



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA
EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES

(PATRONES DE BIODIVERSIDAD DEL NEOTRÓPICO)

RESPUESTA DE LOS ENSAMBLES DE MURCIÉLAGOS A LA
URBANIZACIÓN EN EL SUR DE MÉXICO.

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS

QUE PRESENTA:

Biol. Gabriela Elena Medina Cruz

DIRECTOR DE TESIS:

DR. MIGUEL ÁNGEL BRIONES SALAS



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca siendo las 11:00 horas del día 20 del mes de marzo del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR OAXACA para examinar la tesis titulada:

"Respuesta de los ensambles de murciélagos a la urbanización en el sur de México"

Presentada por el alumno:

Medina
Apellido paterno
Nombre(s) Gabriela Elena

Cruz
Apellido materno

Con registro:

A	1	7	0	4	7	4
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales


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

LA COMISIÓN REVISORA


Director(a) de tesis


Dr. Miguel Ángel Briones Salas


M. en C. Gladys Isabel Manzanero Medina


M. en C. Graciela Eugenia González Pérez


M. en C. Javier Enrique Sosa Escalante

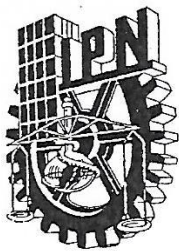

Dr. Matthias Rös

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez



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



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca el día 27 del mes de mayo del año 2019, el (la) que suscribe **Medina Cruz Gabriela Elena** alumno(a) del Programa de Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales con número de registro A170454, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Miguel Ángel Briones Salas y cede los derechos del trabajo intitulado "**Respuesta de los ensambles de murciélagos a la urbanización en el sur de México**", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección biol_medina@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.




CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
Gabriela Elena Medina Cruz C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

Nombre y firma

Índice

Agradecimientos	8
Abstract	9
Resumen	10
Introducción.....	12
Métodos	14
Área de estudio	14
Colecta de datos.....	17
Índice de vegetación de diferencia normalizada	18
Variables ambientales	19
Análisis de datos	19
Resultados	21
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	21
Registro de especies y esfuerzo de muestreo.....	22
Diversidad	26
Análisis de escalamiento multidimensional no métrico	29
Modelos lineales generalizados mixtos	33
Discusión.....	35
Literatura citada	40

Índice de Figuras

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.....	16
Figura 2. Curvas de acumulación de especies.....	27
Figura 3. Curvas de rango abundancia.....	28
Figura 4. Análisis de diversidad.....	29
Figura 5. Análisis NMDS.....	30
Figura 6. Grafica de riqueza y relación con temperatura.....	31
Figura 7. Grafica de riqueza y relación con el ruido.....	32
Figura 8. Grafica de riqueza y relación con la iluminación.....	32
Figura 9. Diagrama análisis de componentes principales.....	34

Índice de cuadros

Cuadro. 1 Variables ambientales registradas	22
Cuadro. 2 Esfuerzo de muestreo	25
Cuadro 3 Especies de murciélagos registradas	26
Cuadro 4 Coeficientes de correlación variables ambientales.....	31
Cuadro 5 Valores del análisis de componentes principales.....	34
Cuadro 6. Modelos lineales generalizados.....	35

Agradecimientos

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR – Oaxaca, IPN), al Museo Infantil de Oaxaca (MIO) por permitirnos trabajar en sus instalaciones, a los municipios de Cuilapam de Guerrero, Santa Cruz Xoxocotlán, Centro, Villa de Zaachila y la Agencia Municipal de San Miguel Tlanichico. A CONACYT, BEIFI de IPN y COFAA (Comisión de Operación y Fomento a las Actividades Académicas) por el apoyo financiero brindado. A los miembros de mi comité tutorial por sus valiosas aportaciones para mejorar este trabajo, al Dr. Miguel Ángel Briones Salas, Dr. Emilio Martínez Ramírez, Dr. Matthias Rös, M. en C. Javier Enrique Sosa Escalante, M. en C. Graciela Eugenia González Pérez, M. en C. Gladys Isabel Manzanero Medina. También agradezco a la Dra. Margarita García Luis por compartir sus conocimientos sobre el detector Avisofth, al M. en C. Mario César Lavariega Nolasco y M. en C. Carlos Alberto Masés García por las revisiones al documento así como el apoyo con los análisis. Finalmente agradezco, a Andrea Yureni Pinacho García, Héctor David Tamayo Martínez, Juan Mario Altamirano Ríos, José Manuel Medina Cruz, Yesenia Gutiérrez por apoyarme en mi trabajo de campo y a mis padres por alentarme siempre. Sin ustedes esta investigación no habría sido posible.

Respuesta de los ensambles de murciélagos a la Urbanización en el sur de México.

Gabriela Elena Medina Cruz

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

Abstract

Urbanization is one of the most important threats to the survival of bats in the world. However, very little is known about the impact of factors associated with urbanization such as noise and lighting. In this study, the response of bats to urbanization was analyzed in a disturbance gradient. Considering the role of bats as indicators of habitat disturbance, it was hypothesized that the greatest diversity of bat species is in places far from the city, while in urbanized sites diversity is lower. It is also considered that the sites within the city will present a greater abundance of species with high tolerance to disturbance (e.g. frugivores) and those that are favored with factors such as lighting. In the study area, four sites with different levels of disturbance were selected, classified by vegetation indexes, number of inhabitants and territorial extension. Each site was visited one night a month from January to August 2018, covering the rainy and dry seasons. In each of these sites and during each sampling period, environmental variables were determined as: temperature, noise and lighting. In the same way, bats were captured through mist nets and acoustic monitoring sessions were carried out to complement the inventory. For each site we made species

accumulation curves, we obtained diversity indexes using Hill numbers and we generated abundance interval curves. On the other hand, a non-metric multidimensional scaling analysis (NMDS) was performed to determine the similarity of species between sites. The data was analyzed using generalized linear models. A sampling effort of 36 864 meters per hour (mxh) was obtained, with both methods 20 species belonging to five families (Emballonuridae, Mormoopidae, Molosidae, Vespertilionidae and Phyllostomidae) were recorded. The non-metric multidimensional scaling analysis obtained a stress value under 0.17 which indicates that the sites have similar conditions, there is overlap of species between them. The results show that in places with less disturbance (illumination) greater richness was obtained (eleven species), the linear models showed statistically significant values for the variables, noise, temperature and illumination $P < 0.001$. Despite the high tolerance of frugivorous bats to the disturbance, a low number of captures was obtained in sites within the city, it is likely that the high luminosity makes them vulnerable to predators.

Keywords: Oaxaca City, Chiroptera, diversity, luminosity, linear models, noise, NMDS

Resumen

La urbanización es una de las amenazas más importantes para la supervivencia de la fauna silvestre en el mundo. Sin embargo, se conoce poco sobre el impacto de factores asociados a la urbanización como el ruido y la iluminación en los murciélagos. En este estudio, se analizó la respuesta de los murciélagos a la urbanización en un gradiente de perturbación en ambientes urbanos y suburbanos en los alrededores de la ciudad de Oaxaca, al sur de México. Considerando el rol de los murciélagos como indicadores de la perturbación del hábitat, se planteó la hipótesis que la mayor diversidad de especies de murciélagos está en

sitios alejados de la ciudad, mientras que en sitios urbanizados la diversidad es menor. Se considera también que los sitios dentro de la ciudad presentarán mayor abundancia de especies con alta tolerancia a la perturbación (e.g. frugívoros) y aquellas que se ven favorecidas con factores como la iluminación. En el área de estudio se seleccionaron cuatro sitios con distinto nivel de perturbación, se clasificaron mediante índices de vegetación, número de habitantes y extensión territorial. Cada sitio se visitó una noche al mes de enero a agosto de 2018, cubriendo las temporadas de lluvias y secas. En cada uno de estos sitios y durante cada periodo de muestreo, se determinaron variables ambientales como: temperatura, ruido e iluminación. De igual forma se capturaron murciélagos mediante redes de niebla y se realizaron sesiones de monitoreo acústico para complementar el inventario. Para cada sitio realizamos curvas de acumulación de especies, obtuvimos índices de diversidad utilizando números de Hill y generamos curvas de intervalo abundancia. Por otro lado, se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) para determinar la similitud de especies entre sitios. Los datos se analizaron mediante modelos lineales generalizados. Se obtuvo un esfuerzo de muestreo de 36 864 metros red por hora (mxh) , con ambos métodos se registraron 20 especies pertenecientes a cinco familias (Emballonuridae, Mormoopidae, Molosidae, Vespertilionidae y Phyllostomidae). El análisis de escalamiento multidimensional no métrico obtuvo un valor de estrés bajo 0.17 lo que indica que los sitios tienen condiciones similares, existe traslape de especies entre ellos. Los resultados muestran que en sitios con menor perturbación (iluminación) se obtuvo mayor riqueza (once especies), los modelos lineales mostraron valores estadísticamente significativos para las variables, ruido, temperatura e iluminación $P < 0.001$. A pesar de la alta tolerancia de los murciélagos frugívoros a la perturbación, se obtuvo un número bajo

de capturas en sitios dentro de la ciudad, es probable que la alta luminosidad los vuelva vulnerables a los depredadores.

Palabras clave: Ciudad de Oaxaca, Chiroptera, diversidad, luminosidad, modelos lineales, NMDS, ruido.

Introducción

La urbanización es un proceso que provoca alteraciones en el paisaje, convirtiendo los hábitats naturales en una amplia variedad de microhábitats (Durán-Barrón et al., 2009), esta provoca efectos negativos sobre las comunidades bióticas (Niemelä, 1999). La característica principal de la urbanización es la pérdida y fragmentación del hábitat como resultado de la actividad humana y se considera la mayor amenaza para la biodiversidad a nivel mundial (Hanski *et al.*, 1996; Sala *et al.*, 2000; Gurd *et al.*, 2001; Gibbs, 2001). La fragmentación y urbanización de hábitats modifican la abundancia y riqueza de especies (Savard *et al.*, 2000; Fahrig, 2001). Los sitios urbanos con alta densidad humana se caracterizan por fauna no nativa y especies introducidas (Gilbert, 1989). La pérdida de especies y reducción de los niveles tróficos puede actuar de forma aditiva y sinérgica con otros impactos antropogénicos, como el cambio climático, el cambio de uso del suelo y la contaminación (Estes *et al.*, 2011). Diversas investigaciones se han enfocado en el impacto de la fragmentación en los murciélagos (Fenton *et al.*, 1992; Wilson *et al.*, 1996; Medellín *et al.*, 2000); sin embargo, poco se sabe sobre el efecto que los factores asociados a la urbanización como ruido e iluminación tienen en estos organismos, especialmente en sitios con alta diversidad como el sureste de México. La fragmentación provocada por la urbanización a menudo se ha descrito como perjudicial para los murciélagos, cuyos efectos varían según la especie e incluso algunas pueden explotar con éxito las áreas urbanas

(Threlfall *et al.*, 2012; Russo y Ancillotto, 2015). En general, algunas especies de murciélagos son muy sensibles a la urbanización, aunque la magnitud y la dirección de los efectos dependen de la escala del análisis. Por ejemplo, a medida que la urbanización incrementa, disminuye la riqueza de especies sensibles a la perturbación y aumenta la dominancia de especies tolerantes (Russo y Ancillotto, 2015).

Los patrones de actividad de los murciélagos están determinados por variables ambientales como temperatura, ruido, iluminación, precipitación y luz (Erickson y West, 2002; Lewanzik y Voigt, 2014). Estas variables afectan la disponibilidad de recursos y la diversidad de especies. La temperatura cálida beneficia a los murciélagos debido a diversos factores como la mayor disponibilidad de alimentos, un parto más temprano, un desarrollo más rápido de los juveniles y la dispersión (Mello y Silva 2009; Sherwin *et al.*, 2013). Los murciélagos se ven afectados por el ruido generado por el humano, debido a que puede enmascarar señales acústicas relevantes, incidiendo en la “escucha pasiva” de las especies (Schaub *et al.*, 2008; Barber y Crooks, 2010).

La contaminación lumínica ecológica tiene efectos negativos y positivos en la orientación, desorientación y atracción o repulsión del entorno de luz alterada, forrajeo, reproducción, migración y comunicación (Longcore y Rich, 2004). Si bien la contaminación lumínica es una amenaza para la conservación de los murciélagos (Stone *et al.*, 2009), algunas especies del gremio insectívoro parecen haberse especializado en sitios iluminados artificialmente (Russo y Ancillotto, 2015).

Debido a su alta capacidad de desplazamiento los murciélagos son el segundo grupo de mamíferos más abundante en sitios urbanos, después de los roedores. La plasticidad de algunas especies del gremio frugívoro e insectívoro, les permite adaptarse y sobrevivir en sitios altamente modificados, lo que los convierte en el grupo ideal para analizar los efectos

de la urbanización. Este grupo taxonómico es importante ecológicamente porque algunas de sus especies son indicadoras de la salud del ecosistema, regulan procesos ecosistémicos (control de especies plaga, polinización y dispersión de semillas, entre otros) y mantienen los tamaños poblacionales de otras especies con las cuales interactúan. Es posible que los efectos antropogénicos sobre la cobertura vegetal, temperatura, luminosidad y ruido influyen en el establecimiento de comunidades de murciélagos en sitios urbanos y suburbanos de la ciudad de Oaxaca al sur de México.

Es posible que la mayor diversidad de especies de murciélagos esté en sitios alejados de la ciudad, mientras que en sitios menos urbanizados la diversidad sea mayor. Se considera que sitios dentro de la ciudad presentan mayor abundancia de especies con alta tolerancia a la perturbación (e.g. frugívoros) y aquellas favorecidas con factores como la iluminación. Se espera que sitios conservados estén inmersos en una matriz menos transformada y viceversa, que sitios poco conservados están inmersos en una matriz dominada por zonas agrícolas, ganaderas o urbanas. Los resultados de este estudio brindaran un enfoque novedoso para la comprensión de los efectos en cascada y las consecuencias ecológicas que ocasiona la urbanización en la fauna silvestre.

Métodos

Área de estudio

La ciudad de Oaxaca de Juárez, estado de Oaxaca, se ubica al sur de México. Se localiza en la subprovincia fisiográfica Valles Centrales de Oaxaca, la cual se caracteriza por un sistema escalonado de llanuras (Ortiz *et al.*, 2004) (Fig.1). Se seleccionaron cuatro sitios de estudio: la Ciudad de Oaxaca como área urbana (Sitio 1); Santa Cruz Xoxocotlán

como área urbana media (Sitio 2); Cuilapam de Guerrero como área semiurbana (Sitio 3) y Villa de Zaachila como área rural (Sitio 4). El clima va de árido seco a cálido subhúmedo; la temperatura media anual va de 18 a 22 °C y la precipitación promedio anual es de 500 a 800 mm (Trejo, 2004). Los Valles Centrales de Oaxaca se encuentran en la porción central del estado, con una extensión de 330,495 hectáreas con diversos tipos de vegetación como bosque tropical caducifolio, matorral xerófilo, bosques de Quercus, bosques de Pinus y bosques de Pinus-Quercus (Torres, 2004).

Los cuatro sitios representan un gradiente de perturbación (Sitio 1, 2, 3 y 4), cada uno con dos subsitios para el registro de las especies, cuya selección se realizó mediante la aplicación de buffers, cada uno con un radio de 0 km (Sitio 1), 5 km (Sitio 2), 10 km (Sitio 3) y 15 km (Sitio 4) en el programa Google Earth® (Fig. 1).

Sitio 1. Ciudad de Oaxaca: Cuenta con una superficie total de 86.69 km², con una altitud promedio de 1550 msnm y una temperatura media anual de 22 °C. Cuenta con 264 mil 251 habitantes por lo que de acuerdo con la clasificación del INEGI se le considera sitio urbano grande, donde el uso de suelo se distribuye en 25.9% agricultura, 0.9% pastizal, 34.9% vegetación secundaria y 38.3% áreas urbanas (INEGI, 2010, 2013).

Sitio 2. Santa Cruz Xoxocotlán: Cuenta con una superficie total de 48.09 km², con una temperatura promedio anual de 20.4 °C, una altitud promedio de 1530 msnm. El uso de suelo se distribuye en agricultura 63.79% y pastizal 20.27% de la superficie municipal. El municipio cuenta con una población de 77,833 habitantes, que de acuerdo con el criterio del INEGI, el territorio municipal tiene tanto zonas consideradas urbanas grandes y urbanas medias (INEGI, 2010, 2013).

Sitio 3. Cuilapam de Guerrero: La superficie total del municipio es de 48.66 Km², con una temperatura promedio anual de 20.4 °C, una altitud promedio de 1560 msnm. El

uso de suelo se distribuye en agricultura 58.98%, pastizal inducido 17.42%, bosque 6.97% y zona urbana 16.63%. El municipio cuenta con una población de 21,597 habitantes, con zonas semi urbanas y rurales (INEGI, 2010, 2013).

Sitio 4. Villa de Zaachila: La superficie total del municipio es de 81.69 Km², con una temperatura promedio anual de 20 °C, una altitud promedio de 1552 msnm. El uso de suelo se distribuye en agricultura 62.95%, pastizal 23.03%, bosque 11.42% y otro 2.60%. El municipio cuenta con una población de 43,279 habitantes; la cabecera municipal considera zona urbana y el resto son rurales (INEGI, 2010, 2013).

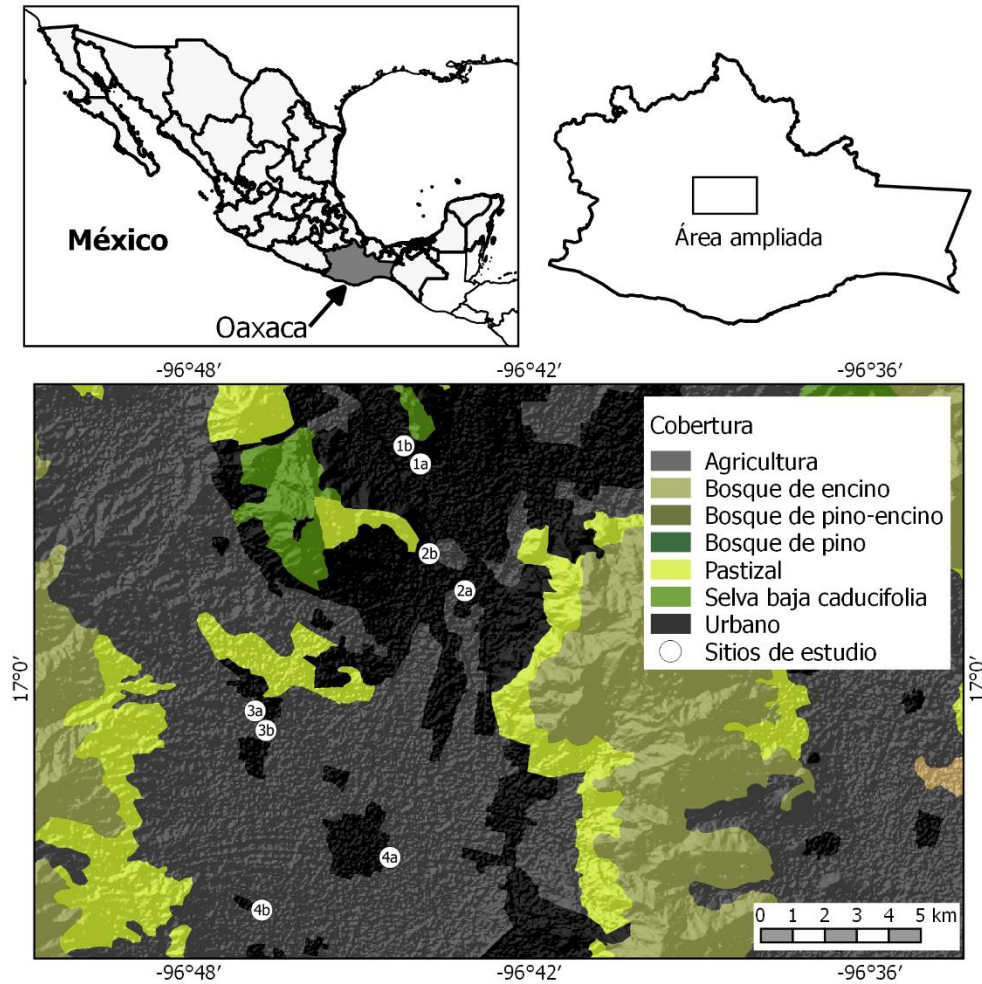


Figura. 1. Localización geográfica de los cuatro sitios de estudio, con una separación de 5, 10 y 15 km de distancia.

Colecta de datos

En los cuatro sitios se realizaron visitas mensualmente, de enero a agosto 2018, una noche por sitio. El muestreo abarcó la temporada seca (enero-abril) y la temporada de lluvias (mayo-septiembre). Para el registro de los murciélagos se utilizaron dos técnicas: a) Captura por medio de redes de niebla y b) Monitoreo acústico.

Para la captura de murciélagos se utilizaron seis redes de niebla (12 x 2.6 m, con una apertura de malla de 2 x 2 cm), fueron colocadas cerca de árboles, caminos, carreteras, parques urbanos y construcciones, se evitaron días con luna llena, las redes permanecieron abiertas ocho horas a partir del crepúsculo vespertino y hasta las 02:00 horas, las redes se revisaron cada hora (Cuadro 2). De los murciélagos capturados se obtuvieron datos morfológicos como largo total, tamaño del antebrazo, largo de oreja, de pata y de cola vertebral; se determinó su edad en relación a la osificación de falanges y la condición reproductiva en machos fue de acuerdo a la posición de los testículos (escrotados para activos o inguinales para inactivos) y en hembras fue por palpación directa sobre el abdomen (preñadas, no preñadas), lactantes y post-lactantes (desarrollo de los pezones) (Vargas-Contreras *et al.*, 2008). Para la determinación taxonómica se utilizó la guía de Medellín *et al.* (2008) y para la ubicación taxonómica se siguió a Ramírez-Pulido *et al.* (2014). La captura de ejemplares se realizó bajo el permiso y autorización de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (FAUT-0037) otorgada a Miguel Ángel Briones Salas. Todos los ejemplares fueron manipulados de acuerdo a la guía de la Sociedad Americana de Mastozoología (ASM por sus siglas en inglés) para el uso de vida silvestre para investigación. La mayor parte de los ejemplares fueron liberados en el mismo sitio de su captura; los colectados para corroborar identificación, fueron depositados como

ejemplares voucher en la Colección Mastozoológica del CIIDIR, Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional (OAX.MA.026.0497).

Para obtener un registro completo de las especies presentes en los sitios, se realizaron sesiones de monitoreo acústico, utilizando el detector AvisoftUltraSoundGate116Hm mediante el método de grabación pasiva, el detector fue activado de cinco a diez minutos cada hora a partir de las 18:00 hasta las 02:00 horas, con la sensibilidad ajustada a un nivel alto, las grabaciones se realizaron en días con condiciones ambientales favorables (noches sin lluvia o poco viento). Las grabaciones obtenidas se analizaron mediante el programa BatSound Ver. 4.2, se separaron los archivos que contenían llamados/firmas vocales (sonido de alta frecuencia que emiten a través de las narinas o la boca) para su posterior identificación mediante espectrogramas obtenidos por García-Luis y Briones-Salas (2017).

Índice de vegetación de diferencia normalizada

El grado de perturbación de los sitios se caracterizó con base en la clasificación de los valores de referencia del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y la clasificación realizada por López-Pérez *et al.* (2015) donde identifiqué tres tipos de cobertura y cuyos valores van de 0.01-0.1 suelo sin vegetación, 0.1-0.2 vegetación ligera, 0.2-0.4 vegetación mediana y >0.4 vegetación alta. El NDVI se obtuvo mediante el programa Qgis® e imágenes satelitales Landsat 8, para la temporada seca se utilizó la capa con fecha 18/04/2018 y para la temporada de lluvias 5/06/2018. El valor del NDVI se obtuvo mediante la ecuación $NDVI = \frac{IRC-R}{IRC+R}$ donde NDVI es el índice de vegetación de diferencia

normalizada; IRC y R corresponden a las bandas infrarojo cercano banda 4 y rojo banda 5 (Acosta Mireles *et al.*, 2017).

Variables ambientales

Cada hora a partir de la colocación de las redes, en cada sitio se registraron las condiciones ambientales que han sido reportadas con efecto en la actividad de murciélagos. La temperatura se registró con una Estación climática portátil Krestel^(R); La iluminación se registró la cantidad de luz mediante un luxómetro marca Uni-T® cuyo intervalo de medición oscila entre 0-200 000 luxes; El ruido se registró mediante un sonómetro marca Benetech® cuyo intervalo de medición va de los 30 a los 130 decibeles audibles. Los datos utilizados para cada periodo de muestreo en cada sitio fueron los promedios de cada una de las variables medidas.

Análisis de datos

Los resultados del NDVI se agruparon para constatar: (i) la existencia o no de diferencias entre temporadas seca (enero-abril) y lluviosa (mayo-agosto) (ii) por sitio (1, 2, 3 y 4). Las comparaciones del NDVI se realizaron con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, las rutinas de cada análisis se realizaron con un nivel de significancia $P \leq 0.05$ utilizando el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2018).

El esfuerzo de captura se calculó multiplicando los metros de red desplegadas por las horas que permanecieron abiertas las redes (mxh). La riqueza específica observada se calculó con el número de especies presentes en cada sitio (Magurran, 1988) y se estimó la completitud del inventario con curvas de interpolación-extrapolación basado en individuos,

con un 95% de intervalos de confianza. El procedimiento se basa en un marco estadístico unificado que traza la curva de acumulación de especies unificada de acuerdo al número máximo de individuos en la etapa con mayor abundancia de murciélagos. Calculamos las curvas de acumulación de especies, las extrapolaciones y la desviación estándar con el programa iNEXT (Chao *et al.*, 2016).

Para el análisis cuantitativo y cualitativo de la composición de la comunidad a través del método con redes se realizaron curvas de intervalo de abundancia, para comparar gráficamente los cambios en presencia y abundancia de especies en los sitios (Magurran, 2007). La diversidad de cada sitio (diversidad alfa) se calculó con los números de Hill. Estos números son de orden 0 (0D), cuyo valor equivale a la riqueza de especies, de orden 1 (1D) todas las especies son incluidas con un peso exactamente proporcional a su abundancia en la comunidad, y orden 2 (2D) considera a las especies comunes y resta peso a las raras para todos los sitios por especie, con el programa SPADE (Chao y Sen, 2010; Moreno *et al.*, 2011).

Para evaluar diferencias en la composición de especies, se aplicó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) con el índice Bray-Curtis, mediante la presencia-ausencia de especies en los sitios, este análisis es considerado uno de los métodos de ordenación más robustos en la ecología de comunidades (McCune *et al.*, 2002). El análisis se realizó por sitios mediante el paquete vegan en el programa R studio (Team, R, 2015).

Se analizó la relación de los registros de murciélagos por sitio y temporada (utilizando los métodos de redes y el acústico para el caso de la riqueza de especies, y solamente los registros del monitoreo con redes para el caso de las abundancias) con las

variables ambientales (temperatura, ruido e iluminación), utilizando análisis de regresión lineal y el coeficiente de correlación de Pearson (r).

Las capturas mensuales se relacionaron con las variables ambientales usando modelos lineales generalizados (MLG) con la función de enlace Poisson y el estadístico LSD Fisher para categorizar los sitios con mayor significancia. Para determinar que variable influía más en los modelos, se realizó un análisis de componentes principales con variables cuantitativas continuas. La selección de los modelos se realizó mediante el criterio de información de Akaike (AIC) este criterio permite cuantificar la idoneidad de los modelos, a menor valor AIC, mejor se ajusta el modelo (Martínez *et al.*, 2009). Los análisis estadísticos se realizaron en el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2018).

Resultados

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El valor promedio del NDVI durante la temporada seca para los cuatro sitios fue de $\bar{X}=0.16 \pm 0.04$, la temporada de lluvia obtuvo un valor mayor de $\bar{X}=0.21 \pm 0.06$; sin embargo, no hubo diferencia significativa ($H= 2.65$; $p=0.10$), el valor de ambas temporadas indica vegetación ligera en el área de estudio. El sitio 1 obtuvo los valores más bajos del NDVI con un valor promedio de $\bar{X}=0.09 \pm 0.02$ durante la temporada seca, lo que está clasificado como suelo sin vegetación, en temporada de lluviosa se obtuvo un valor promedio de $\bar{X}=0.11 \pm 0.03$ (vegetación ligera). El sitio 3 obtuvo un valor más elevado para el NDVI, el promedio durante la temporada seca fue de $\bar{X}=0.23 \pm 0.05$, mientras que para la temporada lluviosa fue ligeramente mayor ($\bar{X}=0.28 \pm 0.05$); ambos valores indican cobertura con vegetación mediana, no se observó diferencia estadística significativa entre sitios ($H= 6$; $p=0.10$, Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables ambientales y valores obtenidos del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) entre sitios y temporadas. Siglas: Sin vegetación (SV), Vegetación ligera (VL), Vegetación mediana (VM), Temperatura (T^a), Ruido (R), Iluminación (I), grados centígrados (°C), decibeles audibles (dBa), promedio (\bar{X}), desviación estándar (SD), Los valores de T^a, R e I, corresponden a los valores promedios durante todo el estudio.

Sitio	Sub sitio	SECAS		LLUVIAS		Clasificación		T ^a	R	I
		\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	Secas	Lluvias	°C	dBa	Lux
1	1	0.16	0.06	0.20	0.07	VL	VL	24	58	34.5
	2	0.09	0.02	0.11	0.03	SV	VL			
2	1	0.20	0.03	0.23	0.03	VL	VM	22	51	8.7
	2	0.13	0.03	0.15	0.04	VL	VL			
3	1	0.16	0.03	0.22	0.05	VL	VM	20	50	1.6
	2	0.23	0.05	0.28	0.05	VM	VM			
4	1	0.20	0.05	0.28	0.08	VL	VM	22	52	4.4
	2	0.18	0.03	0.26	0.04	VL	VM			

Registro de especies y esfuerzo de muestreo

Con ambos métodos se registraron cinco familias: Emballonuridae, Mormoopidae, Molosidae, Vespertilionidae y Phyllostomidae (20 especies). Del total de especies registradas, 58% corresponde al gremio de los insectívoros, 21% frugívoros, 16%

polinívoros y una especie hematófaga. *Leptonycteris yerbabuena* y *Choeronycteris mexicana* son especies consideradas como vulnerables (IUCN, 2019).

En el sitio 1 se registraron seis especies, dominado por el gremio insectívoro, la especie *Molossus rufus* obtuvo el 31% de las capturas. En el sitio 2 se capturaron 12 especies, dominado principalmente por el gremio frugívoro (88%). En el sitio 3 se obtuvo una riqueza de 13 especies dominada de igual manera por el gremio frugívoro (62%). Finalmente, el sitio 4 presentó una riqueza de diez especies nuevamente dominado por el gremio de los frugívoros (79%).

Con el muestreo con redes se registró el 56% del total de las especies, mientras que con el muestro acústico se obtuvo el 44%. Durante la temporada de lluvias se obtuvo el mayor éxito de captura con ambos métodos, el 60% de las especies fueron registradas durante esta temporada (Cuadro 2).

Con el método de redes, se realizó un esfuerzo de muestreo de 36,864 metros red, repartidas en 4 sitios y 64 noches, se capturaron 157 murciélagos pertenecientes a 14 especies y cuatro familias: Phyllostomidae (nueve especies), Molossidae (tres especies), Vespertilionidae (una especie) y Mormoopidae (una especie). Las especies más abundantes fueron *Sturnira hondurensis*, *Artibeus jamaicensis* y *Artibeus lituratus*, el 86% de los individuos pertenecen al gremio de frugívoros (Phyllostomidae). Se capturó un número mayor de individuos durante la temporada seca (72% del total de capturas); sin embargo, no se registraron especies como *Hylonycteris underwoodi* y *Anoura geoffroy*; durante la temporada de lluvias no se obtuvieron registros de *C. mexicana*, *Lasiurus ega*, *L. yerbabuena*, *Mormoops megalophylla* y *Nyctinomops laticaudatus*.

En el sitio 1 se capturaron tres especies, dominado por el gremio insectívoro, la especie *M. rufus* obtuvo el 40% de las capturas. En el sitio 2 se capturaron siete especies,

dominado principalmente por el gremio frugívoro (96%). En el sitio 3 se obtuvo una riqueza de seis especies dominada de igual manera por el gremio frugívoro (78%). El sitio 4 presentó una riqueza de siete especies nuevamente dominada por el gremio de los frugívoros (82%). El mayor número de capturas se obtuvo en el sitio 2 (n=82), seguido por los sitios 4 (n=39) y 3 (n=27), el sitio 1 obtuvo un total de n=10 individuos.

Mediante el método acústico, se obtuvieron 1285 llamados pertenecientes a ocho especies de cuatro familias: Emballonuridae (una especie), Molossidae (dos especies), Mormoopidae (una especie) y Vespertilionidae (cuatro especies), La especie con el mayor número de registros fue *M. rufus*, con el 38% del total de llamados, seguida por *Tadarida brasiliensis* con el 29% del total de llamados (Cuadro 2). Durante la temporada de lluvias se obtuvo el 60% de los registros, en esta temporada no se registró la especie *Pteronotus davyi*, en temporada seca no se obtuvo registros de *Myotis sp.*

En el sitio 1 se registraron tres especies, la especie *M. rufus* obtuvo el 50% de los registros. En el sitio 2 se registraron cinco especies, *T. brasiliensis* obtuvo el 64% del total de los registros. En el sitio 3 se obtuvo una riqueza de siete especies dominada por la especie *M. rufus* 62%. El sitio 4 presentó una riqueza de tres especies, *L. ega* obtuvo el 78% del total de llamados. El mayor número de registros se obtuvo en el sitio 3 (n=69), seguido por los sitios 2 (n=30) y 4 (n=18), finalmente el sitio 1 obtuvo un total de n=8 registros.

Cuadro 2. Esfuerzo de muestreo aplicado en la captura de murciélagos con el método de redes en cuatro sitios urbanos y semiurbanos en Oaxaca, México.

Esfuerzo de muestreo	Total	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
Meses	8	8	8	8	8
Número de redes	6	6	6	6	6
Metros red	72	72	72	72	72
Noches	64	16	16	16	16
Horas de muestreo	512	128	128	128	128
Esfuerzo (m×h)	36 864	9216	9216	9216	9216
Número de individuos	157	10	81	27	39
Riqueza	13	3	7	6	7

Cuadro 3. Especies de murciélagos registradas en área urbanas y suburbanas en el sur de México. Tipo de registro: Acústico^A (llamados); Redes^R (individuos). Siglas: Gremio (G), Insectívoro (I), Frugívoro (F), Polinívoros (P), Hematófago (H), Menor preocupación (LC), Casi amenazado (NT), No evaluado (NE), Lluvias (LL), Secas (S), No amenazada (NA), Amenazada (A), Desconocido (D).

Familia <i>Especie</i>	G	Sitio 1		Sitio 2		Sitio 3		Sitio 4		IUCN	NOM-059
		LL	S	LL	S	LL	S	LL	S		
Emballonuridae <i>Balantiopetys plicata</i>	I	46 ^A	0	44 ^A	7 ^A	0	7 ^A	0	0	LC	NA
Mormoopidae <i>Mormoops megalophylla</i>	I	0	0	0	1 ^R	0	0	0	0	LC	NA
<i>Pteronotus davyi</i>	I	0	0	0	0	0	8 ^A	0	55 ^A	LC	NA
Molossidae <i>Molossus rufus</i>	I	22 ^A	24 ^A ,4 ^R	4 ^A	0	137 ^A	198 ^A	0	0	LC	NA

<i>Nyctinomops laticaudatus</i>	I	0	0	0	0	0	3 ^R	0	0	LC	NA
<i>Molossus molossus</i>	I	0	0	0	0	0	2 ^R	0	0	LC	NA
<i>Tadarida brasiliensis</i>	I	16 ^A	0	88 ^A	7 ^A	147 ^A	38 ^A	0	0	LC	NA
Vespertilionidae <i>Lasiurus ega</i>	I	0	0	47 ^A	0	0	0	104 ^A	1 ^R 143 ^A	LC	NA
<i>Myotis sp</i>	I	0	0	10 ^A	0	18 ^A	0	16 ^A	0	D	D
<i>Lasiurus blossevilli</i>	I	0	0	0	0	44 ^A	15 ^A	0	0	LC	NA
<i>Lasiurus intermedius</i>	I	0	0	0	0	32 ^A	8 ^A	0	0	LC	NA
Phyllostomidae <i>Artibeus lituratus</i>	F	0	3 ^R	5 ^R	20 ^R	2 ^R	6 ^R	6 ^R	1 ^R	LC	NA
<i>Artibeus Jamaicensis</i>	F	2 ^R	1 ^R	6 ^R	18 ^R	1 ^R	6 ^R	8 ^R	3 ^R	LC	NA
<i>Sturnira hondurensis</i>	F	0	0	22 ^R	5 ^R	1 ^R	5 ^R	0	14 ^R	LC	NA
<i>Choeronycteris mexicana</i>	P	0	0	0	2 ^R	0	0	0	0	NT	A
<i>Leptonycteris yerbabuenae</i>	P	0	0	0	2 ^R	0	0	0	0	NT	A
<i>Sturnira parvidens</i>	F	0	0	0	1 ^R	0	0	1 ^R	0	NE	NA
<i>Anoura geoffroy</i>	P	0	0	0	0	0	0	1 ^R	0	LC	NA
<i>Desmodus rotundus</i>	H	0	0	0	0	0	1 ^R	0	0	LC	NA
<i>Hylonycteris underwoodi</i>	P	0	0	0	0	0	0	4 ^R	0	LC	NA
Total		38 ^A 2 ^R	24 ^A 8 ^R	193 ^A 33 ^R	14 ^A 49 ^R	378 ^A 4 ^R	274 ^A 22 ^R	120 ^A 20 ^R	198 ^A 19 ^R		

Diversidad

En la zona de estudio se reconocen dos ensambles de murciélagos, las curvas de interpolación-extrapolación para el muestreo con redes, muestran que los sitios 2, 3 y 4

tuvieron la mayor diversidad, estos sitios muestran un solapamiento en los intervalos de confianza y fueron diferentes de la comunidad en el sitio 1 (Fig. 5).

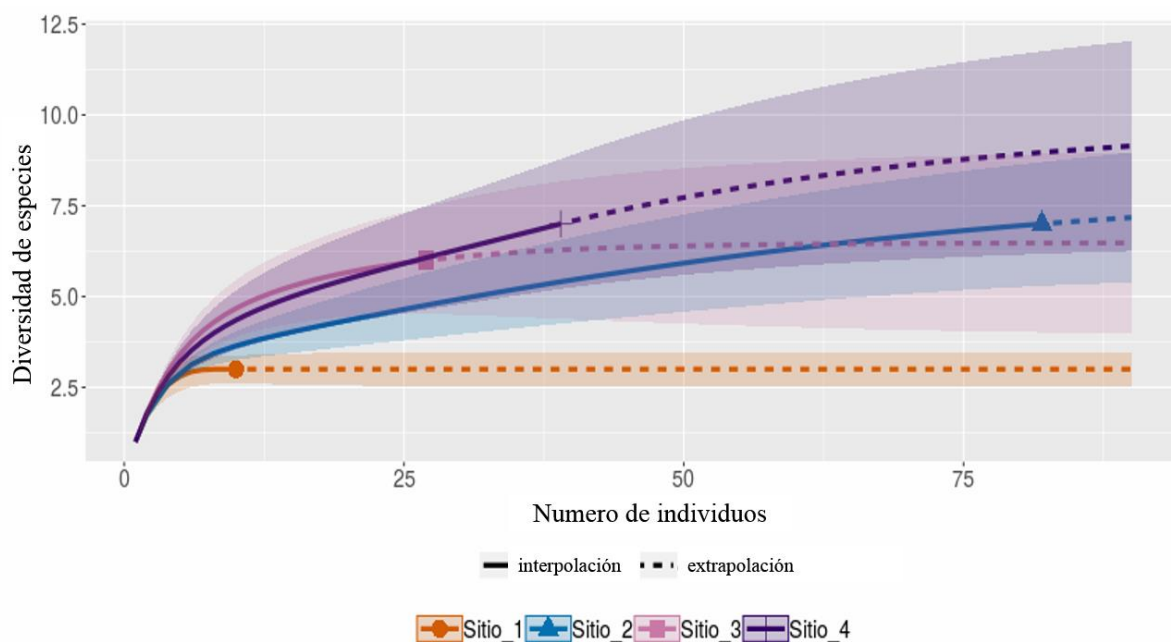


Figura 2. Curva de interpolación-extrapolación de especies basadas en el esfuerzo de muestreo para la riqueza de especies ($q=0$). Las muestras de referencia se señalan con símbolos (círculo, triángulo, línea y cuadrado) por sitio. La zona sombreada señala los intervalos de confianza al 95%. La extrapolación se extiende hasta el doble del esfuerzo de muestreo de referencia.

Las curvas de intervalo-abundancia se realizaron solamente utilizando el muestro con redes y muestran que *A. jamaicensis*, *A. lituratus* y *S. hondurensis* fueron dominantes en las comunidades de los cuatro sitios de estudio, que en conjunto representaron el 85% del total de capturas, la curva del sitio 3 mostro mayor equidad, el sitio 2 tuvo mayor dominancia y presencia de especies raras al igual que el sitio 4, el sitio 1 fue el de menor riqueza. En todos los sitios dominó el gremio de los frugívoros con una abundancia importante de *S. hondurensis* en tres de los cuatro sitios (Fig.6).

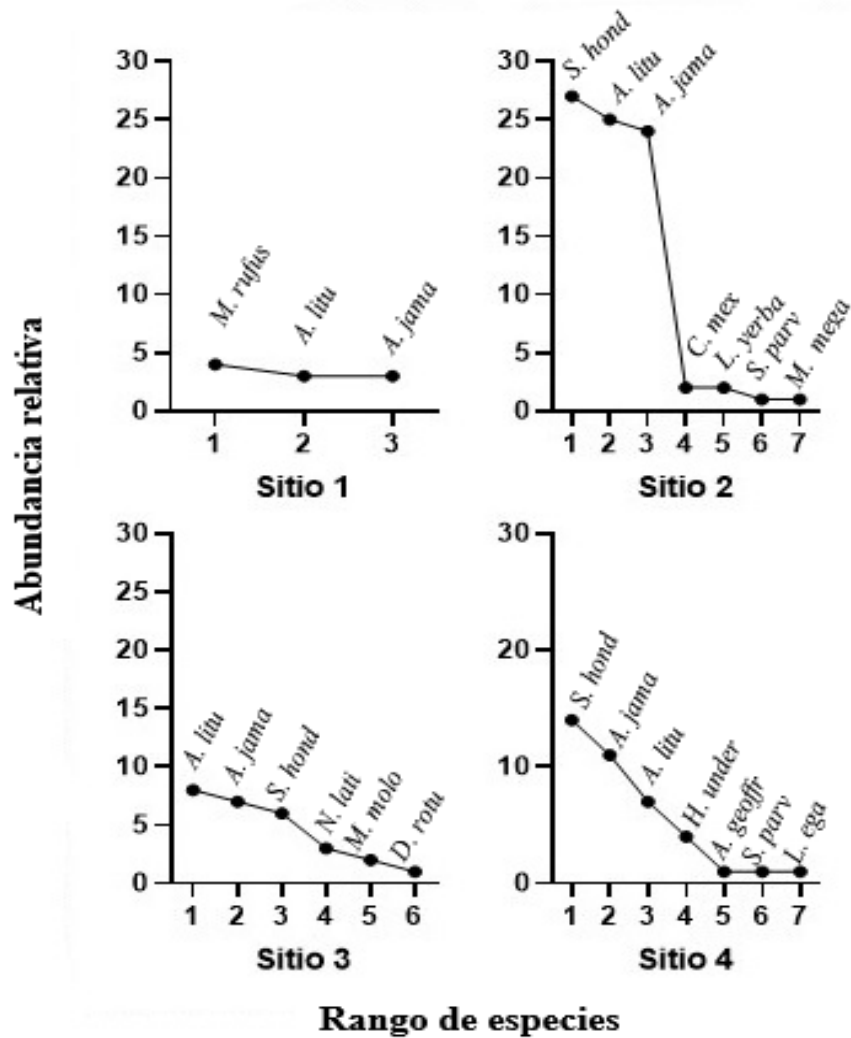


Figura 3. Curvas de intervalo abundancia para las especies de murciélagos de la ciudad de Oaxaca, México. Los textos debajo de cada curva indican el sitio evaluado. Las abreviaturas son de las especies que se indican en el cuadro 3.

La diversidad de orden 0 (0D Riqueza) fue mayor en los sitios 2 y 4 (${}^0D = 7$ especies efectivas), seguido por el sitio 3 (${}^0D = 6$), el sitio con menor diversidad fue el sitio 1 (${}^0D = 3$). El sitio 3 fue el de mayor diversidad de orden 1 (${}^1D = 5$ especies efectivas), seguido por los sitios 4 (${}^1D = 4.6$) y 2 (${}^1D = 4$ especies), todas ellas con la misma abundancia; el sitio 1 fue el menos diverso (${}^1D = 2.9$). La diversidad de orden 2 muestra al sitio 3 con el mayor

número de especies efectivas (${}^2D=4.5$), los sitios 4 y 2 obtuvieron un valor de ${}^2D= 4$ y ${}^2D = 3.5$ especies respectivamente, el sitio 1 fue el que menor diversidad registro (${}^2D= 1$) (Fig.7).

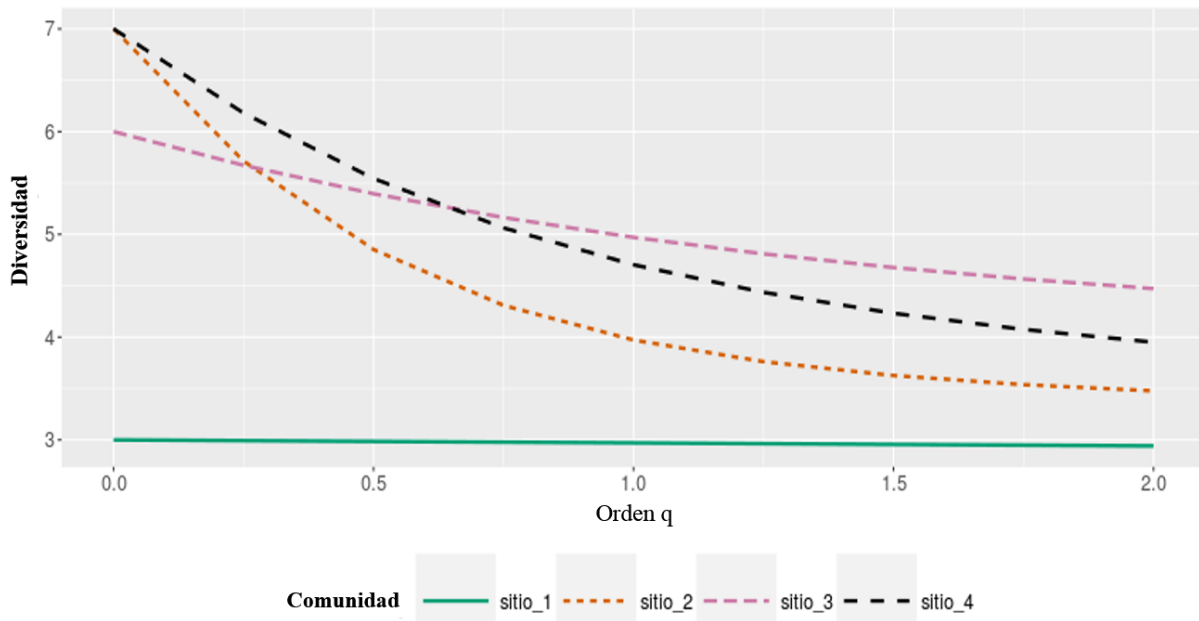


Figura 4. Análisis de diversidad (Números de Hill, $q= 0,1$ y 2) de murciélagos en cuatro sitios con distinto nivel de urbanización en la ciudad de Oaxaca, Oax., México.

Análisis de escalamiento multidimensional no métrico

El análisis NMDS por sitio obtuvo un valor de estrés bajo (0.17), lo que indica que los sitios tienen condiciones similares ya que existe traslape de especies entre ellos (Fig.8). Las especies que comparten los cuatro sitios fueron; *A. jamaicensis*, *A. lituratus* y *S. hondurensis*. El sitio 2 fue el que más similitud presentó con respecto a los demás sitios en cuanto a la composición de especies, de manera aislada se registraron cuatro especies en el sitio 2, tres del gremio polínivoro, una insectívora, en el sitio 3 se registró una especie hematófaga.

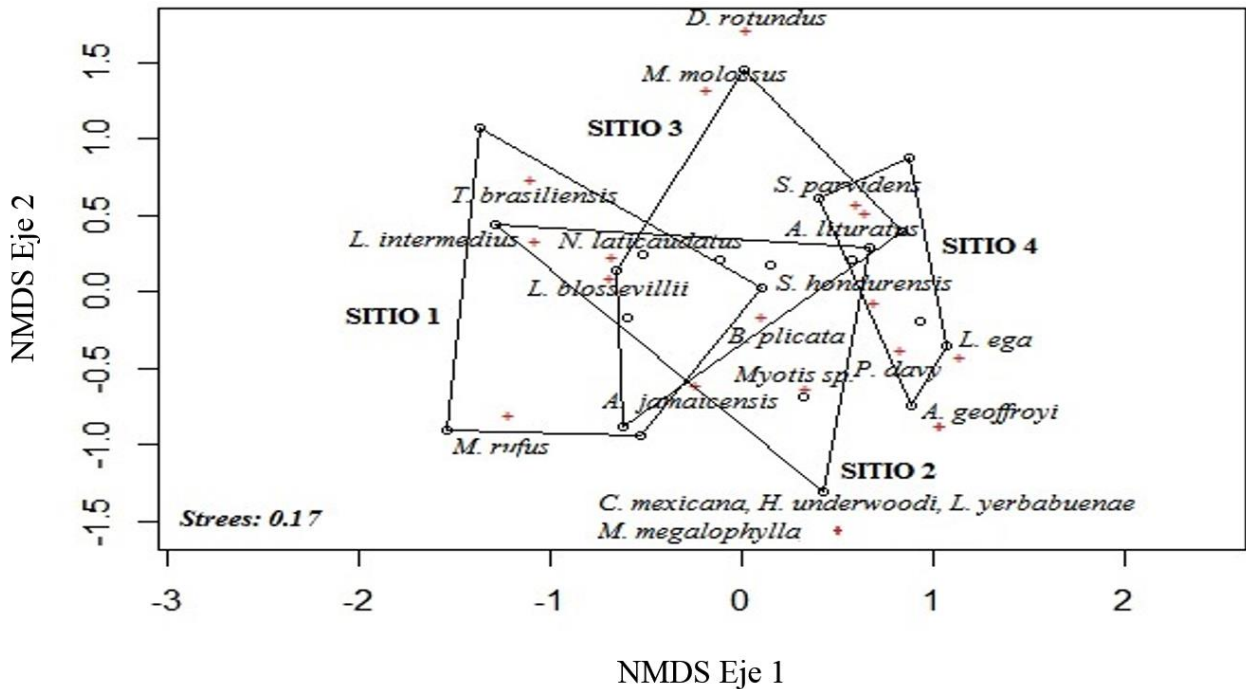


Figura 5. Resultados del análisis NMDS entre los sitios de estudio con base en su similitud en la composición de especies de murciélagos.

Correlación del número de especies y las variables ambientales

Correlación entre las variables dependientes (riqueza y abundancia) e independientes

(temperatura, ruido e iluminación). De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson,

las variables ambientales temperatura ($^{\circ}\text{C}$), ruido (dBA) e iluminación (Luxes) influyeron

en la captura de murciélagos en los sitios. En el análisis general, la temperatura promedio

de los cuatro sitios obtuvo una relación positiva moderada ($r= 0.33$, fig.6), lo que indica que

a mayor temperatura hubo un mayor éxito de captura; sin embargo, el análisis por sitio

difirió observando valores negativos en los sitios 2 y 3 (Cuadro 4). Con el ruido promedio

de los cuatro sitios hubo una relación positiva ($r= 0.99$); de igual forma difirió en el análisis

individual por sitio, ya que los sitios 3 y 4 obtuvieron valores negativos (Fig.7). La

iluminación promedio total de los cuatro sitios obtuvo un valor positivo moderado ($r=0.48$;

Fig.8); sin embargo, en el análisis individual se observaron valores negativos en los sitios

2,3 y 4. No se observó diferencia estadística significativa entre sitios (Kruskal-Wallis, $H= 3$, $P> 0.05$, gL 3).

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre diversidad de murciélagos y las variables ambientales registradas por sitio.

Sitio	Coeficiente de correlación Pearson					
	Temperatura		Ruido dBA		Iluminación	
	Especies	Individuos	Especies	Individuos	Especies	Individuos
1	0.10	0.13	0.77	0.75	0.03	0.03
2	-0.33	-0.79	0.09	0.17	-0.40	0.41
3	-0.46	-0.60	-0.37	-0.42	-0.01	-0.37
4	0.12	0.06	-0.23	-0.35	-0.35	-0.40
Total	$r=0.33$		$r=0.99$		$r=0.48$	

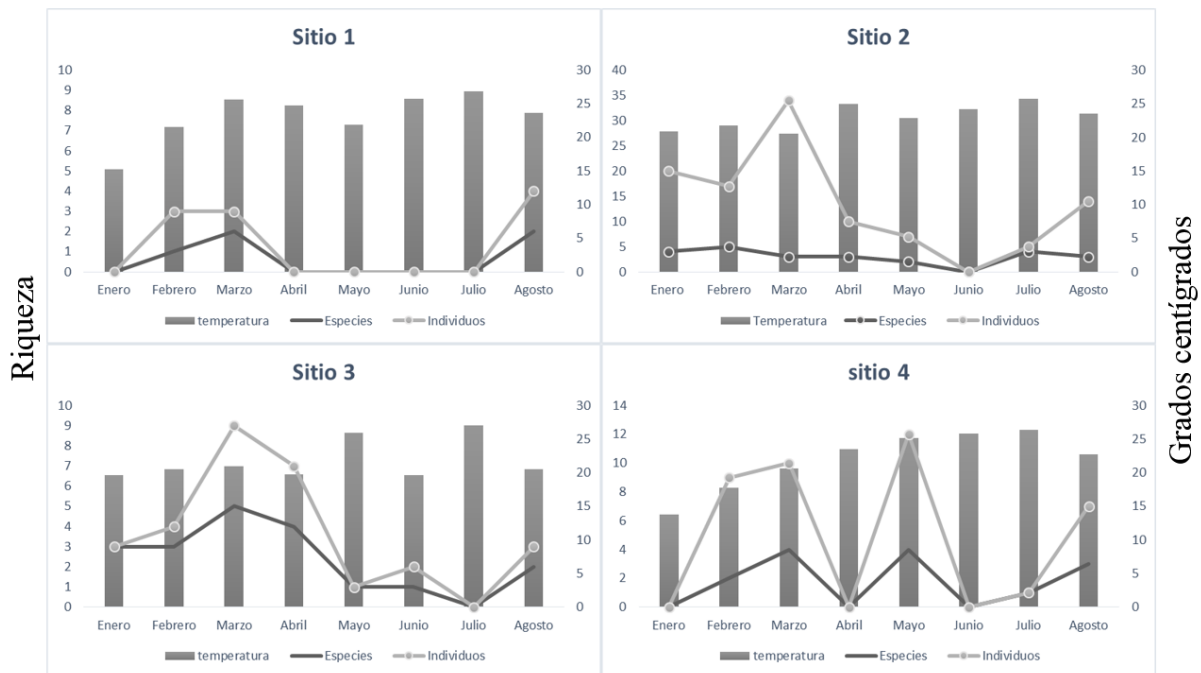


Figura 6. Correlación entre la riqueza y abundancia de especies y la temperatura durante los periodos de muestreo en cuatro sitios urbanos y suburbanos de la ciudad de Oaxaca, Oax., México.

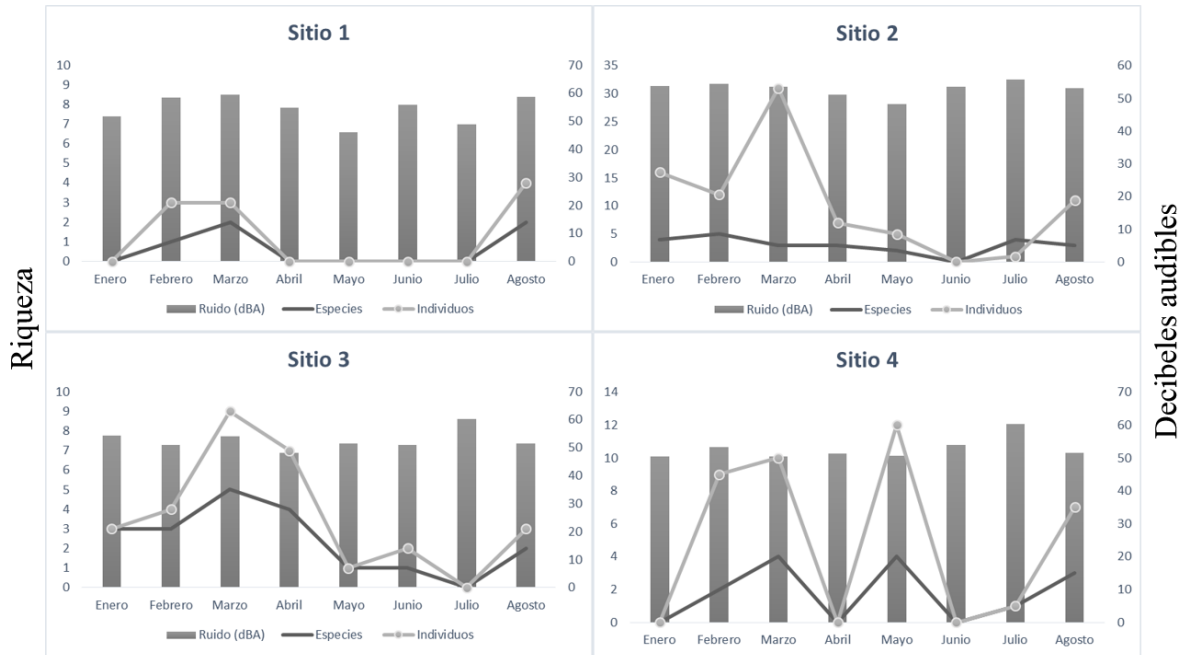


Figura 7. Correlación entre la riqueza y abundancia de especies y el ruido durante los periodos de muestreo en cuatro sitios urbanos y suburbanos de la ciudad de Oaxaca, Oax., México.

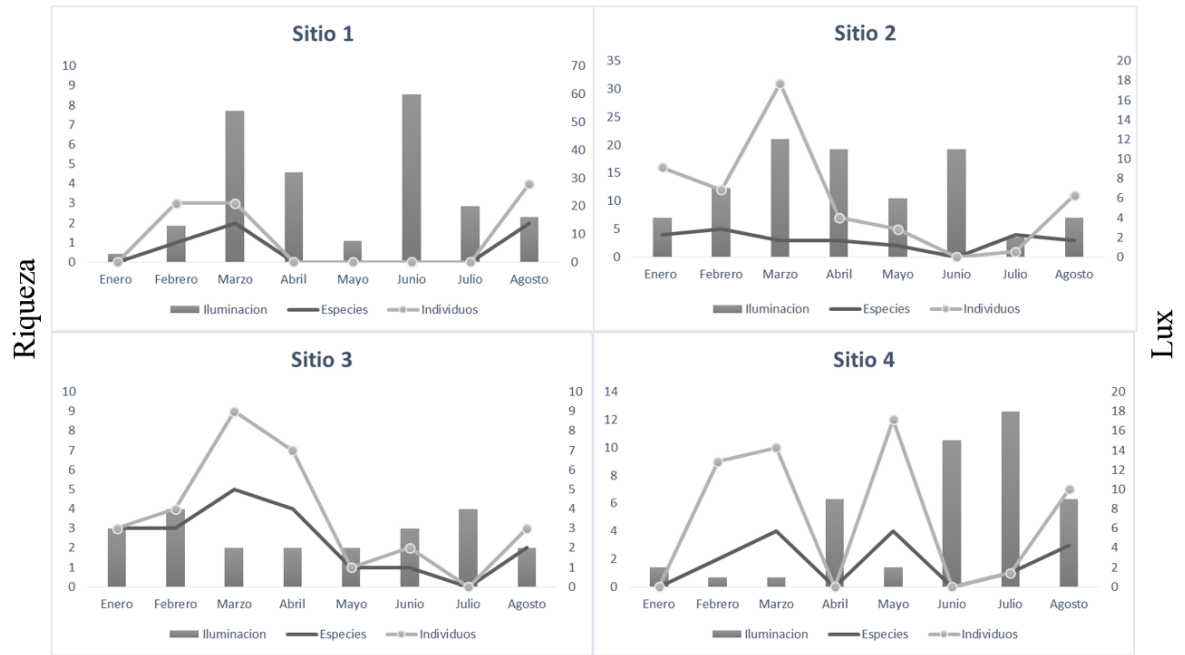


Figura 8. Correlación entre la riqueza y abundancia de especies y la iluminación durante los periodos de muestreo en cuatro sitios urbanos y suburbanos de la ciudad de Oaxaca, Oax., México.

Modelos lineales generalizados mixtos

El análisis de regresión lineal mostró valores estadísticamente significativos para las variables; temperatura (R ajustada el 52% de la variabilidad; $P < .0001$, $AIC = 218.64$); el ruido (R ajustada el 54% de la variabilidad; $P < .0001$, $AIC = 217.12$). En cambio, la variable que menor explica las capturas de murciélagos fue la iluminación (R ajustada el 18% de la variabilidad en el conteo; $P < .0072$, $AIC = 239.46$). De acuerdo con el análisis de componentes principales, el 82% de varianza de las variables, temperatura y ruido se explican con dos componentes principales (Cuadro 5), la temperatura es la variable más correlacionada con el componente uno 0.62 y la temperatura con el componente dos 0.80 (Fig.9).

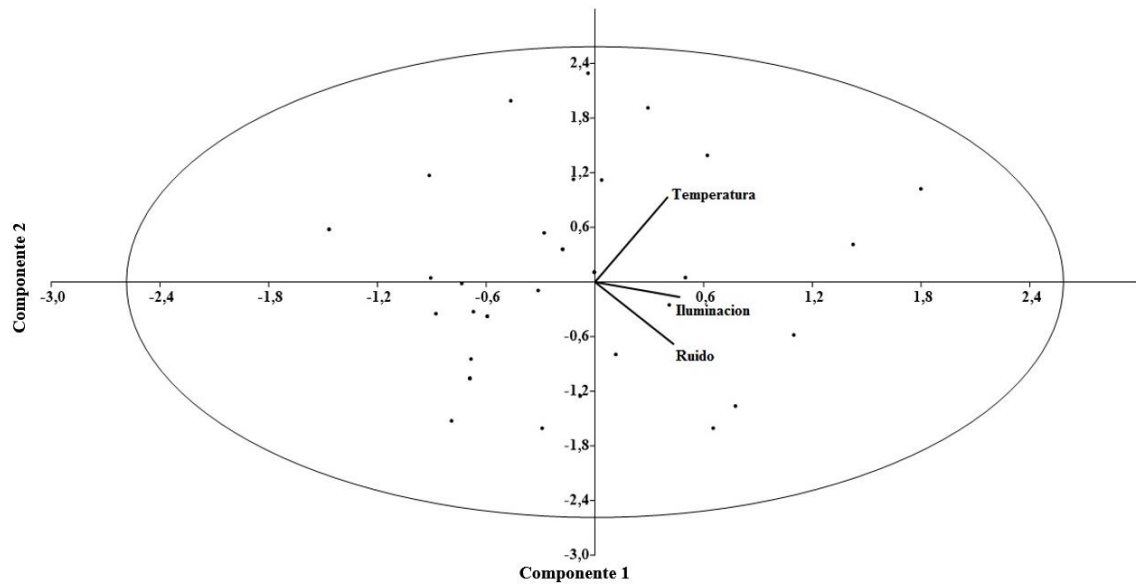


Figura 9. Diagrama del análisis de componentes principales de las variables ambientales y la diversidad de murciélagos en cuatro sitios urbanos y suburbanos de la ciudad de Oaxaca, Oax., México.

Cuadro 5. Valores de los eigenvalores y eigenvectores del análisis de componentes principales para de las variables ambientales.

Datos estandarizados			
Matriz de correlación/Coeficientes			
	temperatura	ruido	iluminación
temperatura	1,00		
ruido	0,28	1,00	
iluminación	0,38	0,45	1,00
Matriz de correlación/Probabilidades			
	temperatura	ruido	iluminación
temperatura			
ruido	0,0862		
iluminación	0,0173	0,0038	
Auto valores			
Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	1,74	0,58	0,58
2	0,73	0,24	0,82
3	0,53	0,18	1,00
Autovectores			
Variables	e1	e2	
Temperatura	0,53	0,80	
ruido	0,58	-0,58	
Iluminación	0,62	-0,14	
Correlaciones con las variables originales			
Variables	CP 1	CP 2	
Temperatura	0,70	0,68	
ruido	0,76	-0,50	
Iluminación	0,82	-0,12	

De un total de 14 modelos lineales generalizados mixtos probados y una comparación múltiple entre sitios y temporadas no se observaron diferencias significativas. El modelo lineal generalizado con la covariable temperatura fue el mejor modelo (AIC 183.33), mostrando diferencias significativas entre sitios (Cuadro 4). En el mismo modelo, con la prueba post LSD Fisher para categorizar los sitios con mayor significancia, se encontró que

el sitio 2 tuvo una media de 5.7. Este fue el sitio con mayor número de conteos de murciélagos de acuerdo al modelo (Diversidad). El sitio 4 obtuvo una media de 4.1, el sitio 3 y 1 no tuvieron diferencia estadística entre ellos, con una media de 1.9 y 1.8, respectivamente.

Cuadro 6. Valores obtenidos mediante modelos lineales generalizados mixtos para las variables que más influyen en el conteo de murciélagos.

Variable	Sitio		Temporada	
	PValué	AIC	PValué	AIC
Ruido	0.00054	197.63	0.320	209.93
Iluminación	0.0001	186.24	0.360	206.75
Temperatura	0.0054	183.33	0.782	193.05
Ruido, temperatura	0.0054	185.33	0.689	194.86
Ruido, iluminación	0.0007	187.86	0.385	200.08
Temperatura, iluminación	0.0065	185.30	0.406	192.87
Ruido, temperatura, Iluminación	<0.0001	196.25	0.406	194.87

Discusión

El gremio de murciélagos frugívoros del área de estudio está dominado por las especies *A. jamaicensis*, *A. lituratus* y *S. hondurensis*. Estos murciélagos están presentes en los cuatro sitios evaluados; sin embargo su abundancia es distinta en cada uno de ellos, lo que concuerda con lo reportado en otros estudios (Ávila-Flores y Fenton, 2005; Coleman y

Barclay, 2011; Hale *et al.*, 2012; Luck *et al.*, 2013; Russo y Ancillotto, 2015), donde encontraron que la urbanización produce efectos sobre la diversidad de murciélagos, causando agregaciones con una o dos especies dominantes en la comunidad, lo que se observa en las curvas de intervalo-abundancia donde resaltan las especies o grupos de estas dominando los sitios evaluados. La urbanización a menudo se ha descrito como perjudicial para el forrajeo de murciélagos; sin embargo, la reacción de estos varía según la especie algunas pueden explotar con éxito los sitios de descanso urbano, lo que pudiera comprobar que hay un efecto especie-específico (Threlfall *et al.*, 2012; Russo y Ancillotto, 2015).

Se registró un total de 20 especies de murciélagos, al igual que García-Luis *et al.* (2019) quienes hicieron un estudio mediante redes de niebla y grabación de llamados de ecolocalización en los Valles Centrales de Oaxaca, registrando 20 especies. Sin embargo, ocho de estas especies difirieron en ambos estudios por lo que se puede concluir que los Valles Centrales cuentan por lo menos con una riqueza de 28 especies de murciélagos.

En el sitio 1 (ciudad de Oaxaca) la especie dominante fue *M. rufus*, lo que coincide con lo reportado por García-Luis y Briones-Salas (2017) quienes encontraron cinco especies de murciélagos insectívoros de la familia molossidae en parques eólicos del trópico Mexicano, otros estudios han reportado alta presencia de molosidos en sitios urbanos y pastizales (Jung y Kalko, 2010, 2011; Kraker-Castaneda *et al.*, 2013; Bolívar-Cimé *et al.*, 2016). En general, algunas especies de murciélagos son muy sensibles a la urbanización, aunque la magnitud y la dirección de los efectos dependen de la escala del análisis (Russo y Ancillotto, 2015).

El índice de vegetación de diferencia normalizada, no presentó diferencias estadísticas significativas, tanto entre sitios como entre temporadas en el área de estudio se encontraron tres tipos de suelo; sin vegetación, vegetación ligera y vegetación mediana,

este criterio explica qué tan densa es la vegetación; sin embargo, no explica la disponibilidad de recursos (alimento/refugio).

Los sitios sin vegetación y con vegetación ligera fueron los que presentaron menor riqueza de murciélagos frugívoros, lo que concuerda con lo observado en otros estudios (Suarez-Rubio *et al.*, 2018), donde muestran que la vegetación tiene una influencia directa en la riqueza de especies. Wang *et al.* (2010) demostró que la abundancia de alimentos (árboles frutales) es un factor fundamental que influye en la actividad de murciélagos. El análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) obtuvo un valor de estrés bajo (0.17 valores de estrés < 0.1 muestran buen desempeño (Clarke, 1993; McCune y Grace, 2002). Los sitios no difieren de acuerdo al modelo, lo que indica alta similitud, esto podría deberse a la cercanía geográfica y a la poca variación altitudinal, la similitud también podría verse influida por la dominancia de *A. jamaicensis*, *A. lituratus* y *S. hondurensis*, diversos autores han reportado alta dominancia de murciélagos frugívoros en el estado de Oaxaca, especies de los géneros *Artibeus* y *Sturnira* son las más abundantes (Briones-Salas *et al.* 2005; Calderón-Patrón *et al.*, 2013; García-García y Santos-Moreno 2008)

De acuerdo con los modelos lineales generalizados, la principal variable relacionada con la ocurrencia de especies fue la temperatura, en noches con temperatura más cálida, se obtuvo un mayor éxito de captura en los sitios, lo que concuerda con lo reportado por Erickson y West (2002), donde obtuvieron mayor éxito de captura en sitios con temperaturas más cálidas. Mello y Silva (2009) y Sherwin *et al.* (2013), demostraron que las temperaturas cálidas benefician a los murciélagos debido a diversos factores como; mayor disponibilidad de alimentos, un parto más temprano, un desarrollo más rápido de los juveniles y la dispersión. Los murciélagos insectívoros dependen de la disponibilidad de

presas principalmente ectotérmicas, cuya actividad está influenciada por las condiciones climáticas (Burles *et al.*, 2009).

El ruido fue la segunda variable que mejor explicó el número de murciélagos capturados. La acústica juega un papel importante en la vida de estos organismos, por lo que se ven afectados por el ruido generado por el hombre (Barber y Crooks, 2010). El sonómetro nos indica la intensidad del ruido sin embargo no distingue entre ruido ambiental con el que han coevolucionado los organismos y ruido generado por el hombre, esto podría explicar porque hay sitios con ruido alto y un buen número de capturas. En el sitio 1 con mayor contaminación sonora (autos), se obtuvo un menor número de registros, principalmente de murciélagos insectívoros que cazan a nivel del suelo, lo que concuerda con lo reportado por Siemers y Schaub (2010) donde encontraron que el ruido del tráfico interfiere con la percepción del sonido del susurro de presa lo que dificulta el forrajeo. El ruido puede enmascarar señales acústicas relevantes, afectando así a los murciélagos de “escucha pasiva” (Schaub *et al.*, 2008). Estos murciélagos detectan la presencia de presas debido al ruido que se produce cuando el insecto se mueve sobre el sustrato, una condición que hace que la ecolocación sea de poca utilidad para detectar un objetivo (Russo *et al.*, 2007).

De las variables explicativas, la iluminación obtuvo el valor más bajo en la correlación; sin embargo, influye tanto positivamente (insectívoros), como negativamente en la diversidad de murciélagos (Phyllostomidae) ya que se sabe que estos últimos disminuyen su actividad cuando incrementa la cantidad de luz, ya sea natural (luna llena) o artificial (Lang *et al.*, 2006). En el sitio 1 (ciudad de Oaxaca) se registró los niveles más elevados tanto de iluminación como de ruido y la menor diversidad de murciélagos, lo que concuerda con lo reportado por Lewanzik, y Voigt (2014), donde demostraron que los

murciélagos frugívoros son repelidos por la luz artificial. Resultados similares fueron observados por Jung y Kalko (2010) quienes obtuvieron registros de 18 especies de murciélagos insectívoros que se alimentan alrededor de faroles, lo que sugiere un alto potencial para adaptarse a ambientes urbanizados; sin embargo, sugieren que la habilidad para adaptarse depende de la especie y que algunas dependen de la cobertura vegetal.

Al igual que la vegetación, la luz y el ruido determinan la diversidad de murciélagos, mientras que unas especies se benefician de la presencia de estos factores, otras se perjudican (Siemers y Schaub, 2010; Russo y Ancillotto, 2015; Suarez-Rubio *et al.*, 2018). En sitios con mayor incidencia de luz, ruido y escasa vegetación se obtuvo un número bajo de capturas de murciélagos frugívoros; sin embargo, el gremio de los insectívoros se benefició. Los resultados concuerdan con lo encontrado con Jung y Kalko (2010) y Schoeman (2016), quienes reportaron mayor actividad de murciélagos insectívoros en sitios con luz artificial (focos). La contaminación lumínica ecológica tiene efectos tanto negativos como positivos en los organismos como: cambios en la orientación, desorientación y atracción o repulsión del entorno de luz alterada, forrajeo, reproducción, la migración y la comunicación (Longcore y Rich, 2004). Si bien la contaminación lumínica es una amenaza para la conservación de los murciélagos (Stone *et al.*, 2009), algunas especies parecen haberse adaptado a sitios iluminados artificialmente. Es probable que una disminución en la conectividad del paisaje causada por la expansión urbana afecte a muchas especies (Russo y Ancillotto, 2015) o por interrupciones de la iluminación artificial (Stone *et al.*, 2009) y el ruido (Bennett y Zurcher, 2013).

Los resultados muestran que los murciélagos están influenciados en gran medida por factores como la pérdida de vegetación nativa, la temperatura, la iluminación artificial y el ruido. La urbanización puede afectar seriamente la densidad de alimento, lo que lleva a la

disminución de la población. Conocer la respuesta que tienen las especies a la urbanización es clave para identificar aquellas que requieran un manejo especial para su conservación. Los resultados indican que el efecto antropogénico afecta a las comunidades de murciélagos, disminuyendo la diversidad en sitios con altos niveles de urbanización, por lo que fue posible comprobar la hipótesis planteada, obtuvimos mayor diversidad de murciélagos en sitios con baja urbanización, de igual manera fue posible comprobar que los sitios urbanos tienen una mayor abundancia de especies con alta tolerancia a la perturbación, en este caso insectívoros que se benefician con la iluminación. Es necesario implementar medidas para reducir el impacto de factores antropogénicos en los murciélagos como el establecimiento de refugios en sitios urbanos, mejorar la calidad de las áreas verdes, reducir el nivel de iluminación mediante la instalación de lámparas led que cuenten con sensores de movimiento, colocar protectores en la parte superior de las lámparas.

Literatura citada

- Acosta Mireles, M., Pérez Miranda, R., Romero Sánchez, M. E., González Hernández, A., & Martínez Ángel, L. (2017). Estimación de la densidad forestal mediante imágenes Landsat ETM+ en la región sur del Estado de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(41), 30-55.
- Avila-Flores, R., & Fenton, M.B., (2005). Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *J. Mammal.* 86, 1193–1204.
- Barber, J.R., & Crooks, K.R., (2010). The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends Ecol. Evol.* 25, 180–189.
- Bennett, V. J., & Zurcher, A. A. (2013).

- When corridors collide: Road-related disturbance in commuting bats. *The Journal of Wildlife Management*, 77(1), 93-101.
- Bolívar-Cimé, B., Bolívar-Cimé, A., Cabrera-Cruz, S. A., Muñoz-Jiménez, Ó., & Villegas-Patraca, R. (2016). Bats in a tropical wind farm: species composition and importance of the spatial attributes of vegetation cover on bat fatalities. *Journal of Mammalogy*, 97(4), 1197-1208.
- Briones-Salas, M. A., Sánchez-Cordero, V., & Santos-Moreno, A (2005). Diversidad de murciélagos en el gradiente altitudinal de la Sierra Mazateca, Oaxaca, México. Pp.65-74 in Contribuciones mastozoológicas en homenaje a Bernardo Villa (SánchezCordero, V., y R. A. Medellín, eds.). Instituto de Biología - Instituto de Ecología- Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Burles, D. W., Brigham, R. M., Ring, R. A., & Reimchen, T. E. (2009). Influence of weather on two insectivorous bats in a temperate Pacific Northwest rainforest. *Canadian Journal of Zoology*, 87(2), 132-138.
- Calderón-Patrón, J. M., Briones-Salas, M., & Moreno, C. E. (2013). Diversidad de murciélagos en cuatro tipos de bosque de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Therya*, 4(1), 121-137.
- Chao, A., & Shen, T. J. (2010). Program SPADE (Species prediction and diversity estimation). Disponible en: <http://chao.stat.nthu.edu.tw>.
- Chao, A., Ma, K. H., & Hsieh, T. C. (2016). iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/.

- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian journal of ecology*, 18(1), 117-143.
- Coleman, J. L., & Barclay, R. M. (2012). Urbanization and the abundance and diversity of Prairie bats. *Urban Ecosystems*, 15(1), 87-102.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Durán-Barrón, C. G., Francke, O. F., & Pérez-Ortiz, T. M. (2009). Diversidad de arañas (Arachnida: Araneae) asociadas con viviendas de la ciudad de México (Zona Metropolitana). *Revista mexicana de biodiversidad*, 80(1), 55-69.
- Erickson, J. L., & West, S. D. (2002). The influence of regional climate and nightly weather conditions on activity patterns of insectivorous bats. *Acta Chiropterologica*, 4(1), 17-25.
- Estes, J. A., Terborgh, J., Brashares, J. S., Power, M. E., Berger, J., Bond, W. J., ... & Marquis, R. J. (2011). Trophic downgrading of planet Earth. *science*, 333(6040), 301-306.
- Fahrig, L. (2001). How much habitat is enough?. *Biological conservation*, 100(1), 65-74.
- Fenton, M. B., Acharya, L., Audet, D., Hickey, M. B. C., Merriman, C., Obrist, M. K., ... & Adkins, B. (1992). Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. *Biotropica*, 440-446.
- García-García, J. L., & Santos-Moreno, J. A. (2008). Diversidad de cuatro ensamblajes de murciélagos en San Miguel Chimalapa, Oaxaca.

- García-Luis, M., & Briones-Salas, M. (2017). Composición y actividad de la comunidad de murciélagos artropódvoros en parques eólicos del trópico mexicano. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(4), 888-898.
- García-Luis M, Briones-Salas M, Lavariega M C, Ferrer M (2019). Bat species richness in the region of the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. Museu de Ciències Naturals de Barcelona. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15470/qp5ccr> accessed via GBIF.org on 2019-05-24.
- Gibbs, J. P., & Stanton, E. J. (2001). Habitat fragmentation and arthropod community change: carrion beetles, phoretic mites, and flies. *Ecological Applications*, 11(1), 79-85.
- Gilbert, O. (2012). *The ecology of urban habitats*. Springer Science & Business Media.
- Gurd, D. B., Nudds, T. D., & Rivard, D. H. (2001). Conservation of mammals in eastern North American wildlife reserves: how small is too small?. *Conservation Biology*, 15(5), 1355-1363.
- Hale, J. D., Fairbrass, A. J., Matthews, T. J., & Sadler, J. P. (2012). Habitat composition and connectivity predicts bat presence and activity at foraging sites in a large UK conurbation. *PloS one*, 7(3), e33300.
- Hanski, I., Moilanen, A., & Gyllenberg, M. (1996). Minimum viable metapopulation size. *The American Naturalist*, 147(4), 527-541.
- INEGI. (2010). Censo Nacional de Vivienda 2010. INEGI. San Luis Potosí, México.
- INEGI. (2013). Uso de suelo y vegetación serie V, escala 1:250,000. INEGI. San Luis Potosí, México.
- IUCN. (2019). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. <http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 21 March 2019.

- Jung, K., & Kalko, E. K. (2010). Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy*, *91*(1), 144-153.
- Kraker-Castañeda, C., Santos-Moreno, A., & García-García, J. L. (2013). Riqueza de especies y actividad relativa de murciélagos insectívoros aéreos en una selva tropical y pastizales en Oaxaca, México. *Mastozoología neotropical*, *20*(2).
- Lang, A. B., Kalko, E. K., Römer, H., Bockholdt, C., & Dechmann, D. K. (2006). Activity levels of bats and katydids in relation to the lunar cycle. *Oecologia*, *146*(4), 659-666.
- Lewanzik, D., & Voigt, C. C. (2014). Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk. *Journal of applied ecology*, *51*(2), 388-394.
- Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *2*(4), 191-198.
- López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. R., & Fernández-Reynoso, D. S. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y ciencias del agua*, *6*(1), 121-137.
- Luck, G. W., Smallbone, L., Threlfall, C., & Law, B. (2013). Patterns in bat functional guilds across multiple urban centres in south-eastern Australia. *Landscape Ecology*, *28*(3), 455-469.
- Magurran, A. E. (1988). Why diversity?. In *Ecological diversity and its measurement* (pp. 1-5). Springer, Dordrecht.
- Magurran, A. E. (2007). Species abundance distributions over time. *Ecology letters*, *10*(5), 347-354.

- Martínez, D. R., Julio, L. A., Cabaleiro, J. C., Pena, T. F., Rivera, F. F., & Blanco, V. (2009). El criterio de información de Akaike en la obtención de modelos estadísticos de rendimiento. *XX Jornadas de Paralelismo*.
- McCune, B., Grace, J. B., & Urban, D. L. (2002). *Analysis of ecological communities* (Vol. 28). Gleneden Beach, OR: MjM software design.
- Medellín, R. A., Equihua, M., & Amin, M. A. (2000). Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in Neotropical rainforests. *Conservation biology*, *14*(6), 1666-1675.
- Medellín, R. A., Arita, H. T., & Sánchez, Ó. (2008). *Identificación de los murciélagos de México: clave de campo*. Instituto de Ecología, UNAM.
- Mello, M. A. R., Kalko, E. K. V., & Silva, W. R. (2009). Ambient temperature is more important than food availability in explaining reproductive timing of the bat *Sturnira lilium* (Mammalia: Chiroptera) in a montane Atlantic Forest. *Canadian Journal of Zoology*, *87*(3), 239-245.
- 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*(4), 1249-1261.
- Niemelä, J. (1999). Ecology and urban planning. *Biodiversity & Conservation*, *8*(1), 119-131.
- Ortiz, P. M. A., Hernández, J. R. S. & Figueroa, Mah-Eng, J. M. (2004). Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. pp. 43-45. *In: García-Mendoza, A.J., Ordoñez, M.A. y Briones-Salas, M. (Eds.). 2004. In: Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza World Wildlife Fund, México.*

- Russo, D., & Ancillotto, L. (2015). Sensitivity of bats to urbanization: a review. *Mammalian Biology*, 80(3), 205-212.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., ... & Leemans, R. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *science*, 287(5459), 1770-1774.
- Savard, J. P. L., Clergeau, P., & Mennechez, G. (2000). Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and urban planning*, 48(3-4), 131-142.
- Schaub, A., Ostwald, J., & Siemers, B. M. (2008). Foraging bats avoid noise. *Journal of Experimental Biology*, 211(19), 3174-3180.
- Schoeman, M. C. (2016). Light pollution at stadiums favors urban exploiter bats. *Animal Conservation*, 19(2), 120-130.
- Sherwin, H. A., Montgomery, W. I., & Lundy, M. G. (2013). The impact and implications of climate change for bats. *Mammal Review*, 43(3), 171-182.
- Siemers, B. M., & Schaub, A. (2010). Hunting at the highway: traffic noise reduces foraging efficiency in acoustic predators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1712), 1646-1652.
- Stone, E. L., Jones, G., & Harris, S. (2009). Street lighting disturbs commuting bats. *Current biology*, 19(13), 1123-1127.
- Suarez-Rubio, M., Ille, C., & Bruckner, A. (2018). Insectivorous bats respond to vegetation complexity in urban green spaces. *Ecology and evolution*, 8(6), 3240-3253.
- Team, R. (2015). RStudio: integrated development for R. *RStudio, Inc., Boston, MA URL* <http://www.rstudio.com>, 42, 14.

- Threlfall, C. G., Law, B., & Banks, P. B. (2012). Sensitivity of insectivorous bats to urbanization: implications for suburban conservation planning. *Biological Conservation*, 146(1), 41-52.
- Torres, C. T. (2004). Tipos de vegetación. In: biodiversidad de Oaxaca. García, M. A., M. J. Ordoñez, M. Briones S. (eds.). Instituto de Biología. UNAM, fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza. World Wildlife Fund. México. 105-117 pp.
- Trejo, I. (2004). In A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez ~ y M. Briones-Salas (Eds.), Biodiversidad de Oaxaca (pp. 305–325). México, D.F.: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Found.
- Vargas-Contreras, J. A., Escalona-Segura, G., Cú-Vizcarra, J. D., Arroyo-Cabrales, J., & Medellín, R. A. (2008). Estructura y diversidad de los ensambles de murciélagos en el centro y sur de Campeche, México. *Avances en el estudio de los mamíferos de México*, 2, 551-577.
- Wang, J., Gao, W., Wang, L., Metzner, W., Ma, J., & Feng, J. (2010). Seasonal variation in prey abundance influences habitat use by greater horseshoe bats (*Rhinolophus ferrumequinum*) in a temperate deciduous forest. *Canadian Journal of Zoology*, 88(3), 315-323.
- Wilson, D. E., Ascorra, C. F., Solari, S., & Wilson, D. E. (1996). Bats as indicators of habitat disturbance. *Manu: the biodiversity of southeastern Peru*, 613-626.