través del marcaje con PIT tags.

Diversidad de los ensambles: Números de Hill

La diversidad alfa de murciélagos nectarívoros se estimó a través de los números de Hill (también descrito como número efectivo de especies). Esta medición ha sido propuesta como “diversidad verdadera”, pues a diferencia de otros métodos, sus unidades (número efectivo o equivalente de especies) permiten comparar la diversidad de distintas comunidades, y conserva las propiedades intuitivamente esperadas del concepto de diversidad, como la propiedad de duplicación (Chao et al., 2014; Jost, 2006; Jost & González- Oreja, 2012; Moreno et al., 2011).

La estimación se realiza con la siguiente fórmula:

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

Donde D es la diversidad, S es la riqueza de especies, p_i es la abundancia relativa de la especie i y q es el orden de diversidad.

Se emplean tres órdenes de diversidad: $q=0, 1, 2$. El orden (q) indica la sensibilidad a la abundancia de las especies; es decir, la sensibilidad del cálculo a las especies comunes o raras (Jost, 2006; Moreno et al., 2011). El orden 0 ($q=0$) no considera las abundancias, por lo que equivale a la riqueza de especies, donde se sobrevaloran las especies raras. El orden 1 ($q=1$) incluye a las especies con un peso exactamente proporcional a su abundancia y equivale al exponencial del índice de Shannon. También puede ser interpretado como el número efectivo de especies comunes (Chao et al., 2014). El orden 2 ($q=2$) le da un peso desproporcionado a la abundancia, por lo que puede ser interpretado como el número efectivo de especies dominantes (Chao et al., 2014), y es equivalente al inverso del índice de Simpson. El análisis se llevó a cabo en el programa *R Studio*, versión 2022.02.3 (RStudio Team, 2022), con el software R, versión 4.1.2 (Team, 2021), utilizando el paquete *iNEXT* (Hsieh et al., 2022).

Disponibilidad de alimento

Se generó un listado de las plantas quiropterófilas que estaban floreciendo en los parques, junto con sus fotografías tomadas en campo. La identificación taxonómica se realizó a partir de la combinación de las siguientes fuentes: cédulas taxonómicas de los jardines botánicos, literatura científica y consulta con expertos.

Los únicos grupos que incluyeron un gran número de especies fueron los agaves y los cactus columnares. En el caso de los primeros, no se realizó una identificación de todas las especies, sino que se agruparon en una categoría del género (i.e., *Agave*). Esto se decidió con base en evidencia que respalda que los murciélagos son polinizadores importantes tanto para las especies de inflorescencias ramificadas (en forma de panícula) como las no ramificadas (en forma de espiga) (Alducin-Martínez et al., 2023; Rocha et al., 2005, 2006; Trejo-Salazar et al., 2015). En

el caso de los cactus columnares, sí se realizó una identificación hasta especie, la cual fue validada por la Dra. Mariana Rojas (Instituto de Ecología, UNAM) y el Dr. Salvador Arias (Instituto de Biología, UNAM).

Para la inclusión de las plantas en la cuantificación de la disponibilidad de alimento, se generaron tres criterios, de los cuales se tenían que cumplir por lo menos dos:

1. Presenta características morfológicas del síndrome quiropterófilo (Fleming et al., 2009; Tschapka & Dressler, 2002).
2. Existe literatura disponible sobre su polinización por murciélagos.
3. Se observaron murciélagos visitando las flores durante el trabajo de campo y/o fueron capturados en las redes frente a su flor.

Las plantas que cumplieron los criterios anteriores se agruparon en cinco grupos (ver Tabla 3 y Figura 4).

Tabla 3. Grupos y taxones vegetales incluidos en la cuantificación de disponibilidad de alimento.

Grupo vegetal	Taxones incluidos
Asparagaceae	<i>Agave</i> spp. (incluyendo <i>Agave scabra</i> = <i>Manfreda scabra</i> = <i>M. brachystachya</i>). <i>Hesperaloe chiangii</i>
Cactus columnares	<i>Cephalocereus fulviceps</i> = <i>Pseudomitrocereus fulviceps</i> = <i>Pachycereus fulviceps</i> = <i>Pilocereus fulviceps</i> <i>Cephalocereus macrocephalus</i> = <i>Neobuxbaumia macrocephala</i> = <i>Pilocereus macrocephalus</i> <i>Cephalocereus mezcalaensis</i> = <i>Pilocereus mezcalaensis</i> = <i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> <i>Cephalocereus polylophus</i> = <i>Neobuxbaumia polylopha</i> = <i>Pilocereus polylophus</i> = <i>Carnegiea polylopha</i> <i>Isolatocereus dumortieri</i> = <i>Stenocereus dumortieri</i> = <i>Cereus dumortieri</i>

Lophocereus marginatus = *Pachycereus marginatus* = *Cereus marginatus* = *Marginatocereus marginatus*

Marshallocereus aragonii = *Stenocereus aragonii* = *Pachycereus aragonii* = *Cereus aragonii*

Pilosocereus leucocephalus = *Cephalocereus palmeri*

Stenocereus huastecorum

Stenocereus pruinosus = *Cereus pruinosus*

Stenocereus queretaroensis = *Cereus queretaroensis* = *Pachycereus queretarensis*

Stenocereus stellatus = *Cereus stellatus*

Stenocereus treleasei = *Cereus treleasei*

Ipomoea *Ipomoea murucoides*

Musaceae *Musa* sp.

Ensete ventricosum

Pseudobombax *Pseudobombax ellipticum*



Figura 4. Algunas flores e inflorescencias de los cinco grupos de plantas considerados para la cuantificación de la disponibilidad de alimento. A) *Agave* sp.; B) *Stenocereus huastecorum*; C) *Ipomoea murucoides*; D) *Musa* sp.; E) *Pseudobombax ellipticum*.

Porcentaje de urbanización y vegetación aledaña

Se realizó una clasificación de uso de suelo en el programa QGIS versión 3.28.3 (QGIS Development Team, 2023), utilizando la técnica de clasificación supervisada *Random Forest*, del “Semi-Automatic Classification Plugin” versión 7.10.10 (Congedo, 2021). Para esto se utilizaron las imágenes satelitales Sentinel-2 (S2), con una resolución de 10 m, descargadas del centro de acceso abierto del programa Copernicus (ESA, 2023).

La clasificación se realizó a partir de buffers de 4 km alrededor de los puntos de cada sitio de estudio. El tamaño de estos se determinó a partir de la distancia máxima que permitía crear buffers independientes, evitando su superposición. Se crearon 36 polígonos como sitios de entrenamiento (“Region of Interest” [ROI]), para generar una clasificación en la cual se distinguieron cuatro grandes categorías: agua, vegetación, suelo desnudo y pasto, y urbanización (Figura 5).

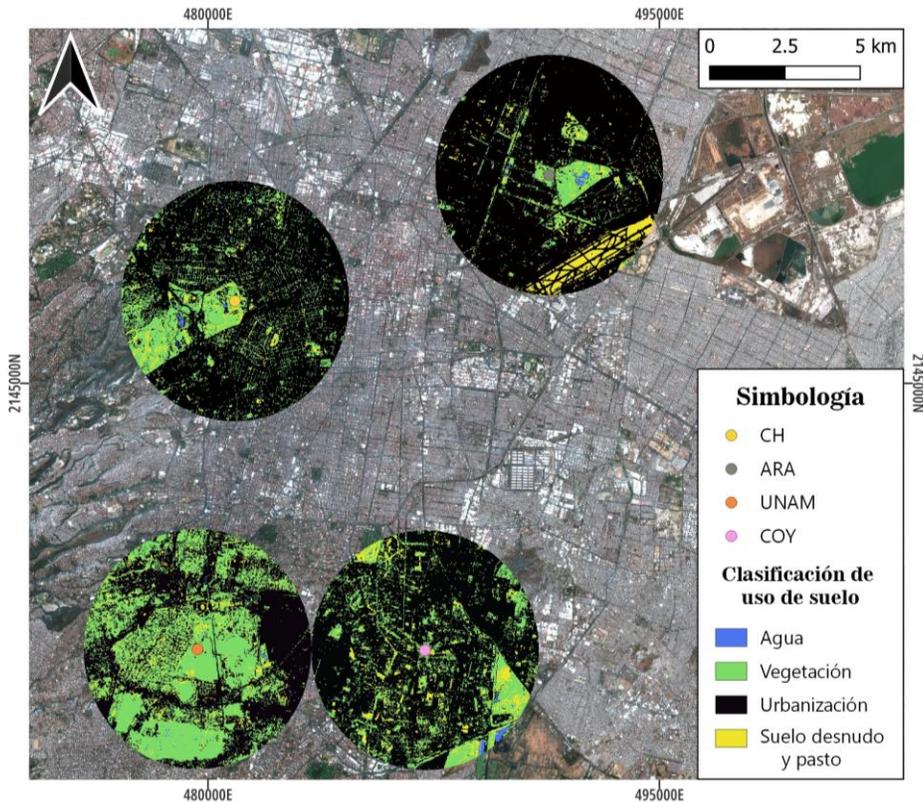


Figura 5. Clasificación de uso de suelo generada para los buffers de 4 km de cada sitio de estudio. **CH:** Jardín Botánico de Chapultepec; **UNAM:** Jardín Botánico e Instituto de Ecología de la UNAM; **ARA:** Zoológico de San Juan de Aragón; **COY:** Zoológico Los Coyotes.

Modelos Lineales Generalizados (GLMs)

Se evaluó el efecto de nueve variables sobre la abundancia de murciélagos nectarívoros. Estas variables se agruparon en dos grupos: el primero relacionado con el espacio físico (área, vegetación y urbanización), y el segundo relacionado con la disponibilidad de alimento (de cinco grupos de plantas) (ver Tabla 4).

El efecto de las variables se evaluó a través de modelos lineales generalizados (GLM), con una distribución binominal negativa, para datos de conteo con sobredispersión (abundancia de murciélagos). Los modelos se llevaron a cabo en el programa *R Studio*, versión 2022.02.3 (RStudio Team, 2022), con el software R, versión 4.1.2 (Team, 2021), utilizando el paquete *MASS* (Venables & Ripley, 2002). Cada variable fue evaluada en un GLM diferente (Tabla 4), para determinar cuáles presentan un efecto significativo sobre la abundancia de murciélagos.

Tabla 4. Listado de modelos lineales generalizados que se construyeron en este estudio y sus variables dependientes e independientes

Grupo de variables	Variable dependiente	Variable independiente
Área, vegetación y urbanización	Abundancia de murciélagos registrada en el año	1. Área del sitio de estudio (e.g., Jardín Botánico de Chapultepec)
		2. Área del área verde mayor (e.g., Bosque de Chapultepec)
		3. Porcentaje de urbanización alrededor del sitio (radio: 4 km)
		4. Porcentaje de vegetación alrededor del sitio (radio: 4 km)
Disponibilidad de alimento	Abundancia de murciélagos registrada cada noche	1. Disponibilidad de alimento: Asparagaceae
		2. Disponibilidad de alimento: Cactus columnares
		3. Disponibilidad de alimento: <i>Ipomoea</i>
		4. Disponibilidad de alimento: Musaceae
		5. Disponibilidad de alimento: <i>Pseudobombax</i>

RESULTADOS

Se obtuvieron un total de 367 capturas de 217 individuos marcados en el estudio. Se registraron a cuatro de las cinco especies históricamente reportadas en la Ciudad de México: *Choeronycteris mexicana*, *Leptonycteris yerbabuena*, *Leptonycteris nivalis* y *Anoura geoffroyi* (Figura 6 y Tabla 5).

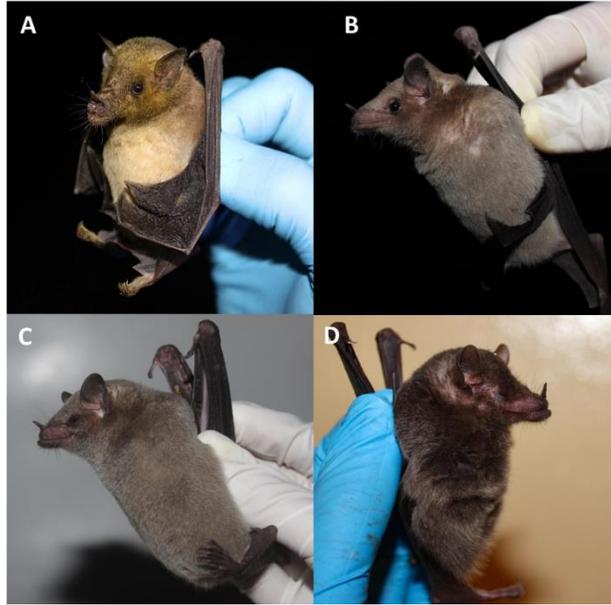


Figura 6. Fotografías de las especies de murciélagos nectarívoros capturadas en el estudio. A) *Choeronycteris mexicana*; B) *Leptonycteris yerbabuena*; C) *Leptonycteris nivalis*; D) *Anoura geoffroyi*.

La especie de murciélagos nectarívoros más abundante en el estudio, con una clara dominancia, fue *C. mexicana*, con un total de 265 capturas (72.2 %) de 138 individuos (63.6 %) (Figura 7). La siguiente fue *L. yerbabuena*, con 57 capturas (15.5 %) de 50 individuos (23 %), seguida por *L. nivalis*, con 30 capturas (8.2 %) de 19 individuos (8.8 %). *Anoura geoffroyi* fue la especie menos abundante, con 15 capturas (4.1 %) de 10 individuos (4.6 %). Por otro lado, UNAM fue el sitio de estudio que presentó las abundancias más altas, con una marcada dominancia sobre el resto: 249 capturas (67.8 %) de 144 individuos (66.4 %). COY, por el contrario, fue el sitio que registró las abundancias más bajas: 14 capturas (3.8 %) de 10 individuos (4.6 %).

Tabla 5. Listado de especies, capturas totales (capturasT) e individuos de murciélagos nectarívoros registrados en los cuatro sitios de estudio.

ESPECIE	SITIO DE ESTUDIO								TOTAL	
	UNAM		ARA		CH		COY		CapturasT	Individuos
<i>C. mexicana</i>	191	103	43	15	24	16	7	4	265	138
<i>L. yerbabuena</i>	16	15	36	31	0	0	5	4	57	50
<i>L. nivalis</i>	29	18	1	1	0	0	0	0	30	19
<i>A. geoffroyi</i>	13	8	0	0	0	0	2	2	15	10
Total	249	144	80	47	24	16	14	10	367	217

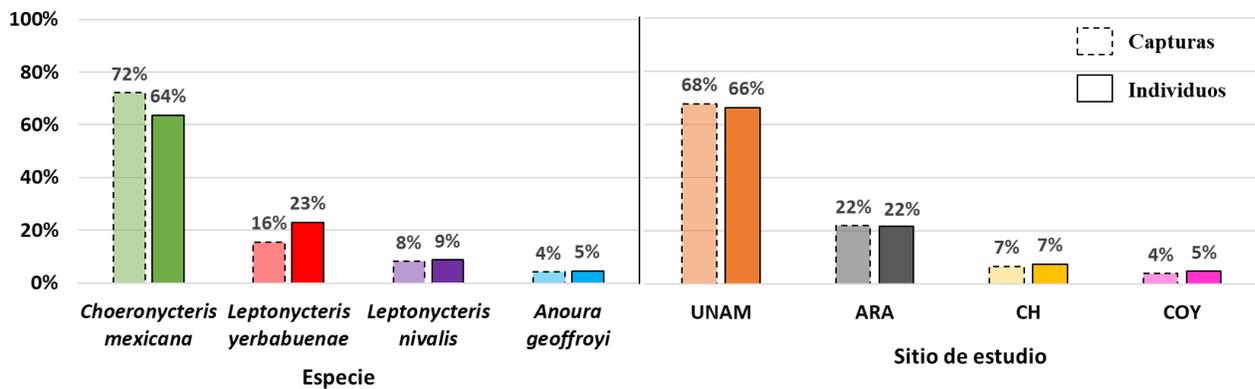


Figura 7. Porcentajes de capturas e individuos marcados, separados por especies y sitios de estudio. Los porcentajes están calculados con respecto al total de capturas e individuos registrados en el estudio (367 y 217, respectivamente).

Estructura de los ensamblajes

Composición de los ensamblajes

Las curvas de rango-abundancia (Figura 8) muestran la composición de los cuatro ensamblajes de murciélagos nectarívoros capturados en cada sitio. UNAM fue el sitio que presentó la mayor riqueza de especies (4 especies), con una fuerte dominancia de *C. mexicana*; mientras que CH presentó la riqueza más baja (1 especie: *C. mexicana*). En los otros dos sitios (ARA y COY) se registraron 3 especies. Sin embargo, en el caso de ARA, *L. nivalis* presentó una abundancia relativa muy baja, pues sólo se registró un individuo de esta especie. En este sitio, la pendiente de la curva

muestra la dominancia que se registró en el ensamble; esto contrasta con el ensamble de COY, el cual presentó una mayor equitatividad.

La única especie que se registró en los cuatro sitios fue *C. mexicana*, la cual se encontró como especie altamente dominante en UNAM y como la única especie en CH. *Leptonycteris yerbabuena* fue la segunda especie mejor distribuida: se registró en tres de los cuatro sitios (UNAM, ARA, COY), y como especie dominante en ARA. *Anoura geoffroyi*, por otro lado, sólo se registró en los sitios del sur de la CDMX (UNAM y COY) y como la especie menos abundante en ambos casos. Finalmente, aunque *L. nivalis* también se registró en dos sitios, UNAM y ARA, en el segundo sólo se capturó un individuo en todo el año.

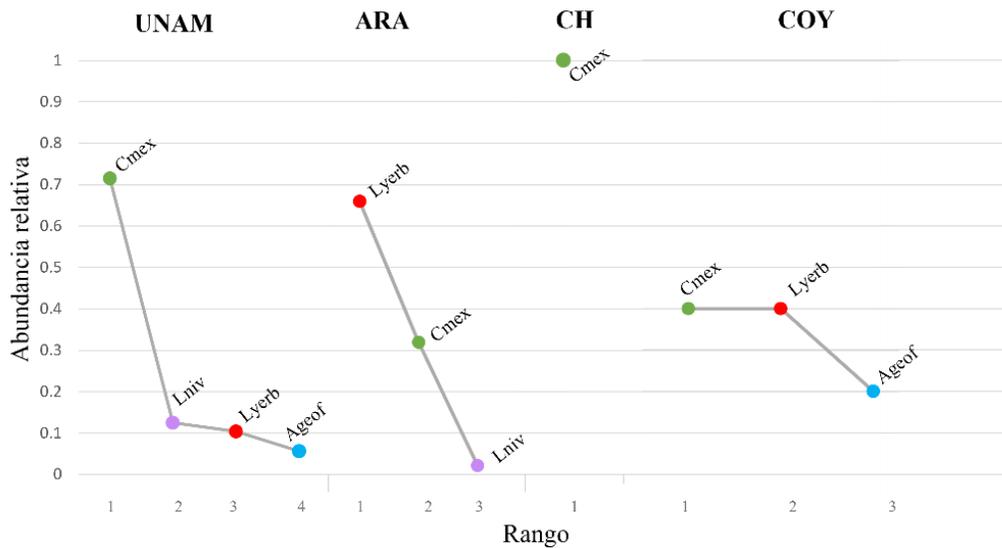


Figura 8. Curvas de rango-abundancia de los ensambles de murciélagos nectarívoros en los cuatro sitios de estudio. **Cmex:** *C. mexicana*, **Lnyrb:** *L. yerbabuena*, **Lniv:** *L. nivalis*, **Ageof:** *A. geoffroyi*.

Diversidad de los ensambles

En el perfil de diversidad alfa de los sitios (Figura 9), construido a partir de los números de Hill, también se puede observar el nivel de dominancia en los ensambles: en la diferencia entre el número efectivo de especies del orden 0 (riqueza) y el orden 2 (número efectivo de especies dominantes). En el caso de UNAM y ARA se puede notar una diferencia importante, mientras que

en COY los valores son similares. Finalmente, la diversidad estimada en CH para los tres órdenes es la misma, dado que sólo se registró una especie en el sitio.

En UNAM se estimó una riqueza de 4 especies ($q=0$; I.C. 95 % = 4 - 4), 2.4 especies comunes ($q=1$; I.C. 95 % = 2.1 - 2.8) y 1.8 especies dominantes ($q=2$; I.C. 95 % = 1.6 - 2.1). En ARA se estimó una riqueza de 3 especies ($q=0$; I.C. 95 % = 2 - 4), 2.1 especies comunes ($q=1$; I.C. 95 % = 1.7 - 2.4) y 1.9 especies dominantes ($q=2$; I.C. 95 % = 1.6 - 2.2). En CH todos los valores estimados resultaron en 1 especie (I.C. 95 % = 1 - 1), pues sólo se capturó a *C. mexicana* en el sitio. En COY se estimó una riqueza de 3 especies ($q=0$; I.C. 95 % = 2.4 - 3.6), 2.9 especies comunes ($q=1$; I.C. 95 % = 2.2 - 3.5) y 2.8 especies dominantes ($q=2$; I.C. 95 % = 2.1 - 3.5). Se encontraron diferencias significativas (basadas en el solapamiento de los intervalos de confianza del 95 %) entre CH y el resto de los sitios, en todos los órdenes de diversidad (Figura 9); así como en la riqueza ($q=0$) de UNAM con el resto de los sitios.

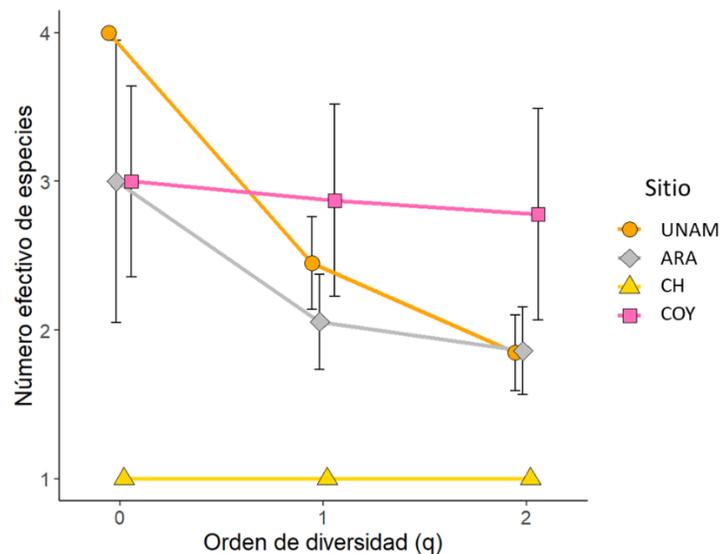


Figura 9. Perfil de diversidad alfa de las cuatro comunidades, conformado por el número efectivo de especies estimado para los tres órdenes de diversidad (q).

Presencia estacional de los murciélagos nectarívoros

Especies migratorias

En el estudio se capturaron a las tres especies migratorias que tienen registros históricos en la CDMX: *C. mexicana* (durante todo el año, excepto el mes de enero), *L. yerbabuena* (abril-septiembre) y *L. nivalis* (agosto-noviembre) (Figura 10). Ambas especies del género *Leptonycteris* se capturaron en un periodo delimitado en el año, aunque diferente entre sí, lo cual coincide con un comportamiento migratorio. En el caso de *L. nivalis*, sólo un individuo se capturó fuera de ese periodo: en abril, en ARA. Sin embargo, no se volvió a capturar ningún otro ejemplar de la especie en el sitio, por lo que no se considera dentro del periodo descrito en el estudio. Contrario a *Leptonycteris* spp., *C. mexicana* se capturó en todos los meses excepto en enero, aunque con una reducción importante de sus abundancias en los meses de invierno.

	feb-21	mar-21	abr-21	may-21	jun-21	jul-21	ago-21	sep-21	oct-21	nov-21	dic-21	ene-22	feb-22
<i>C. mexicana</i>	8	23	22	34	40	29	13	9	8	6	1	0	5
<i>L. yerbabuena</i>	0	0	3	6	8	17	13	5	0	0	0	0	0
<i>L. nivalis</i>	0	0	1*	0	0	0	5	10	2	1	0	0	0

Figura 10. Distribución mensual del número de individuos capturados de las tres especies migratorias.

*En abril se capturó un solo individuo de *L. nivalis*, en ARA; sin embargo, es la única captura de la especie en el sitio, durante los 13 meses. Es por esta razón que se descartó del periodo de capturas considerado para la especie.

Dinámica mensual de las abundancias de murciélagos por sitio

Se registraron dinámicas diferentes en los cuatro sitios de estudio en cuanto a las abundancias de murciélagos nectarívoros (Figura 11). UNAM es el único sitio en donde se registraron murciélagos a lo largo de todo el año (a excepción del mes de enero). Aquí también se presentaron las mayores abundancias casi todos los meses, con un pico en primavera-verano. Sin embargo, se observó una notable reducción de capturas alrededor del invierno. En ARA, el periodo de capturas estuvo delimitado entre abril y septiembre, alcanzando el pico de abundancia en junio y julio. Por el

contrario, en CH y COY las capturas fueron variables a lo largo del año, con abundancias notablemente bajas.

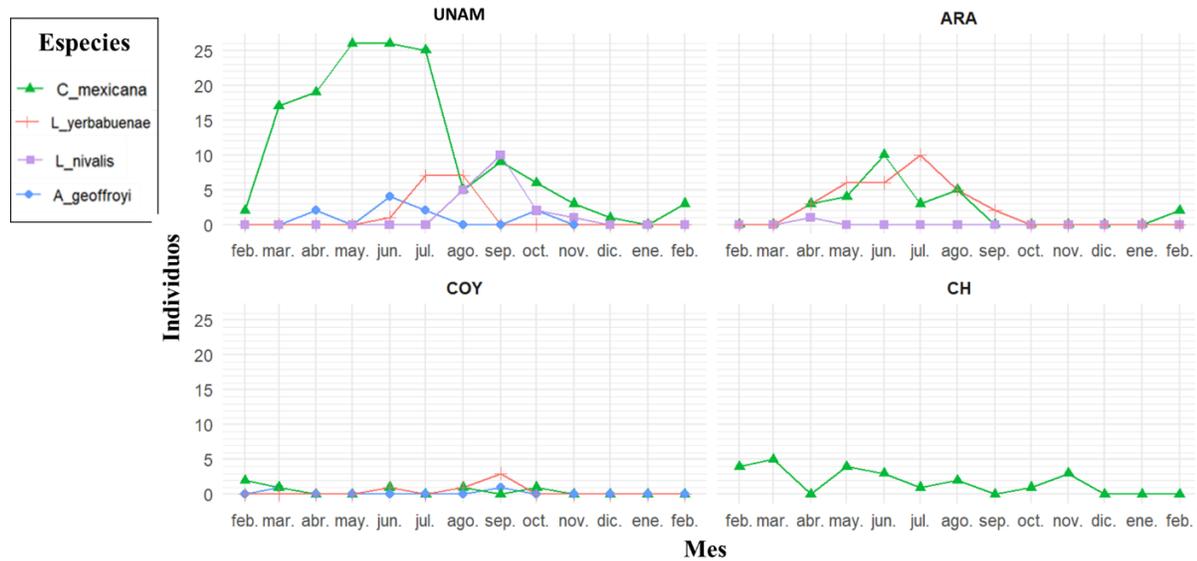


Figura 11. Variación mensual de las abundancias de murciélagos nectarívoros registradas en los cuatro sitios de estudio.

Recapturas de individuos

De las cuatro especies registradas en el estudio, *C. mexicana* presentó el porcentaje más alto de recapturas: excluyendo las repeticiones en el mismo mes, el 30.3 % de sus capturas correspondieron a individuos previamente marcados en el estudio (Tabla 6). Por el contrario, en *Leptonycteris* spp. los porcentajes de recapturas fueron extremadamente bajos: 3.8 % (2 recapturas) para *L. yerbabuena* y 0 % para *L. nivalis*. En el caso de *A. geoffroyi* se registró una cifra del 16.7 %. Adicionalmente, a una escala de sitio de estudio, *C. mexicana* presentó un porcentaje de recapturas mayor en ARA (44.4 %) que en el resto de los sitios (alrededor del 30 %).

Tabla 6. Recapturas y porcentaje de recapturas registrado en los cuatro sitios de estudio y en las cuatro especies de murciélagos nectarívoros. CapM: Capturas mensuales (i.e., sin contar repeticiones de los individuos en el mismo mes); RecapM: Recapturas mensuales (i.e., capturas de individuos previamente marcados en meses anteriores); % Recap: Porcentaje de recapturas (i.e., porcentaje de capturas mensuales que corresponden a individuos marcados en meses anteriores).

ESPECIE	SITIO DE ESTUDIO												TOTAL		
	UNAM			ARA			CH			COY					
	CapM	RecapM	% Recap	CapM	RecapM	% Recap	CapM	RecapM	% Recap	CapM	RecapM	% Recap	CapM	RecapM	% Recap
<i>C. mexicana</i>	142	39	27.5%	27	12	44.4%	23	7	30.4%	6	2	33.3%	198	60	30.3%
<i>L. yerbabuena</i>	15	0	0.0%	32	1	3.1%	0	0	-	5	1	20.0%	52	2	3.8%
<i>L. nivalis</i>	18	0	0.0%	1	0	0.0%	0	0	-	0	0	-	19	0	0.0%
<i>A. geoffroyi</i>	10	2	20.0%	0	0	-	0	0	-	2	0	0.0%	12	2	16.7%
Total	185	41	22.2%	60	13	21.7%	23	7	30.4%	13	3	23.1%	281	64	22.8%

En total, se registraron 45 individuos con al menos una recaptura (UNAM: 29 individuos; ARA: 8 individuos; CH: 5 individuos; COY: 3 individuos) (Figura 12). El 66.6 % de los individuos fueron machos (n=30) y el 33.3 % hembras (n=15). Asimismo, la mayoría fue de la especie *C. mexicana* (93.3 %, n=42); mientras que sólo se recapturaron dos individuos *L. yerbabuena* y uno de *A. geoffroyi*.

El número máximo de capturas que se registró para un individuo fue cuatro. Sin embargo, el periodo más largo entre la primera y última captura de un individuo fue de 11 meses, en un individuo macho *C. mexicana* capturado en UNAM. El promedio de este periodo, considerando los cuatro sitios, fue de 2.6 meses (mín:1, máx:11); mientras que para cada sitio fue el siguiente: UNAM= 2.8 meses (mín:1, máx: 11), ARA= 2 meses (mín:1, máx: 4), CH= 2.8 meses (mín:1, máx: 6) y COY=2 meses (mín:1, máx: 3).

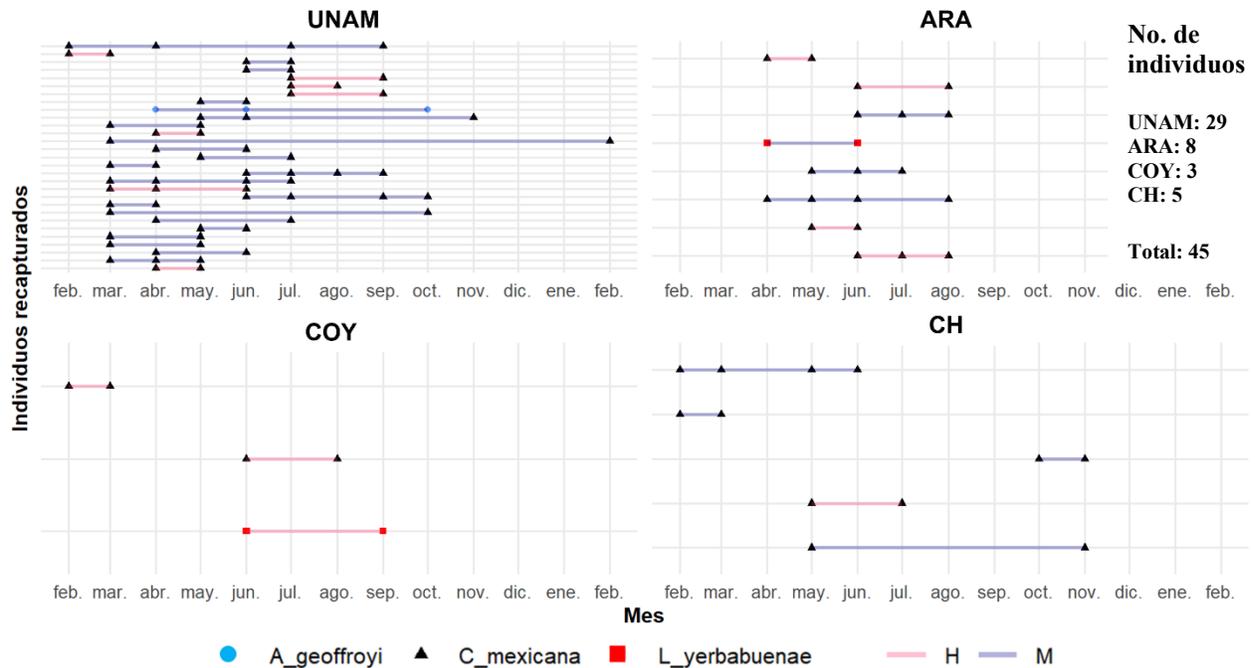


Figura 12. Historia de recapturas de los individuos con al menos una recaptura. Cada línea representa el periodo entre la primera y la última captura de un individuo, mientras que el color de la línea indica el sexo del individuo (rosa= hembras; azul = machos).

Desplazamientos entre sitios

De los 217 individuos marcados en este trabajo, sólo uno se capturó en sitios diferentes. Este fue un macho de la especie *C. mexicana*, el cual se registró en ARA en junio de 2021 y se recapturó al siguiente mes en UNAM. Estos sitios son los más alejados entre sí, con 19.6 km de separación en la matriz urbana de la CDMX.

Disponibilidad de alimento

Se registró la mayor disponibilidad de alimento total, a lo largo del año, en UNAM (35 670 flores) y ARA (33 877 flores); mientras que en COY se encontró un número drásticamente más bajo (4 286 flores) (Figura 13). Al dividir por unidad de área (ha), el sitio de estudio más pequeño (UNAM) registró la mayor densidad de alimento disponible; mientras que ARA, el sitio con el área más grande, registró un número considerablemente bajo. Se registraron los siguientes grupos

de plantas quiropterófilas disponibles en cada sitio: UNAM: Asparagaceae, cactus columnares e *Ipomoea*; ARA: Asparagaceae, cactus columnares y *Pseudobombax*; CH: Asparagaceae, cactus columnares, *Ipomoea* y Musaceae; COY: Asparagaceae, *Ipomoea* y Musaceae. Además, la variación de la disponibilidad de alimento a lo largo del año fue distinta en cada sitio (Figura 14).

A pesar de la disponibilidad de múltiples grupos de plantas, se registró una destacada dominancia de las asparagáceas en la proporción de flores disponibles de UNAM, ARA y CH. En estos sitios se registraron picos de floración de cuatro mil a seis mil flores de asparagáceas en los meses de primavera-verano. En UNAM y ARA, los periodos de alta disponibilidad de este grupo fueron los más largos: seis y cinco meses, respectivamente; mientras que en CH se registró un pico muy breve, entre julio y agosto. Adicionalmente, a pesar de que se observó una importante reducción de las flores disponibles en otoño-invierno en UNAM, éste fue el sitio que registró la mayor disponibilidad en esta temporada. Por otro lado, en COY, así como para las abundancias de murciélagos, se registraron bajas abundancias de flores disponibles en el sitio. Estas fueron principalmente de *Musa* sp. (Musaceae) e *Ipomoea* a lo largo del año, con un breve y limitado registro de *Agave* spp. en octubre.

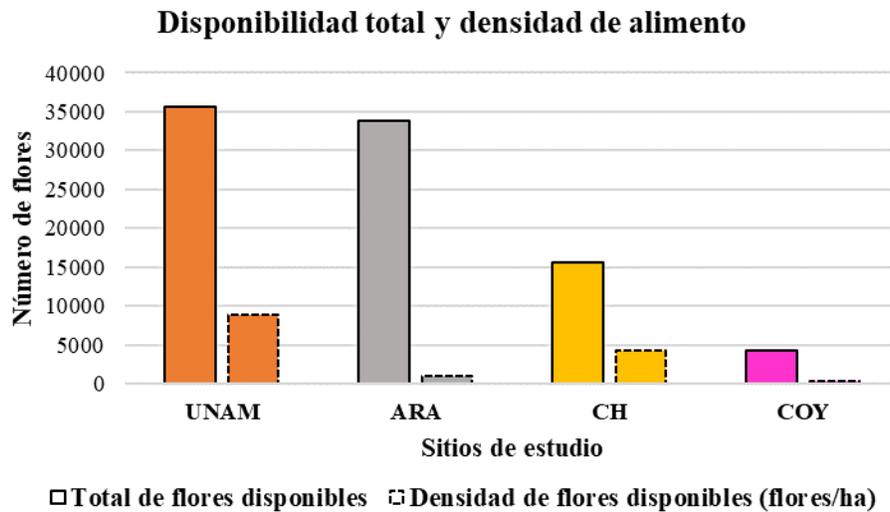


Figura 13. Disponibilidad total y densidad de alimento registrada en los cuatro sitios de estudio a lo largo del año.

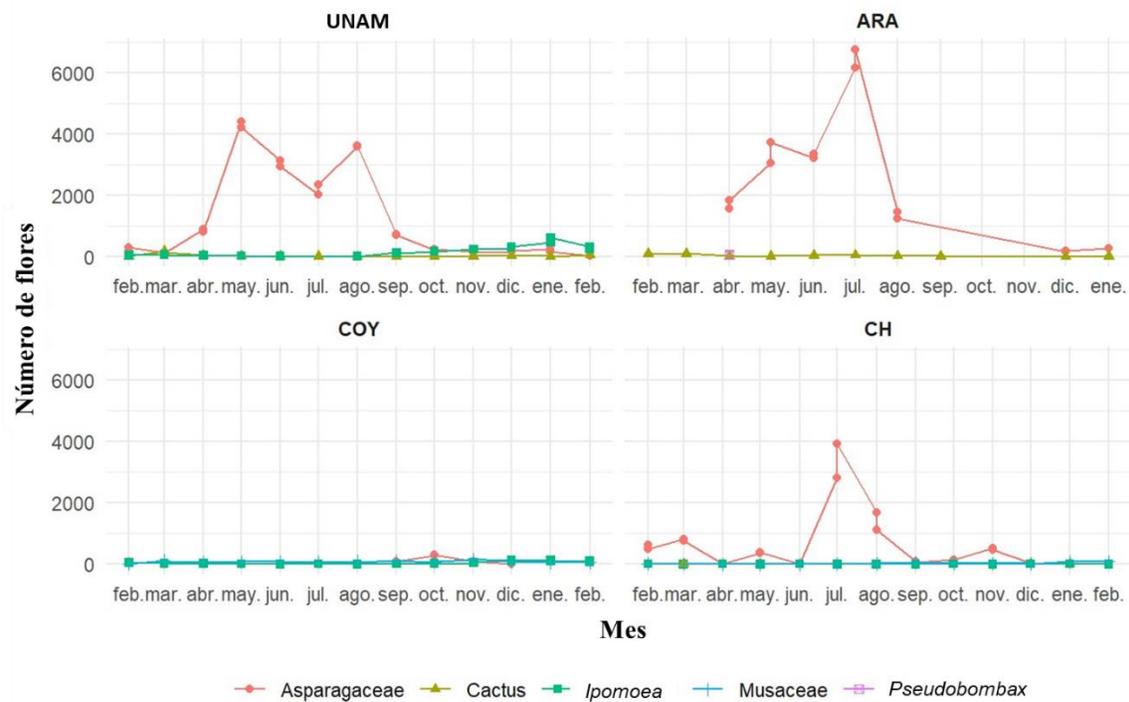


Figura 14. Variación mensual de la disponibilidad de alimento registrada en los cuatro sitios de estudio.

Porcentaje de urbanización y vegetación aledaña

Se encontró que, enfocado en un radio de 4 km, ARA es el sitio con el mayor porcentaje de urbanización (85.3 %) y el menor porcentaje de vegetación (8.4 %). Mientras que UNAM es el caso contrario, con 49.9 % de urbanización y 44.0 % de vegetación (Tabla 7).

Tabla 7. Porcentajes de urbanización y vegetación alrededor de los sitios de estudio, en un radio de 4 km.

Sitio	% de urbanización	% de vegetación
ARA	85.3%	8.4%
CH	76.6%	19.7%
COY	73.7%	19.3%
UNAM	49.9%	44.0%

Modelos lineales generalizados (GLMs)

No se encontró un efecto significativo de las variables de urbanización, vegetación y área del sitio o área verde mayor, sobre la abundancia de murciélagos nectarívoros (Tabla 8). Sin embargo, al evaluar el efecto de la disponibilidad de alimento (por grupo de plantas quiropterófilas) se encontró un efecto positivo significativo de la disponibilidad de asparagáceas (estimado=0.0006, $p=7.92e-10$) (Tabla 9). El resto de los grupos de plantas no presentaron efectos significativos positivos.

Tabla 8. Resultados de los modelos lineales generalizados (GLM) que evaluaron el efecto del área, urbanización y vegetación sobre la abundancia de murciélagos nectarívoros.

Variable independiente	Estimado	Valor de p
% urbanización alrededor del sitio	-4.146	0.1363
% vegetación alrededor del sitio	4.055	0.1539
Área: sitio de estudio (p. ej. Jardín Botánico de Chapultepec)	-0.0137	0.701
Área: área verde mayor (p. ej. Bosque de Chapultepec)	-0.0014	0.458

Tabla 9. Resultados de los modelos lineales generalizados (GLM) que evaluaron el efecto de la disponibilidad de alimento, por grupo de plantas quiropterófilas, sobre la abundancia de murciélagos nectarívoros.

Variable independiente	Estimado	Valor de p
Asparagaceae*	0.0006*	7.92e-10 *
Cactus columnares	0.0107	0.0889
<i>Ipomoea</i>	-0.0036	0.0893
Musaceae	-0.0264	3.19E-07
<i>Pseudobombax</i>	0.0067	0.759

* Asparagaceae presentó un efecto positivo significativo.

DISCUSIÓN

Hasta donde sabemos, este es el primer trabajo enfocado en murciélagos nectarívoros en la CDMX, y en algún área urbana del país, así como el primero en realizar un monitoreo de murciélagos a lo largo de todo el año en la CDMX.

El estudio demostró que, a pesar de la alta urbanización, cuatro de las cinco especies históricamente registradas en la CDMX siguen presentes al menos una parte del año y usan los parques urbanos con plantas quiropterófilas como áreas de forrajeo. Esto incluye a las tres especies migratorias y que, además, se encuentran en alguna categoría de riesgo de conservación: *C. mexicana*, *L. yerbabuena* y *L. nivalis* (NOM-059-SEMARNAT-2010: SEMARNAT, 2010, 2019).

Adicionalmente, se encontró una marcada dominancia de *C. mexicana* en la comunidad, siendo la especie más abundante (Figura 7) y la más ampliamente distribuida en los sitios de estudio (Figura 8). Esto coincide con la literatura de murciélagos urbanos en otras regiones, en donde se ha observado un patrón de comunidades con pocas especies notablemente dominantes (Jung & Threlfall, 2016; Russo & Ancillotto, 2015). No obstante, la dominancia de *C. mexicana* llama la atención, dado el poco conocimiento que se tiene de esta especie, las bajas abundancias reportadas en otras regiones y que está considerada como amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

A pesar de tratarse de una de las ciudades más grandes del mundo (United Nations, 2018), la riqueza de murciélagos nectarívoros registrada en este estudio superó a la reportada en áreas urbanas más pequeñas y tropicales del país, como la ciudad de Oaxaca (2 especies; Medina Cruz, 2019) y Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (2 especies; Jara-Servín et al., 2017). Sin embargo, los trabajos mencionados no enfocan su esfuerzo de muestreo al gremio nectarívoro, lo cual podría sesgar la riqueza reportada para este grupo.

Este trabajo demostró que los parques urbanos con plantas quiropterófilas de la CDMX atraen murciélagos nectarívoros casi todo el año. La temporada de primavera-verano es un periodo de interés, debido a un importante pico en la abundancia de los murciélagos (Figura 11). Además, en agosto las tres especies migratorias y en alguna categoría de riesgo se capturaron en la CDMX

(Figura 10). Por esta razón, se recomienda enfocar futuros esfuerzos de monitoreo a largo plazo a los meses de verano, con el fin de maximizar el número de capturas e incluir a las cuatro especies.

La riqueza y abundancia de murciélagos nectarívoros en primavera-verano probablemente responde a la abundancia de alimento disponible. En esta temporada se registraron picos de floración de agaves (Figura 14), el género más reportado en la dieta de los murciélagos nectarívoros de México (Ortega-García & Saldaña-Vázquez, 2022) y con el cual se tiene documentada una estrecha relación planta-animal, especialmente para aquellos murciélagos del género *Leptonycteris* (Eguiarte et al., 2021).

Además, en los modelos lineales generalizados (GLM) la única variable con efecto significativo sobre la abundancia de murciélagos fue la disponibilidad de alimento de la familia Asparagaceae (principalmente agaves) y Musaceae (Tablas 8 y 9). Sin embargo, la última no se considera de relevancia, pues el modelo mostró una relación negativa con la abundancia de murciélagos. Esto probablemente se debe a que los dos sitios con más murciélagos registrados (UNAM y ARA) son precisamente aquellos en donde no se encontraron flores de este grupo de plantas, y viceversa (CH y COY). Los resultados de los GLMs indican que la disponibilidad de flores de agaves, principalmente, parece tener un efecto más importante en la abundancia de murciélagos nectarívoros que la urbanización alrededor del sitio, el tamaño del área verde o la cantidad de vegetación aledaña.

Los resultados de los modelos coinciden con las diferencias encontradas en las comunidades de los cuatro sitios de estudio. Aquellos que registraron la mayor abundancia relativa de murciélagos (UNAM y ARA: Figura 7) son precisamente los que presentaron la mayor disponibilidad total de alimento, sin importar la densidad de este, con un pico importante de floración de agaves (Figura 13 y 14). Esto se observó a pesar de que uno de ellos (ARA) es el sitio con la mayor urbanización (Tabla 7). Por otro lado, aquellos con una presencia esporádica de murciélagos en el año (COY y CH) y con las abundancias más bajas, presentaron también una baja disponibilidad total de alimento, donde la floración de agaves fue baja o de corta duración. Esto se registró a pesar de que CH se encuentra dentro del Bosque de Chapultepec, el área verde urbana más grande de la CDMX.

Sitios de estudio

El sitio con la mayor riqueza y abundancia fue UNAM, con más del 60 % de los individuos capturados en el estudio y siendo el único lugar donde se registraron las 4 especies (Figura 7 y 8). Esto probablemente se debe a una combinación de disponibilidad de alimento dentro y cerca del sitio, así como de refugios naturales generados por el origen volcánico del ecosistema del Pedregal. La amplia colección de plantas quiropterófilas del Jardín Botánico de la UNAM, que incluye una importante diversidad y abundancia de agaves, provee alimento para los murciélagos durante todo el año, aunque con abundancias variables (Figura 14). Adicionalmente a las plantas cultivadas, este sitio es el único que se encuentra dentro de un remanente de vegetación natural: el ecosistema del Pedregal que resguarda la REPSA. Aquí, la vegetación nativa incluye especies polinizadas por murciélagos como *A. salmiana*, *A. scabra* (= *Manfreda scabra*) y *Calliandra houstoniana* var. *anomala* (= *Calliandra grandiflora*) (Castillo-Argüero et al., 2007; Eguiarte & Burquez, 1987; Ortega-García & Saldaña-Vázquez, 2022). Además, el ecosistema presenta múltiples oquedades y cuevas naturales que los murciélagos llegan a ocupar como refugio, como se ha reportado en trabajos anteriores (García Bermúdez, 2018) y como se observó durante algunas noches de muestreo en este sitio.

Por otra parte, el sitio con la diversidad más baja de murciélagos fue CH, donde sólo se registró a *C. mexicana*. Esto probablemente se debe a la baja disponibilidad de alimento que presentó el sitio de muestreo (Jardín Botánico de Chapultepec), sin descartar que haya una mayor abundancia y riqueza de murciélagos nectarívoros alimentándose en otras partes del Bosque de Chapultepec, donde hubiera más agaves en floración. En septiembre, por ejemplo, a pesar de no registrar capturas en el sitio, al terminar el monitoreo se observaron murciélagos visitando las flores de grandes agaves paniculados, en una jardinera sobre la lateral de Anillo Periférico, a menos de 3 km del Jardín Botánico de Chapultepec. Adicionalmente, un individuo de *L. yerbabuena* apareció el mismo mes en una casa de Lomas de Chapultepec, a un lado del Bosque. La identificación de este individuo fue corroborada por nuestro equipo de trabajo.

Choeronycteris mexicana

Choeronycteris mexicana fue la especie más abundante en el estudio (138 individuos = 63.6%), con una marcada dominancia sobre las otras tres especies de murciélagos nectarívoros. A pesar de ser considerada migratoria (aunque con escasa información sobre sus movimientos; Arroyo-Cabrales et al., 1987; Cryan & Bogan, 2003; Fleming et al., 1993), los resultados de este estudio indican una posible residencia en la CDMX durante la mayor parte del año, con movimientos en el invierno. Esto lo sugieren sus capturas en todos los meses, excepto enero, su porcentaje de recaptura del 30%, y la marcada reducción de sus abundancias en invierno. Adicionalmente, esta potencial residencia está respaldada por la captura de 3 hembras lactando en marzo 2021, mayo 2021 y febrero 2022, lo cual indica actividad reproductiva en la entidad.

En el invierno, cuando la temperatura de la CDMX puede descender de los 5 °C en diciembre y enero (GDF, 2012; INEGI, 2016), se registró una drástica reducción de los recursos florales en los sitios de estudio. Estas condiciones podrían impulsar que *C. mexicana* se mueva a zonas cercanas con temperaturas más cálidas y mayor disponibilidad de alimento, como el bosque tropical caducifolio de Morelos (estado colindante al sur). En este tipo de vegetación con un clima cálido subhúmedo (CONABIO & UAEM, 2006), predominante en el estado vecino, los cacahuates (*I. murucoides*) son elementos comunes del paisaje y proporcionan abundantes recursos florales para los murciélagos durante el invierno (Salinas Galicia, 2013).

Este trabajo es el primer monitoreo de *C. mexicana* a lo largo del año y los resultados son de interés, pues además de mostrar una posible residencia de esta especie considerada migratoria, es el primer estudio que reporta abundancias tan altas para una especie considerada poco abundante y amenazada en México (SEMARNAT, 2010). La literatura reporta abundancias bajas alrededor de su distribución: los reportes en refugios y monitoreos en el paisaje con redes de niebla, generalmente presentan abundancias menores a diez individuos (Arita & Santos-Del-Prado, 1999; Cajas-Castillo et al., 2015; Cornejo-Latorre et al., 2011; Couoh-de la Garza et al., 2006; Gomez-Ruiz et al., 2015; Riechers-Pérez & Vidal-López, 2009; Solari, 2018). Incluso, en la evaluación de Solari (2018), se reporta que en Estados Unidos se han observado menos de 400 individuos, en total, desde 1906. Adicionalmente, los resultados de este estudio sugieren que la especie tolera niveles de urbanización elevados. Esto contrasta con lo observado por otros autores en Chiapas

(Riechers-Pérez & Vidal-López, 2009), donde fue considerada una especie sensible a las modificaciones antropogénicas, dado que únicamente se capturó en hábitats conservados.

La adaptación de *C. mexicana* a un ambiente tan urbanizado está probablemente relacionada con su explotación oportunista de refugios, que incluye el uso de estructuras humanas y sitios poco profundos, así como relativamente iluminados (Arroyo-Cabrales et al., 1987; Cryan & Bogan, 2003). Esta flexibilidad de refugios se ha visto en otras especies que se adaptan mejor a las ciudades (Jung & Threlfall, 2016; Russo & Ancillotto, 2015). Al contrario de *Leptonycteris* spp., que forman colonias numerosas (Cole & Wilson, 2006; Hensley & Wilkins, 1988), el comportamiento individualista de *C. mexicana* (Arita & Santos-Del-Prado, 1999; Cajas-Castillo et al., 2015; Cornejo-Latorre et al., 2011; Cryan & Bogan, 2003; Gomez-Ruiz et al., 2015; Riechers-Pérez & Vidal-López, 2009; Solari, 2018) probablemente facilita el uso de un amplio rango de refugios en la ciudad. En Chapultepec y Aragón, por ejemplo, se han encontrado individuos de esta especie refugiándose en bodegas (F. Gual-Sill [Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre, CDMX] y E. Gayosso [Zoológico de San Juan de Aragón], comunicación personal, febrero 2021). Igualmente, durante el monitoreo registramos individuos previamente capturados ocupando temporalmente bodegas en ARA, durante el pico de floración de agaves del sitio. Aquí el porcentaje de recapturas de *C. mexicana* fue el más alto de todos los sitios (casi 45 %), lo que indica que los murciélagos probablemente se refugiaban en la zona siguiendo la disponibilidad de alimento.

Este trabajo presenta información nueva e interesante sobre *C. mexicana*. Se recomienda continuar con futuras investigaciones que ayuden a entender mejor la ecología y el comportamiento de la especie; así como comprobar si los patrones observados en esta tesis se repiten. Algunos aspectos relevantes para seguir indagando son: los movimientos de la especie en otras partes de su distribución, la tolerancia a la perturbación, aspectos reproductivos, dieta, entre otros.

***Leptonycteris* spp.**

En cuanto a *L. yerbabuena* y *L. nivalis*, las otras dos especies migratorias, nuestros resultados concuerdan con un comportamiento migratorio. Se encontró un periodo delimitado de capturas

(Figura 10) y porcentajes de recapturas extremadamente bajos (sólo dos recapturas para *L. yerbabuena*: Tabla 6). Esto sugiere que ambas especies probablemente tienen una estancia transitoria en la CDMX durante sus movimientos entre refugios. En el caso de *L. nivalis*, su periodo de capturas en la ciudad (agosto-noviembre) coincide con el periodo de establecimiento en su único refugio conocido de reproducción: la Cueva del Diablo, en Tepoztlán, Morelos (a aproximadamente 38 km en línea recta de UNAM, el sitio donde se capturó a casi todos los individuos de la especie). En esta cueva, los murciélagos permanecen aproximadamente de septiembre a febrero (Salinas Galicia, 2013). Esto sugiere la posibilidad de que los individuos capturados en la CDMX se encontraran en migración hacia este importante refugio.

En el caso de *L. yerbabuena*, en agosto se capturaron tres individuos machos con testículos escrotados y parche dorsal en recuperación (i.e., piel dorsal desnuda con pelaje en regeneración: Lavery & Stoner, 2022) (Figura 15). Este parche ha sido asociado a la temporada de apareamiento de la especie, donde los machos sexualmente activos lo llegan a presentar (Lavery & Stoner, 2022; Nassar et al., 2008; Rincón-Vargas et al., 2013). Esto coincide con el patrón reproductivo propuesto para el centro-sur del país, con apareamientos en el verano y partos en invierno (Galindo G. et al., 2004; Menchaca et al., 2020; Morales-Garza et al., 2007; U.S. Fish and Wildlife Service, 2018; Villalpando-Rosaldo, 2006). Lo anterior sugiere que los machos capturados en esta temporada probablemente venían de algún refugio del centro del país, en donde recientemente se habían reproducido. El apareamiento de la especie en la CDMX es muy improbable, dado que *L. yerbabuena* se congrega en grandes grupos dentro de cuevas (Cole & Wilson, 2006); además, a pesar de muestrear en la temporada de reproducción reportada para el centro-sur del país, ninguno de los individuos capturados presentó un parche desarrollado. Adicionalmente, los datos registrados en este trabajo indican una estancia pasajera en la entidad, por lo que es más probable que el apareamiento se realice en refugios de otras zonas del centro de México.



Figura 15. Parche dorsal en recuperación de un individuo capturado en agosto 2021 en este estudio. Se puede observar la piel desnuda y el pelaje en regeneración en donde estuvo el parche.

Anoura geoffroyi

Anoura geoffroyi fue una especie rara y poco abundante en el estudio, con capturas esporádicas en el año y sólo en los sitios del sur (UNAM y COY). En contraste, esta especie es considerada abundante alrededor de su distribución en México (Arita & Santos-Del-Prado, 1999; Ortega & Alarcón-D, 2008). La información obtenida en este trabajo coincide con los registros aislados reportados por Sánchez et al. (1989), cuyas localidades también se encuentran en el sur de la ciudad. Adicionalmente, en 2017, un individuo fue capturado por colaboradores en el Bosque de Tlalpan, al sur de la ciudad (D. Ramos-H, comunicación personal), a aproximadamente 3 km del Jardín Botánico de la UNAM. Esta información sugiere que *A. geoffroyi* posiblemente no tolera niveles altos de urbanización, al encontrarse en bajas abundancias y sólo en sitios cercanos al suelo de conservación de la CDMX, donde hay un mayor porcentaje de vegetación natural (GDF, 2012).

Glossophaga mutica

La única especie que no fue capturada en el estudio fue *Glossophaga mutica*. Sin embargo, no se esperaba registrarla dado que el enfoque de este trabajo se encuentra en la matriz urbana de la CDMX y los registros históricos de esta especie en la entidad se encuentran en Milpa Alta (Navarro-Frías et al., 2007; Sánchez et al., 1989), una delegación en el extremo sur del suelo de conservación de la CDMX. Adicionalmente, estos registros históricos en la entidad llaman la

atención y su revisión en las colecciones biológicas es aconsejable, pues *G. mutica* generalmente se reporta en zonas de clima cálido en el país (Alvarez et al., 1991; Ortega-García et al., 2017; Sánchez et al., 1989), mientras que Milpa Alta presenta un clima principalmente templado (GDF, 2012).

Desplazamientos entre sitios

Finalmente, sólo uno de los 217 murciélagos nectarívoros capturados en este estudio fue recapturado en sitios diferentes: un individuo de *C. mexicana* capturado en ARA y UNAM con un mes de diferencia, a casi 20 km de distancia. Esto sugiere que la especie tiene la capacidad de desplazarse a través de la matriz urbana de la CDMX, lo cual coincide con una amplia tolerancia a la urbanización. Sin embargo, la cifra tan baja indica que, a pesar de tener la capacidad, parecen no hacerlo frecuentemente.

No se tiene información sobre la capacidad de desplazamiento de *C. mexicana* en ambientes naturales, o de *Leptonycteris* spp. en ciudades. Sin embargo, en una matriz urbana de Brasil se registró una movilidad restringida de *G. soricina* asociada a la fragmentación del ambiente y la contaminación lumínica (Diniz et al., 2019). Esto sugiere una probable reducción de la movilidad de los murciélagos glosófagos en ambientes urbanos, aunque se requiere más información al respecto.

La importancia del alimento

Los resultados de este estudio demuestran la persistencia de los murciélagos nectarívoros en la CDMX y una mayor adaptación urbana a la esperada. Su presencia y abundancia parece estar estrechamente ligada a la disponibilidad de alimento, a pesar de la urbanización presente, donde el uso ornamental de agaves parece tener un gran impacto. Nuestros resultados indican un importante papel de estas plantas para la conservación de los murciélagos nectarívoros en esta gran metrópolis. Esto tiene sentido, dada la estrecha relación agave-murciélago como principales polinizadores (Eguiarte et al., 2021; Ortega-García & Saldaña-Vázquez, 2022), y por la gran cantidad de alimento que una sola planta de agave puede ofrecer. Los agaves paniculados de gran

tamaño (e.g., *A. salmiana*) pueden ofrecer varios cientos de flores en una noche y su inflorescencia puede producir néctar durante más de un mes (observ. pers.; Eguiarte et al., 2021; Estrella-Ruiz, 2005; Gómez-Aíza & Zuria, 2010). Muchos de estos agaves se registraron en los sitios de estudio, pero también se pueden encontrar en camellones y jardineras alrededor de la ciudad. En los últimos casi tres años (2021-2023) hemos observado y recibido múltiples notificaciones de murciélagos visitando agaves en distintas zonas de la CDMX, incluso a un lado de avenidas de alto flujo vehicular.

Además de este trabajo, en Lima, Perú, el recurso más abundante encontrado en la dieta de *G. soricina* (ahora *G. valens*: Calahorra-Oliart et al., 2021) fue una especie de agave cultivado de forma ornamental (Pellón et al., 2021). Esto indica que el uso ornamental de plantas quiropterófilas, como los agaves, en áreas verdes urbanas podría ser una importante herramienta de conservación para murciélagos nectarívoros en ciudades de Latinoamérica. Sin embargo, se requiere de atención cuidadosa, pues un manejo inadecuado de las áreas verdes también podría impactar considerablemente a las poblaciones.

Consideraciones finales

En este trabajo se presenta una línea base para los murciélagos nectarívoros en la CDMX y para áreas urbanas del país. Sin embargo, es importante realizar más estudios en distintas regiones para poder comprender mejor su respuesta a la urbanización y los riesgos a los que se enfrentan. Esto permitirá diseñar estrategias adecuadas para su conservación a nivel local y que podrían afectar regionalmente, sobre todo para las especies migratorias.

En el caso de la CDMX, dada la alta abundancia de murciélagos nectarívoros aquí reportada, probablemente dependiente del manejo de las áreas verdes urbanas y, en cierta medida, del uso de estructuras humanas como refugio, es importante impulsar la educación ambiental para lograr la protección de estos importantes mamíferos voladores en la ciudad. Esto es especialmente relevante dado el considerable rechazo hacia los murciélagos encontrado en un estudio de refugios urbanos en la CDMX (García Bermúdez, 2018).

Perspectivas para estudios futuros

Algunos esfuerzos relevantes que podrían seguir a este trabajo incluyen: la búsqueda de refugios de murciélagos nectarívoros en la CDMX; el monitoreo en áreas fuera de la matriz urbana para comparar con los resultados de este estudio (especialmente relevante para el caso de *Anoura geoffroyi*); la estimación del tamaño poblacional de *Choeronycteris mexicana* en la ciudad, con el uso de técnicas de captura-recaptura (considerando las limitaciones correspondientes de las metodologías).

Es importante continuar con un monitoreo a largo plazo de los murciélagos nectarívoros en la CDMX, lo cual permitirá vigilar los impactos urbanos en sus poblaciones, así como implementar estrategias pertinentes para su conservación. Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda enfocar los esfuerzos de monitoreo a los meses de verano y el mes de septiembre, con el fin de incluir a las cuatro especies de murciélagos nectarívoros y maximizar el número de capturas.

Por último, sería de gran interés coordinar esfuerzos regionales de monitoreo con PIT tags, donde la CDMX sea incluida, para estudiar los movimientos de las especies migratorias del género *Leptonycteris*.

CONCLUSIONES

- 1) Cuatro de las cinco especies de murciélagos nectarívoros reportadas para la CDMX, incluyendo las especies migratorias y en categorías de riesgo de conservación, persisten en la ciudad a pesar de la alta urbanización.
- 2) Los murciélagos nectarívoros encontrados se alimentan en los parques urbanos con plantas quiropterófilas casi todo el año.
- 3) La disponibilidad de alimento, especialmente de agaves, parece ser más importante para su presencia que el porcentaje de urbanización y de vegetación aledaña, o incluso el tamaño del área verde.
- 4) *Choeronycteris mexicana* es aparentemente la especie de murciélago nectarívoro más abundante y más ampliamente distribuida en la matriz urbana de la CDMX. A pesar de ser considerada una especie migratoria, este trabajo muestra una aparente residencia en la CDMX durante la mayor parte del año, con posibles movimientos en invierno.
- 5) Los resultados del estudio mostraron una alta tolerancia de *C. mexicana* a la urbanización.
- 6) Tanto *L. yerbabuena*, como *L. nivalis* parecen tener una estancia temporal y transitoria en la ciudad, dentro de sus movimientos migratorios.
- 7) El número extremadamente bajo de recapturas entre sitios (sólo un murciélago *C. mexicana*) sugiere que a pesar de que estos murciélagos tienen la capacidad de desplazarse a través de la matriz urbana, parecen no hacerlo comúnmente.
- 8) Esta tesis demuestra la relevancia del uso ornamental de plantas quiropterófilas en áreas verdes urbanas -especialmente de agaves-, para la conservación de murciélagos nectarívoros en la CDMX, y probablemente en otras ciudades del país.

REFERENCIAS

- Aguilar M., A. G. (2016). *La Ciudad de México en el siglo XXI: realidades y retos*. CDMX-SECITI. M.A. Porrúa.
- Albuquerque-Lima, S., Diniz, U. M., & Machado, I. C. S. (2022). A nectar oasis for urban Glossophaginae bats: Temporal resource dynamics of the chiropterophilous *Crescentia cujete* (Bignoniaceae). *Urban Forestry and Urban Greening*, 67, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127412>
- Alducin-Martínez, C., Ruiz Mondragón, K. Y., Jiménez-Barrón, O., Aguirre-Planter, E., Gasca-Pineda, J., Eguiarte, L. E., & Medellín, R. A. (2023). Uses, Knowledge and Extinction Risk Faced by *Agave* Species in Mexico. *Plants*, 12(1–37). <https://doi.org/10.3390/plants12010124>
- Alvarez, J., Willig, M. R., Jones, J. K., & Webster, W. D. (1991). *Glossophaga soricina*. *Mammalian Species*, 379, 1–7. <https://doi.org/10.2307/3504146>
- Arita, H. T., & Santos-Del-Prado, K. (1999). Conservation biology of nectar-feeding bats in Mexico. *Journal of Mammalogy*, 80(1), 31–41. <https://doi.org/10.2307/1383205>
- Arroyo-Cabrales, J., Hollander, R. R., & Jones, J. K. (1987). *Choeronycteris mexicana*. *Mammalian Species*, 4(291), 1. <https://doi.org/10.2307/3503823>
- Avila-Flores, R., & Fenton, M. B. (2005). Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *Journal of Mammalogy*, 86(6), 1193–1204. <https://doi.org/10.1644/04-MAMM-A-085R1.1>
- Bateman, P. W., & Fleming, P. A. (2012). Big city life: Carnivores in urban environments. *Journal of Zoology*, 287(1), 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2011.00887.x>
- Berthinussen, A., & Altringham, J. (2012). The effect of a major road on bat activity and diversity. *Journal of Applied Ecology*, 49(1), 82–89. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02068.x>
- Botto Nuñez, G., Cunningham, A., Moise Bakwo Fils, E., Frick, W., Nurul Islam, M., Jolliffe, T., Kading, R., Kepel, A., Kingston, T., Leopardi, S., Medellín, R., Mendenhall, I., Parsons, S., Racey, P., Russo, D., Teresa Shapiro, J., Vicente-Santos, A., Viquez-R, L., & Vu Dinh, T. (2020). *IUCN SSC Bat Specialist Group (BSG) Recommended Strategy for Researchers to Reduce the Risk of Transmission of SARS-CoV-2 from Humans to Bats* (p. 12).
- Brunet-Rossinni, A. K., & Wilkinson, G. S. (2009). Methods for age estimation and the study of senescence in bats. En T. H. Kunz & S. Parsons (Eds.), *Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats* (2nd Edition, pp. 315–325). Johns Hopkins University Press.
- Bunkley, J. P., McClure, C. J. W., Kleist, N. J., Francis, C. D., & Barber, J. R. (2015). Anthropogenic noise alters bat activity levels and echolocation calls. *Global Ecology and Conservation*, 3, 62–71. <https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2014.11.002>
- Caballero, J. (2012). *Jardines Botánicos contribución a la conservación vegetal de México*.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Cajas-Castillo, J. O., Kraker-Castañeda, C., López-Gutiérrez, J. E., Pérez-Consuegra, S. G., & Grajeda-Godínez, A. L. (2015). *Choeronycteris mexicana* in Guatemala: Temporal occurrence, feeding habits and reproductive activity. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(3), 835–838. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.07.010>
- Calahorra-Oliart, A., Ospina-Garcés, S. M., & León-Paniagua, L. (2021). Cryptic species in *Glossophaga soricina* (Chiroptera: Phyllostomidae): do morphological data support molecular evidence? *Journal of Mammalogy*, 102(1), 54–68. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyaa116>
- Calderón-Acevedo, C. A., Bagley, J. C., & Muchhala, N. (2022). Genome-wide ultraconserved elements resolve phylogenetic relationships and biogeographic history among Neotropical leaf-nosed bats in the genus *Anoura* (Phyllostomidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 167, 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.YMPEV.2021.107356>
- Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y., Romero-Romero, M. A., Guadarrama-Chávez, P., Núñez-Castillo, O., Sánchez-Gallén, I., & Meave, J. A. (2007). *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Aspectos florísticos y ecológicos*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Castillo-Argüero, S., Montes-Cartas, G., Romero-Romero, M. A., Martínez-Orea, Y., Guadarrama-Chávez, P., Sánchez-Gallén, I., & Núñez-Castillo, O. (2004). Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D. F., México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 74, 51–75. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1686>
- CDHDF. (2018). *Crecimiento urbano y derechos humanos en la Ciudad de México*. SECITI.
- Chao, A., Chiu, C. H., & Jost, L. (2014). Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through hill numbers. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 297–324. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091540>
- Cole, F. R., & Wilson, D. E. (2006). *Leptonycteris yerbabuena*. *Mammalian Species*, 797, 1–7.
- CONABIO. (2021). *Resumen de La biodiversidad en la Ciudad de México. Estudio de Estado*.
- CONABIO, & UAEM. (2006). *La Diversidad Biológica en Morelos: Estudio del Estado* (T. Contreras-MacBeath, J. C. Boyás, & F. Jaramillo Monroy (eds.)). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Cornejo-Latorre, C., Rojas-Martínez, A. E., Aguilar-López, M., & Juárez-Castillo, L. G. (2011). Abundancia estacional de los murciélagos herbívoros y disponibilidad de los recursos quiropterófilos en dos tipos de vegetación de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Therya*, 2(2), 169–182. <https://doi.org/10.12933/therya-11-38>

- Couoh-de la Garza, R., Flores-Rojas, E., Briones-Escobedo, N., Hernández-del Angel, E., Martínez-Gallardo, R., & Leyva Aguilera, J. C. (2006). Current records of the mexican long-tongued bat, *Choeronycteris mexicana*, in Baja California, Mexico. *Western North American Naturalist*, 66(2), 265–267.
- Cryan, P. M., & Bogan, M. A. (2003). Recurrence of mexican long-tongued bats (*Choeronycteris mexicana*) at historical sites in Arizona and New Mexico. *Western North American Naturalist*, 63(3), 314–319.
- Diniz, U. M., Lima, S. A., & Machado, I. C. S. (2019). Short-distance pollen dispersal by bats in an urban setting: monitoring the movement of a vertebrate pollinator through fluorescent dyes. *Urban Ecosystems*, 22(2), 281–291. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-0825-7>
- Eguiarte, L., & Burquez, A. (1987). Reproductive Ecology of *Manfreda brachystachya*, an Iteroparous Species of Agavaceae. *The Southwestern Naturalist*, 32(2), 169–178. <https://doi.org/10.2307/3671560>
- Eguiarte, L. E., Jiménez Barrón, O. A., Aguirre-Planter, E., Scheinvar, E., Gámez, N., Gasca-Pineda, J., Castellanos-Morales, G., Moreno-Letelier, A., & Souza, V. (2021). Evolutionary ecology of *Agave*: distribution patterns, phylogeny, and coevolution (an homage to Howard S. Gentry). *American Journal of Botany*, 108(2), 216–235. <https://doi.org/10.1002/AJB2.1609>
- Ellis, E. C. (2015). Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs*, 85(3), 287–331. <https://doi.org/10.1890/14-2274.1>
- ESA. (2023). *The Copernicus Open Access Hub*. <https://scihub.copernicus.eu/>
- Estrella-Ruiz, J. P. (2005). *Biología de la polinización de Agave salmiana Otto & Salm-Dick en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fleming, T. H. (2019). Bat Migration. En J. C. Choe (Ed.), *Encyclopedia of Animal Behavior, Second Edition* (Vol. 3, pp. 605–610). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20764-4>
- Fleming, T. H., Geiselman, C., & Kress, W. J. (2009). The evolution of bat pollination: A phylogenetic perspective. *Annals of Botany*, 104(6), 1017–1043. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp197>
- Fleming, T. H., Nuñez, R. A., & Sternberg, L. D. S. L. (1993). Seasonal changes in the diets of migrant and non-migrant nectarivorous bats as revealed by carbon stable isotope analysis. *Oecologia*, 94, 72–75.
- Galindo G., C., Sánchez Q., A., Quijano, R. H., & Herrera M., L. G. (2004). Population dynamics of a resident colony of *Leptonycteris curasoae* (Chiroptera: Phyllostomidae) in Central México. *Biotropica*, 36(3), 382–391. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1646/03107>
- García Bermúdez, Y. (2018). *Localización y descripción de los refugios urbanos utilizados por murciélagos residentes y su relación con las áreas verdes, en la zona centro-sur de la Ciudad de México, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.
- GDF. (2012). *Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal*. Secretaría del

Medio Ambiente, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal.

- GODF. (2006). *Acuerdo por el que se aprueba el programa de manejo del Área de Valor Ambiental del Distrito Federal, con la categoría de Bosque Urbano denominada “Bosque de Chapultepec”*. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Goldshtein, A., Handel, M., Eitan, O., Bonstein, A., Shaler, T., Collet, S., Greif, S., Medellín, R. A., Emek, Y., Korman, A., & Yovel, Y. (2020). Reinforcement Learning Enables Resource Partitioning in Foraging Bats. *Current Biology*, 30(20), 4096–4102. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.07.079>
- Gómez-Aíza, L., & Zuria, I. (2010). Aves visitantes a las flores del maguey (*Agave salmiana* en una zona urbana del centro de México. *Ornitología Neotropical*, 21, 17–30.
- Gomez-Ruiz, E. P., Jimenez, C., Flores-Maldonado, J. J., Lacher, Jr., T. E., & Packard, J. M. (2015). Conservación de murciélagos nectarívoros (Phyllostomidae: Glossophagini) en riesgo en Coahuila y Nuevo León. *Therya*, 6(1), 89–102. <https://doi.org/10.12933/therya-15-233>
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756–760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
- Hennig, E. I., & Ghazoul, J. (2012). Pollinating animals in the urban environment. *Urban Ecosystems*, 15(1), 149–166. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0202-7>
- Hensley, A. P., & Wilkins, K. T. (1988). *Leptonycteris nivalis*. *Mammalian Species*, 3(307), 1. <https://doi.org/10.2307/3504229>
- Hortelano-Moncada, Y., & Cervantes, F. A. (2011). Diversity of Wild Mammals in a Megalopolis: Mexico City, Mexico. En O. Grillo & G. Venora (Eds.), *Changing Diversity in Changing Environment* (pp. 323–356). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/24450>
- Hortelano-Moncada, Y., Cervantes, F. A., & Rojas-Villaseñor, R. (2016). Riqueza y conservación de los mamíferos silvestres de la Ciudad de México. En M. Briones-Salas, Y. Hortelano-Moncada, G. Magaña-Cota, G. Sánchez-Rojas, & J. E. Sosa-Escalante (Eds.), *Riqueza y Conservación de los Mamíferos en México a Nivel Estatal* (pp. 179–220). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. y Universidad de Guanajuato.
- Hortelano-Moncada, Y., Cervantes, F. A., & Trejo-Ortiz, A. (2009). Mamíferos silvestres de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(2), 507–520. <https://doi.org/10.22201/ib.9786073021616e.2019>
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2022). *iNEXT: iNterpolation and EXTrapolation for species diversity* (3.0.0).
- IBUNAM. (2021). *Colecciones vivas del jardín botánico*. <https://www.ib.unam.mx/ib/unidades-investigacion/jardin-botanico/colecciones-vivas/>
- INEGI. (2015). *Cuaderno estadístico y geográfico de la zona metropolitana del Valle de México*

2014.

- INEGI. (2016). *Conociendo Ciudad de México. Sexta edición.*
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de la Ciudad de México 2017.*
- INEGI. (2021). *Panorama sociodemográfico de Ciudad de México: Censo de Población y Vivienda 2020.*
- Jara-Servín, A. M., Saldaña-Vázquez, R. A., & Schondube, J. E. (2017). Nutrient availability predicts frugivorous bat abundance in an urban environment. *Mammalia*, 81(4), 367–374. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2015-0039>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Jost, L., & González- Oreja, J. A. (2012). Midiendo la diversidad biológica : más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica Lilloana*, 56(1–2), 3–14.
- Jung, K., & Threlfall, C. G. (2016). Urbanisation and Its Effects on Bats — A Global Meta-Analysis. En *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World* (pp. 13–33). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25220-9>
- Jung, K., & Threlfall, C. G. (2018). Trait-dependent tolerance of bats to urbanization: A global meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B*, 285, 1–9. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1222>
- Kingston, T., Frick, W., Kading, R., Leopardi, S., Medellín, R., Mendenhall, I. H., Racey, P., Teresa Shapiro, J., Vicente-Santos, A., Viquez-R, L., & Worledge Authors, L. (2021). *IUCN SSC Bat Specialist Group (BSG) Recommended Strategy for Researchers to Reduce the Risk of Transmission of SARS-CoV-2 from Humans to Bats (v 2.0).*
- Laverty, T. M., & Stoner, K. E. (2022). In search of bachelorettes: Observations of male *Leptonycteris yerbabuena* with dorsal patches across its range. *Therya*, 13(2), 163–170. <https://doi.org/10.12933/therya-22-1146>
- Lepczyk, C. A., La Sorte, F. A., Aronson, M. F. J., Goddard, M. A., MacGregor-Fors, I., Nilon, C. H., & Warren, P. S. (2017). Global patterns and drivers of urban bird diversity. En *Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments* (pp. 13–33). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43314-1_2
- Lewanzik, D., & Voigt, C. C. (2014). Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk. *Journal of Applied Ecology*, 51(2), 388–394. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12206>
- Li, H., & Wilkins, K. T. (2015). Selection of Building Roosts by Mexican Free-Tailed Bats (*Tadarida brasiliensis*) in an Urban Area. *Acta Chiropterologica*, 17(2), 321–330. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2015.17.2.007>
- López, J. A., Lorenzo, C., Barragán, F., & Bolaños, J. (2009). Mamíferos terrestres de la zona lagunar del istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80, 491–505.

- Lot, A., & Cano-Santana, Z. (2009). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Libro Conmemorativo del 25 aniversario de la Reserva Ecológica de Ciudad Universitaria (1983-2008). En *Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Coordinación de la Investigación Científica*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Coordinación de la Investigación Científica, UNAM.
- McDonald, R. I., Marcotullio, P. J., Güneralp, B., Lead, C., McDonald, R. I., Marcotullio, P. J., & Güneralp, B. (2013). Urbanization and Global Trends in Biodiversity and Ecosystem Services. En *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_3
- McKinney, M. L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127(3), 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
- Medellín, R. A., Arita, H. T., & Sánchez H., O. (2008). *Identificación de los Murciélagos de México: Clave de campo* (2a edición).
- Medina Cruz, G. E. (2019). *Respuesta de los ensambles de murciélagos a la urbanización en el sur de México*. Instituto Politécnico Nacional.
- Menchaca, A., Arteaga, M. C., Medellín, R. A., & Jones, G. (2020). Conservation units and historical matrilineal structure in the tequila bat (*Leptonycteris yerbabuenae*). *Global Ecology and Conservation*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01164>
- Morales-Garza, M. R., Arizmendi, M. del C., Campos, J. E., Martínez-García, M., & Valiente-Banuet, A. (2007). Evidences on the migratory movements of the nectar-feeding bat *Leptonycteris curasoae* in Mexico using random amplified polymorphic DNA (RAPD). *Journal of Arid Environments*, 68(2), 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.009>
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1249–1261.
- Müller, N., Ignatieva, M., Nilon, C. H., Werner, P., Zipperer, W. C., Müller, N., Ignatieva, M., Nilon, C. H., Werner, P., & Zipperer, W. C. (2013). Patterns and Trends in Urban Biodiversity and Landscape Design. En *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_10
- Nassar, J. M., Salazar, V. M., Quintero, A., Stoner, K. E., Gómez, M., Cabrera, A., & Jaffé, K. (2008). Seasonal sebaceous patch in the nectar-feeding bats *Leptonycteris curasoae* and *L. yerbabuenae* (Phyllostomidae: Glossophaginae): phenological, histological, and preliminary chemical characterization. *Zoology*, 111, 363–376. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2007.10.006>
- Navarro-Frías, J., González-Ruiz, N., & Álvarez-Castañeda, S. T. (2007). Los mamíferos silvestres de Milpa Alta, Distrito Federal: lista actualizada y consideraciones para su conservación. *Acta Zoológica Mexicana*, 23(3), 103–124.
- Ortega-García, S., Guevara, L., Arroyo-Cabrales, J., Lindig-Cisneros, R., Martínez-Meyer, E.,

- Vega, E., & Schondube, J. E. (2017). The thermal niche of Neotropical nectar-feeding bats: Its evolution and application to predict responses to global warming. *Ecology and Evolution*, 7(17), 6691–6701. <https://doi.org/10.1002/ece3.3171>
- Ortega-García, S., & Saldaña-Vázquez, R. A. (2022). Synthesis of knowledge of the plant diet of nectar-feeding bats of México. *Therya*, 13(3), 335–343. <https://doi.org/10.12933/THERYA-22-1165>
- Ortega, J., & Alarcón-D, I. (2008). *Anoura Geoffroyi* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Mammalian Species*, 818(818), 1–7. <https://doi.org/10.1644/818.1>
- Ortega, J., & Arita, H. T. (1998). Neotropical-Nearctic Limits in Middle America as Determined by Distributions of Bats. *Journal of Mammalogy*, 79(3), 772–783. <https://doi.org/10.2307/1383088>
- Pellón, J. J., Mendoza, J. L., Quispe-Hure, O., Condo, F., & Williams, M. (2021). Exotic Cultivated Plants in the Diet of the Nectar-Feeding Bat *Glossophaga soricina* (Phyllostomidae: Glossophaginae) in the City of Lima, Peru. *Acta Chiropterologica*, 23(1), 107–117. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2021.23.1.009>
- QGIS Development Team. (2023). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project.
- Ramírez-Pulido, J., González-Ruiz, N., Garder, A. L., & Arroyo-Cabrales, J. (2014). List of recent land mammals of Mexico. En *Special Publications of the Museum of Texas Tech University* (Número 63). Museum of Texas Tech University.
- Ramos-H, D., Medellín, R. A., & Morton-Bermea, O. (2020). Insectivorous bats as biomonitor of metal exposure in the megalopolis of Mexico and rural environments in Central Mexico. *Environmental Research*, 185, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109293>
- Riechers-Pérez, A., & Vidal-López, R. (2009). Registros de *Choeronycteris mexicana* (Chiroptera: Phyllostomidae) en Chiapas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(3), 879–882. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2009.003.182>
- Rincón-Vargas, F., Stoner, K. E., Viguera-Villaseñor, R. M., Nassar, J. M., Chaves, Ó. M., & Hudson, R. (2013). Internal and external indicators of male reproduction in the lesser long-nosed bat *Leptonycteris yerbabuenae*. *Journal of Mammalogy*, 94(2), 488–496. <https://doi.org/10.1644/11-MAMM-A-357.1>
- Rivero-Montegudo, J. A., Pellón, J. J., & Williams, M. (2021). Environmental Seasonality Explains Reproductive Timing of Short-Tailed Fruit Bats in a Premontane Forest of Central Peru. *Acta Chiropterologica*, 23(1), 59–69. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2021.23.1.005>
- Rocha, M., Good-Ávila, S., Molina-Freaner, F., Arita, H. T., Castillo, A., García-Mendoza, A., Silva-Montellano, A., Gaut, B. S., Souza, V., & Eguiarte, L. (2006). Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus *Agave*. *Aliso*, 22(1), 329–344. <https://doi.org/10.5642/aliso.20062201.27>
- Rocha, M., Valera, A., & Eguiarte, L. E. (2005). Reproductive ecology of five sympatric *Agave Littaea* (Agavaceae) species in central Mexico. *American Journal of Botany*, 92(8), 1330–

1341. <https://doi.org/10.3732/AJB.92.8.1330>

- Rodríguez-Aguilar, G., Orozco-Lugo, C. L., Vleut, I., & Vazquez, L. B. (2017). Influence of urbanization on the occurrence and activity of aerial insectivorous bats. *Urban Ecosystems*, 20, 477–488. <https://doi.org/10.1007/S11252-016-0608-3/FIGURES/5>
- RStudio Team. (2022). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. RStudio, PBC, Boston, MA.
- Russo, D., & Ancillotto, L. (2015). Sensitivity of bats to urbanization: A review. *Mammalian Biology*, 80(3), 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2014.10.003>
- Rzedowski, J. (1954). Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 8, 59–129.
- Salinas Galicia, R. (2013). *Ipomoea murucoides (Convolvulaceae) como recurso de invierno para Leptonycteris nivalis (Phyllostomidae) en Tepoztlán, Morelos, México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez, O., López-Ortega, G., & López-Wilchis, R. (1989). Murciélagos de la Ciudad de México y sus alrededores. En R. Gío-Argáez, I. Hernández-Ruíz, & E. Sáinz-Hernández (Eds.), *Ecología Urbana* (pp. 141–165). Sociedad Mexicana de Historia Natural.
- SEDEMA. (2015). *Suelo Urbano y Suelo de Conservación*. <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/biodiversidadcdmx/suelos.html>
- SEDEMA. (2018a). *Bosque de Chapultepec*. http://data.sedema.cdmx.gob.mx/bosquedechapultepec/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=28
- SEDEMA. (2018b). *Jardín Botánico*. http://data.sedema.cdmx.gob.mx/bosquedechapultepec/index.php?option=com_content&view=article&id=115&Itemid=122#descripcion
- SEDESOL, CONAPO, & INEGI. (2004). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México*.
- SEMARNAT. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de Flora y Fauna Silvestres - Categorías de Riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de Especies en Riesgo*. Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2019). *Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, ex.* Diario Oficial de la Federación.
- Shlomo, A., Blei, A. M., Parent, J., Lamson-Hall, P., & Galarza Sánchez, N. (2016). *Atlas of Urban Expansion, The 2016 Edition, Volume 1: Areas and Densities*. NYU, UN-Habitat, Lincoln Institute of Land Policy.
- Sikes, R. S., & Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists. (2016). 2016 Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild

- mammals in research and education. *Journal of Mammalogy*, 97(3), 663–688.
<https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw078>
- Simmons, N. B., & Cirranello, A. L. (2022). *Bat Species of the World: A taxonomic and geographic database*.
- SMA. (2012a). *Los bosques urbanos de Chapultepec y San Juan de Aragón: sitios emblemáticos de importancia socioambiental*. SMA.
- SMA. (2012b). *Los Zoológicos de la Ciudad de México*. SMA.
- Solari, S. (2018). *Choeronycteris mexicana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T4776A22042479. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T4776A22042479.en>
- Stone, E. L., Jones, G., & Harris, S. (2009). Street Lighting Disturbs Commuting Bats. *Current Biology*, 19(13), 1123–1127. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.05.058>
- Straube, F. C., & Bianconi, G. V. (2016). Sobre a grandeza e a unidade utilizada para estimar esforço de captura com utilização de redes-de-neblina. *Chiroptera Neotropical*, 8, 150–152.
- Team, R. C. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Trejo-Salazar, R. E., Eguiarte, L. E., Suro-Piñera, D., & Medellín, R. A. (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>
- Trejo-Salazar, R. E., Scheinvar, E., & Eguiarte, L. E. (2015). ¿Quién poliniza realmente los agaves? Diversidad de visitantes florales en 3 especies de *Agave* (Agavoideae: Asparagaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(2), 358–369.
<https://doi.org/10.1016/J.RMB.2015.04.007>
- Tschapka, M., & Dressler, S. (2002). Chiropterophily: On bat-flowers and flower bats. *Curtis's Botanical Magazine*, 19(2), 114–125.
- U.S. Fish and Wildlife Service. (2018). *Species Status Assessment for the Lesser Long-Nosed Bat (Leptonycteris yerbabuenae)*.
- United Nations. (2018). *The World's Cities in 2018—Data Booklet*.
- United Nations. (2019). *World Urbanization Prospects 2018: Highlights*. United Nations.
- Valiente-Banuet, A., Arizmendi, M. D. C., Rojas-Martínez, A., & Domínguez-Canseco, L. (1996). Ecological relationships between columnar cacti and nectar-feeding bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 12(1), 103–119. <https://doi.org/10.1017/S0266467400009330>
- Velasco Bautista, E., Cortés Barrera, E. N., González Hernández, A., Moreno Sánchez, F., & Benavides Meza, H. M. (2013). Diagnóstico y caracterización del arbolado del Bosque de San Juan de Aragón. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 102–111.
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S-PLUS* (4th ed.). Springer.
- Villalpando-Rosaldo, J. A. (2006). *Dinámica poblacional de Leptonycteris yerbabuenae en el*

centro de México. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Voigt, C. C., Scholl, J. M., Bauer, J., Teige, T., Yovel, Y., Kramer-Schadt, S., & Gras, P. (2020). Movement responses of common noctule bats to the illuminated urban landscape. *Landscape Ecology*, 35(1), 189–201. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00942-4>