







Estructura de la comunidad de murciélagos en un paisaje antropogénico tropical en Veracruz, México

Structure of the bat community in a tropical anthropogenic landscape in Veracruz, Mexico

Nancy M. Alavéz-Martínez¹ ,
Daniela Montero-Reyes¹ ,
Ricardo Serna-Lagunes^{1*} ,
Gerardo B. Torres-Cantú¹ ,
Miguel Á. García-Martínez¹ ,
Pablo Andrés-Meza¹ 

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Región Orizaba-Córdoba, Universidad Veracruzana. Josefa Ortiz de Domínguez S/n, Col. Centro, Peñuela, Amatlán de los Reyes Veracruz, CP. 94945. México.

*Autor de correspondencia: rserna@uv.mx

Artículo científico

Recibido: 08 de marzo de 2020

Aceptado: 24 de agosto de 2020

Como citar: Alavéz-Martínez NM, Montero-Reyes D, Serna-Lagunes R, Torres-Cantú GB, García-Martínez MA, Andrés-Meza P (2020) Estructura de la comunidad de murciélagos en un paisaje antropogénico tropical en Veracruz, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(3): e2524. DOI: 10.19136/era.a7n3.2524

RESUMEN. El flujo vehicular impacta a la comunidad de vertebrados mediante la colisión de ejemplares, pero se desconoce el efecto que genera la intensidad lumínica y ruido de los vehículos sobre la estructura de la comunidad de murciélagos en bosques tropicales. Los objetivos del estudio fueron i) describir la estructura de la comunidad de murciélagos y ii) relacionar la riqueza y abundancia mensual de la comunidad de murciélagos con respecto al flujo vehicular en un fragmento de selva mediana subperennifolia en la zona centro del estado de Veracruz, México. En el km 11 de la autopista Córdoba-Veracruz se realizó un monitoreo mensual durante tres noches por seis meses, se capturaron murciélagos con redes de niebla y se clasificaron por especie y gremio trófico. La estructura de la comunidad se describió con el número efectivo de especies y comparó entre sitios de monitoreo. Con una prueba de regresión, se relacionaron la riqueza y abundancia mensual de murciélagos con el flujo vehicular para probar la asociación entre estas variables. Con 19 170 h/red se capturaron 127 individuos de dos familias, nueve géneros y 12 especies. Los números efectivos de especies no fueron significativamente diferentes entre sitios y el análisis de regresión no mostró efecto del flujo vehicular sobre la riqueza y abundancia mensual de murciélagos. El ruido y la intensidad lumínica provocada por los vehículos tiene un mínimo impacto sobre las poblaciones de murciélagos, al no observarse cambios en la estructura de la comunidad.

Palabras clave: Chiroptera, flujo vehicular, Phyllostomidae, selva mediana subperennifolia.

ABSTRACT. The vehicular flow impacts the vertebrate community through the collision of specimens, but the effect that the light intensity and noise of vehicles generates on the structure of the bat community in tropical forests is still unknown. The objectives of the study were i) to describe the structure of the bat community and ii) to relate the monthly wealth and abundance of the bat community with respect to vehicular flow in a fragment of medium sub-evergreen forest in the central zone of Veracruz, Mexico. At km 11 of the Córdoba-Veracruz highway, monthly monitoring was carried out for three nights for six months, bats were captured with fog nets and classified by species and trophic guild. The community structure was described with the effective number of species and compared between monitoring sites. With a regression test, monthly bat abundance and richness were related to vehicular flow to test the association between these variables. With 19,170 h / net, 127 individuals from two families, nine genera and 12 species were captured. The effective numbers of species were not significantly different between sites and the regression analysis showed no effect of vehicular flow on the richness and monthly abundance of bats. Noise and light intensity caused by vehicles has a minimal impact on bat populations, as there are no changes in the structure of the community.

Key words: Chiroptera, medium subperennifolia forest, Phyllostomidae, vehicular flow.

INTRODUCCIÓN

La intensificación de actividades antropogénicas trae como consecuencia la fragmentación del paisaje, pérdida del hábitat y biodiversidad (Laurance *et al.* 2002). Ejemplos como la construcción y operación de carreteras y autopistas son actividades antropogénicas que generan impactos directos sobre ecosistemas y las especies que lo componen, ya que origina la fragmentación de hábitat, cambios microclimáticos, promueve la dispersión de especies exóticas, produce material contaminante del agua, suelo, aire, además de generar ruido por el flujo vehicular continuo. El efecto más fácil de observar en una autopista es la muerte de individuos de fauna silvestre de diferentes especies por atropellamiento de vehículos (González-Gallina *et al.* 2013, González-Gallina y Benítez-Badillo 2013, Myczko *et al.* 2017). La identificación de dichos efectos sobre la comunidad de quirópteros ha sido poco explorada en zonas tropicales y, su estudio, es la base para el diseño de estrategias que eviten, mitiguen o compensen estos impactos (Arroyave *et al.* 2006).

Los murciélagos son un grupo vulnerable ante los efectos de los desarrollos viales (Altringham 2008, Russell *et al.* 2009, Myczko *et al.* 2017). Por ejemplo, las carreteras representan espacios sin protección ante depredadores de murciélagos (Ciechanowski *et al.* 2007); es decir, los murciélagos perciben a los vehículos como una amenaza, lo que causa que tomen medidas evasivas derivadas de un comportamiento anti depredatorio (Clark *et al.* 2001). Además, las carreteras son barreras físico-geográficas que dificultan el acceso a sitios de alimentación, descanso, refugio para la crianza o apareamiento (Berthinussen y Altringham 2012a, b) y obliga a los murciélagos a desplazarse hasta encontrar sitios de cruce apropiados, lo que implica un gasto energético mayor (Kerth y Melber 2009). Forrajear cerca de carreteras limita la capacidad de ecolocalización eficaz de los murciélagos debido al ruido generado por los vehículos (Schaub *et al.* 2008) y, en consecuencia, se manifiestan cambios en el comportamiento forrajero (Waters *et al.* 1999, Luo *et al.* 2015). Efectos que se reflejan en la variación de la estructura del ensamblaje

de murciélagos, siendo las especies que presentan vuelos altos y especializados en alimentarse en áreas abiertas, las que se adaptan a estas perturbaciones (Jones 1995).

La frecuencia de coalición de murciélagos por vehículos varía por especie, gremio trófico y época del año (Russell *et al.* 2009), siendo perjudicial para especies de murciélagos con bajas tasas de reclutamiento poblacional (Lesinski 2007) y posiblemente sea causa de la extinción local (Mickleburgh *et al.* 2002). En otro contexto, ciertas especies de murciélagos se benefician al aprovechar como forraje a los insectos con fototaxis positiva a las luces de los vehículos en autopistas (Rydell 2006, Jung y Kalko 2010). Sin embargo, en selvas tropicales de México se cuenta con poca evidencia del efecto de las autopistas sobre la comunidad de quirópteros (Gaisler *et al.* 2009, Lesinski *et al.* 2011), en este sentido, es importante evaluar estos efectos como indicador de disturbios en la comunidad de murciélagos (Slater 2002, Stone *et al.* 2009).

En México se ha estudiado el efecto negativo que los desarrollos viales provocan sobre la comunidad de vertebrados (González-Gallina y Benítez-Badillo 2013, Cervantes-Huerta *et al.* 2017). Una manera indirecta de estudiar el efecto que generan las autopistas (principalmente impacto por el ruido e intensidad lumínica emitida por los vehículos) sobre la estructura de la comunidad de murciélagos (Van der Ree *et al.* 2011), es mediante la evaluación de la riqueza y abundancia de murciélagos que habitan o usan las coberturas del paisaje del área de estudio (Peter *et al.* 2013, Arroyave *et al.* 2014). Otra forma es mediante la representatividad de los gremios tróficos. Por ejemplo, murciélagos generalistas de hábitat con amplitud de nicho trófico, estarán mejor representadas en paisajes abiertos y perturbados; en comparación con murciélagos con hábitos alimenticios especializados, las cuales serán más raras en paisajes abiertos y más comunes en paisajes con presencia de masas de bosque denso (Medellín *et al.* 2000, Adán *et al.* 2007, Pardini *et al.* 2009). Por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron: i) describir la estructura de la comunidad de murciélagos y ii) relacionar la riqueza y abundan-

cia de la comunidad de murciélagos con respecto al flujo vehicular, en una localidad con presencia del tipo de vegetación denominada selva mediana subperennifolia en la zona centro del estado de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y descripción de los sitios de muestreo

El estudio se realizó en el predio del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, ubicado en el municipio de Amatlán de Los Reyes, Veracruz, México (18° 51' 20.52" LN, 96° 51' 37.59" LO), el cual se encuentra dividido por la autopista Córdoba-Veracruz. En la mayor parte del municipio se cuenta con vegetación denominada selva mediana subperennifolia (Cházaro-Basáñez 1992). En el año de 1962 la autopista fue construida por lo que la vegetación original quedó dividida en dos o más fragmentos. La autopista está construida en los extremos transversales con taludes de 3 m de altura en promedio, con presencia de plantas tipo ruderal y especies representativas de la selva. La autopista es la única vía de comunicación terrestre de cuota que conecta el centro con el sur y sureste de México.

En el área de estudio, que correspondió al Km 11 de la autopista Córdoba-Veracruz, tres sitios de muestreo fueron establecidos: sitio 1 (fragmento de selva mediana subperennifolia) a 30 m (18° 51' 47.50" LN, 96° 51' 42.24" LO), sitio 2 (cultivo de café bajo sombra) a 80 m (18° 51' 54.20" LN, 96° 51' 34.03" LO) y sitio 3 (pastizal con presencia de vegetación secundaria) a 120 m (18° 51' 45.06" LN, 96° 51' 35.47" LO) de distancia transversal a la autopista. La distancia entre sitios de monitoreo fue de 250 m en promedio, abarcando las coberturas del paisaje (Ávila-Torresagatón *et al.* 2012). El área de estudio se eligió debido a que a 3.1 km en línea recta, se encuentra un refugio (cueva o caverna) de murciélagos en la localidad denominada Cerro de Lourdes, municipio de Amatlán de Los Reyes, Veracruz, México (18° 50' 53.50" LN, 96° 53' 10.08" LO).

Caracterización del flujo vehicular

El flujo vehicular de la autopista se solicitó a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, de la caseta de peaje "Cuitláhuac" (folio 912000003118 y 912000008518), localizada a 12.5 km del área de estudio (18° 50' 21.98" LN, 96° 44' 49.01" LO). De los valores mensuales, se obtuvo el 60% de pases vehiculares que ocurrieron entre las 19:00 y 23:00 h (Tseng *et al.* 2014) y este se dividió entre 30 días y se multiplicó por tres (que correspondieron a los tres días de muestreo), de tal modo que se obtuvo el número de pases de vehículos mensuales para octubre (21 737), noviembre (22 488), diciembre (27 177), enero (24 253), febrero (20 209) y marzo (25 283).

Características del muestreo y captura de murciélagos

El trabajo de campo se realizó de octubre de 2017 a marzo de 2018, efectuando muestreos mensuales con duración de tres noches consecutivas de monitoreo en horario de 18:00 a 00:00 h (Calderón-Patrón *et al.* 2013). Los muestreos se realizaron en días con distinta fase lunar, pues en otros estudios se ha determinado que la fase lunar no afecta la frecuencia de actividad de los murciélagos, pues no existe evidencia de fobia lunar (Pech-Canché *et al.* 2018, Musila *et al.*, 2019). De las 17:00 a 17:30 h se realizó un recorrido de 1 km sobre las orillas de los dos carriles de la autopista con el fin de encontrar rastros de murciélagos atropellados.

En cada sitio de monitoreo se colocaron tres (a manera de réplica) redes de niebla, para los sitios 1 y 2 fueron dos redes de 12 x 2.5 m y una red de 9 x 2.5 m, y para el sitio 3 se instaló una red de 12 x 2.5 m y dos redes de 9 x 2.5 m. Las redes se revisaron cada 30-45 min para liberar a los murciélagos y depositarlos en una bolsa de manta hasta su evaluación (Tschapka 1998, Briones *et al.* 2005).

Cada murciélago capturado se pesó (g), determinó el sexo, edad y condición reproductiva; además de que se identificó a nivel de especie con la clave taxonómica de Medellín *et al.* (2008) y se clasificó con base en su gremio trófico (Giannini y Kalko 2004); para marcarlo con barniz de uñas para identificar re-

capturas y evitar dobles conteos, y se liberó.

Evaluación del muestreo y cobertura de la muestra

Para evaluar el esfuerzo de muestreo (\hat{C}_m) en cada uno de los sitios de monitoreo, se aplicó la ecuación: $\hat{C}_m = (A) (h) (d) (m)$, donde A = área (m^2) total de las redes; h = promedio de horas de muestreo; d = total de días muestreados y m = total de muestreos realizados (Briones *et al.* 2005). Para evaluar la cobertura de la muestra (\hat{C}_n) en cada sitio, con los datos de la abundancia observada se construyeron las curvas de acumulación de especies bajo el modelo completitud basado en la muestra, se calcularon sus respectivos intervalos de confianza al 95% y se usaron para identificar diferencias cuando estos no se traslaparon entre las unidades muestrales (Cumming *et al.* 2007). Este análisis se realizó en el software iNext (Chao *et al.* 2016), con el fin de comparar la riqueza y abundancia de especies entre las unidades muestrales con una \hat{C}_n similar (Jost 2006, Jost 2010, Chao *et al.* 2014).

Análisis de la estructura de la comunidad de murciélagos

La estructura de la comunidad de murciélagos fue descrita mediante los números de Hill (1973) del orden 0 (q^0 = riqueza de especies), orden 1 (q^1 = exponencial del índice de Shannon); orden 2 (q^2 = inverso del índice de Simpson) para el periodo del monitoreo y por tipo de cobertura muestreada (Jost 2006). Comparamos estas medidas entre los 3 sitios de monitoreo a partir de la cobertura de la muestra y sus respectivos intervalos de confianza calculados al 95%, en el cual se asumen diferencias significativas cuando estos no se superponen (Cumming *et al.* 2007). Estos análisis se realizaron en el software iNext (Chao *et al.* 2016). Con el propósito de determinar el efecto del tráfico vehicular con respecto a la variación de la riqueza y abundancia mensual de la comunidad de murciélagos, se aplicó un análisis de regresión entre la riqueza y la abundancia mensuales con respecto al flujo vehicular mensual (Zar 2010).

RESULTADOS

Con un total de 17 noches de monitoreo (una noche no se monitoreó por que las condiciones extremas del clima no lo permitieron), se obtuvo una $\hat{C}_m = 6480, 4860$ y 7830 h/red para el sitio 1, 2 y 3 respectivamente, que sumaron en conjunto una $\hat{C}_m = 19170$ h/red para el muestreo global.

Los valores de la \hat{C}_n fueron superiores al 80% de completitud del muestreo (Sitio1 $\hat{C}_n = 0.87$, Sitio 2 $\hat{C}_n = 0.91$, Sitio 3 $\hat{C}_n = 0.97$), sin diferencias significativas entre sitios de monitoreo. Las medidas de diversidad del número efectivo de especies del orden 0, 1 y 2 (q^0, q^1 y q^2) no fueron significativamente diferentes entre sitios de monitoreo, ya que los intervalos de confianza se superponen (Figura 1). Esto significa que la muestra de la comunidad de murciélagos fue homogénea en cuanto a riqueza y abundancia de especies (Figura 2). Los recorridos realizados en las orillas de la autopista no evidenciaron la presencia de quirópteros atropellados.

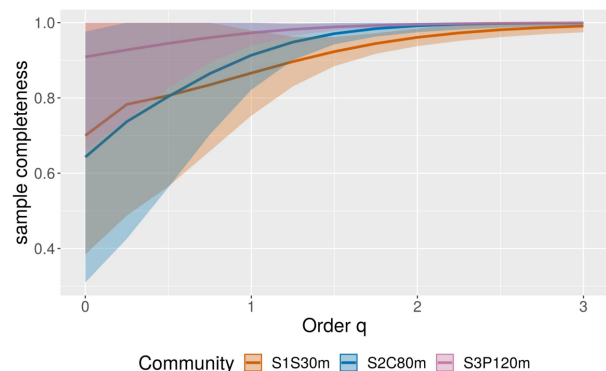


Figura 1: Evaluación de la completitud de la muestra (\hat{C}_n) con base en las medidas de diversidad del orden 0, 1 y 2 (q^0, q^1 y q^2). Las líneas sombreadas asociadas a la \hat{C}_n representan los intervalos de confianza calculados al 95% de confiabilidad, los cuales se traslapan. S1S30m = Sitio 1 con selva a 30 m, S2C80m = Sitio 2 con cafetal a 80 m, S3P120m = Sitio 3 Pastizal a 120 m.

Se capturaron 127 individuos (y una recaptura de *C. sowelli*) pertenecientes a dos familias, cuatro subfamilias, nueve géneros y 12 especies. Las especies de murciélagos presentaron abundancias mensuales que van desde un individuo como *Dermanura azteca*, *Mormoops megalophylla* y *Pteronotus personatus* hasta 36 individuos como *Artibeus ja-*

maicensis (Tabla 1). De las especies de murciélagos capturadas, ocho se clasificaron en el gremio frugívoro (75%), tres pertenecen al gremio insectívoro (17%) y solo una al gremio nectarívoro (8%) (Tabla 1).

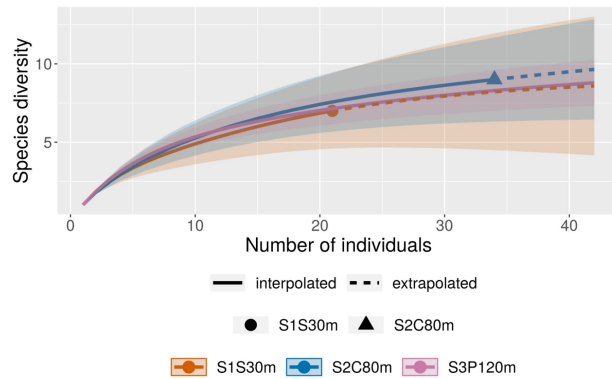


Figura 2: Comparación de la riqueza y abundancia de la comunidad de murciélagos en tres sitios de monitoreo en el Km 11 de la autopista Córdoba-Veracruz, México. Líneas sombreadas representan los intervalos de confianza al 95%. S1S30m = Sitio 1 con selva a 30 m, S2C80m = Sitio 2 con cafetal a 80 m, S3P120m = Sitio 3 Pastizal a 120 m.

La riqueza y abundancia de especies de murciélagos por sitio de monitoreo fue variable, pues el 58 % (siete especies) se registraron en el sitio 1 con vegetación de selva, en el sitio 2 con presencia de cultivo de cafetal estuvieron representadas el 75% de las especies de murciélagos (nueve especies), mientras que en el sitio 3 con pastizal y vegetación secundaria se registró la mayor riqueza (10 especies) y abundancia (72 individuos) de murciélagos (Tabla 2). Los resultados del análisis de regresión lineal indican una baja correlación no significativa entre la riqueza mensual ($R^2 = 0.27$, $T = 1.23$, $P = 0.28$) y la abundancia mensual ($R^2 = 0.13$, $T = 0.76$, $P = 0.48$) con respecto al tráfico vehicular; sin embargo, la curva de regresión muestra una relación que indica que a mayor distancia de la autopista se registró el mayor número de especies de murciélagos (Figura 3).

DISCUSIÓN

El presente trabajo contribuye al conocimiento de la diversidad local de 12 especies de murciélagos, además de aportar información de la zona centro del estado de Veracruz. La mayor diversidad de murciélagos

Tabla 1. Listado taxonómico, gremios tróficos, riqueza y abundancia mensual de la comunidad de murciélagos en un ambiente tropical antropizado. Abd = abundancia; O = octubre, N = noviembre, D = diciembre, E = enero, F = febrero, M = marzo.

Familias	Subfamilias	Géneros y especies	Gremio	O	N	D	E	F	M	Abd Absoluta	Abd Relativa
Phyllostomidae	Stenodermatinae	<i>Artibeus jamaicensis</i> (Leach, 1821)	Frugívoro	1	6	14	1	6	8	36	28.3
		<i>Artibeus lituratus</i> (Olfers, 1818)	Frugívoro	0	8	1	1	0	0	10	7.9
		<i>Sturnira lilium</i> (Geoffroy, 1810)	Frugívoro	0	9	4	1	1	2	17	13.4
		<i>Sturnira ludovici</i> (Anthony, 1924)	Frugívoro	2	5	1	3	0	0	11	8.6
		<i>Platyrrhinus helleri</i> (Peters, 1866)	Frugívoro	0	0	0	2	0	0	2	1.6
Mormoopidae	Carollinae	<i>Dermanura azteca</i> (Andersen, 1906)	Frugívoro	0	0	1	0	0	0	7	5.5
		<i>Carollia perspicillata</i> (Linnaeus, 1758)	Frugívoro	4	3	0	0	0	0	7	5.5
		<i>Carollia sowelli</i> (Baker et al., 2002)	Frugívoro	1	11	12	4	2	4	34	26.8
		<i>Glossophaga soricina</i> (Pallas, 1766)	Nectarívoro	0	2	1	0	0	1	4	3.1
		<i>Lamproncycteris brachyotis</i> (Dobson, 1879)	Insectívoro	0	2	1	0	0	0	3	2.4
Mormoopidae	Micronycterinae	<i>Mormoops megalophylla</i> (Peters, 1864)	Insectívoro	0	0	0	1	0	0	1	0.8
		<i>Pteronotus personatus</i> (Wagner, 1843)	Insectívoro	1	0	0	0	0	0	1	0.8
				Riqueza mensual (S)		5	8	7	3	4	100%
				Abundancia mensual (Abd)		9	46	13	9	15	

Tabla 2. Características de la riqueza y abundancia de la comunidad de murciélagos en los tres sitios de monitoreo. Abd = Abundancia, S = riqueza de especies.

Sitio 1 Selva 30 m	Abd	Sitio 2 Cafetal 80m	Abd	Sitio 3 Pastizal a 120m	Abd
<i>A. jamaicensis</i>	6	<i>A. jamaicensis</i>	14	<i>A. jamaicensis</i>	16
<i>A. lituratus</i>	1	<i>A. lituratus</i>	3	<i>A. lituratus</i>	6
<i>C. perspicillata</i>	2	<i>C. perspicillata</i>	3	<i>C. perspicillata</i>	2
<i>C. sowelli</i>	8	<i>C. sowelli</i>	6	<i>C. sowelli</i>	17
-	0	-	0	<i>G. soricina</i>	4
-	0	<i>L. brachyotis</i>	2	<i>L. brachyotis</i>	2
<i>P. personatus</i>	1	-	0	-	0
-	-	<i>P. helleri</i>	1	<i>P. helleri</i>	1
<i>S. liliium</i>	1	<i>S. liliium</i>	1	<i>S. liliium</i>	16
<i>S. ludovici</i>	2	<i>S. ludovici</i>	3	<i>S. ludovici</i>	7
-	-	<i>D. aztecus</i>	1	-	0
-	0	-	0	<i>M. megalophylla</i>	1
S = 7	Abd = 21	S = 9	Abd = 34	S = 10	Abd = 72

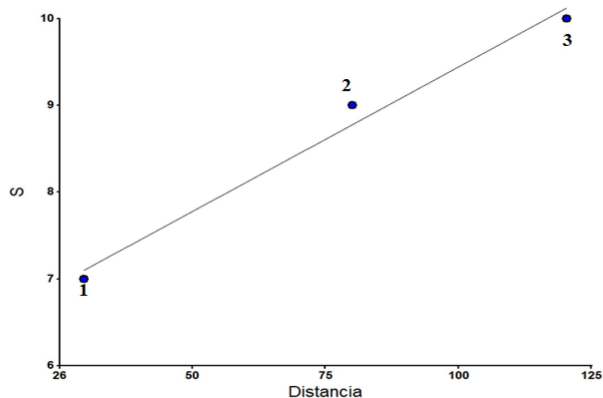


Figura 3: Relación entre la riqueza (S) y la distancia (en m de la autopista hacia dentro del terreno) de los sitios de muestreo. Los valores sobre y debajo de la línea tangente, indican los sitios de muestreo.

gos capturados pertenece a la subfamilia Stenodermatinae, lo cual fue reportado para regiones con cultivos de café del centro del estado de Veracruz (Saldaña-Vázquez *et al.* 2010). De acuerdo con las curvas de acumulación de especies, no se completó la riqueza total esperada por la falta de un mayor esfuerzo de muestreo, pues se requiere seguir haciendo muestreos para alcanzar la completitud cercana al 100% de la riqueza esperada. Por lo que el uso de los detectores acústicos en combinación con un mayor número de redes de niebla y sitios de monitoreo podría ayudar a registrar un mayor número especies de murciélagos de otros gremios como los insectívoros, los cuales vuelan a mayores alturas (García-García y Santos-Moreno 2009).

Se identificaron 12 especies de murciélagos de dos familias: Phyllostomidae y Mormoopidae. Las cuales representan el 13.5% de murciélagos reportados para el estado de Veracruz de 89 especies (González-Christen y Delfín-Alfonso 2016). Las especies de murciélagos registradas en este estudio ya han sido reportadas para áreas con cultivo de café (Saldaña-Vázquez *et al.* 2010), bosque mesófilo de montaña (Pineda *et al.* 2005), pero para vegetación de selva mediana subperennifolia en el centro de Veracruz, no han sido reportadas. Dos de los sitios de monitoreo completaron más del 90% de la representatividad de la riqueza de especies esperadas, excepto el sitio 1, donde solo se cubrió aproximadamente el 80% de la riqueza esperada; lo que indica que la riqueza, el número de especies comunes y de especies poco comunes fue mayor en el sitio de muestreo más alejado de la autopista (Figura 3).

La mayor abundancia mensual la presentaron *A. jamaicensis* y *C. sowelli*. Especies como *D. azteca*, *M. megalophylla* y *P. personatus* fueron especies representadas por un individuo. Por tipo de cobertura, *G. soricina* y *M. megalophylla* sólo se capturaron en el pastizal, *P. personatus* en la selva y *D. aztecus* en el cafetal. Mientras que especies como *L. brachyotis* y *P. helleri* se capturaron en dos tipos de cobertura (cafetal y pastizal), el resto de las especies estuvieron representadas en los tres tipos de cobertura. Este patrón de abundancia puede ser explicado por la adaptación de los murciélagos a la constante

interferencia humana y al distinto grado de perturbación de los fragmentos de los tipos de vegetación del paisaje en estudio (Lesinski 2007, Jung y Kalko 2010).

La variabilidad en la abundancia de la comunidad de murciélagos puede deberse al tipo de forrajeo. Las especies de murciélagos con mayor abundancia (*A. jamaicensis* y *C. sowelli*) son indicadoras de un forrajeo en hábitats abiertos, mientras que las menos abundantes (*A. lituratus*, *D. aztecus*, *M. megalophylla*, *P. personatus*, *P. helleri* y *S. liliium*) forrajearon en los sitios con mayor diversidad vegetal (Fenton *et al.* 1992, Mena 2010). Es decir, independientemente del grado de perturbación, los murciélagos oportunistas estuvieron presentes en los tres tipos de vegetación (Medellín *et al.* 2000), mientras que, los murciélagos con bajas abundancias se capturaron en los sitios donde la vegetación cuenta con mayor diversidad florística como la selva y el cafetal (Jung y Kalko 2010, Russo y Ancillotto 2015).

La comunidad de murciélagos bajo estudio estuvo compuesta por ocho especies del gremio frugívoro, tres del insectívoro y una especie necarívora. Evidentemente, la presencia de las especies que componen estos gremios tróficos se adaptan a cambios en los ecosistemas producidos por el hombre; sin embargo, la ausencia de especies de murciélagos del gremio omnívoro y hematófago en el muestreo, pueden ser un indicador de recursos disponibles escasos para estas especies (Kraker-Castañeda y Echeverría-Tello 2012). La colisión con vehículos es la principal causa que afecta a la fauna silvestre debido a que aumentan las tasas de mortalidad, fungen como barreras geográficas artificiales y pueden ser un impedimento físico para la migración o dispersión de las especies (Monge-Nájera 1996). El efecto de las carreteras sobre los murciélagos parece variar dependiendo el grupo de murciélagos, hábitos forrajeros y época del año (Russell *et al.* 2009) y se ha demostrado que un número considerable de muertes de murciélagos son causadas por colisiones con vehículos (Lesinski 2007, Gaisler *et al.* 2009, Russell *et al.* 2009, Lesinski *et al.* 2011), pero este estudio no generó tal evidencia. El efecto

del flujo vehicular sobre la comunidad de murciélagos puede deberse al efecto del periodo invernal en el que se realizó el monitoreo (Berthinussen y Altringham 2012a), al comportamiento forrajero de los murciélagos (Myczko *et al.* 2017), y a la construcción de la autopista como los puentes vehiculares superiores e inferiores, obras de drenaje y taludes de 3 m con vegetación nativa (Cervantes-Huerta *et al.* 2017), pueden ser factores que influyen en el mantenimiento de la estructura de la comunidad. En estudios futuros se pueden considerar el tipo de carretera, horario de mayor flujo vehicular y relacionarlos con la actividad de los murciélagos para conocer los efectos a menor escala (Myczko *et al.* 2017).

Se detectó un posible efecto de borde que debe tomarse con cautela, que sugiere un efecto de barrera (Russell *et al.* 2009), lo cual debe determinarse en estudios futuros. Pero los valores de riqueza y abundancia de especies de murciélagos se concentraron en el sitio de muestreo más alejado de la autopista con pastizal y vegetación secundaria, donde posiblemente es un espacio con menor perturbación antrópica (Van der Ree *et al.* 2011). En contraste con el sitio de muestreo 1 ubicado a 30 m de la autopista, un área con un remanente de selva mediana subperennifolia perturbada con mayor intensidad de ruido y luz vehicular, se tuvo una menor riqueza y abundancia de especies de murciélagos (Abbott *et al.* 2012). Estos efectos de borde no fueron reportados por Abbott *et al.* (2012), ya que algunas especies de murciélagos optan por realizar vuelos bajos y cruzan en sitios donde los árboles maduros no han sido talados. Pero debido al número de murciélagos que cruzan, se tiene mayor posibilidad de colisión, debido a que la mayoría de las especies de murciélagos vuelan a velocidades bajas (< 20 km/h) y entre 0 y 4 m del suelo (Russell *et al.* 2009, Berthinussen y Altringham 2012b).

Algunos murciélagos parecen tolerar las urbanizaciones y aprovechan la presencia de luces artificiales, que atraen insectos, por lo que los usan como sitios de forrajeo (Jung y Kalko 2010). También algunos faros de luz atraen mayor cantidad de insectos, de modo que especies insectívoras como *Pipistrellus pipistrellus* utilizan con mayor intensidad

el espacio aéreo próximo (Adán *et al.* 2007). Mientras que las especies *Barbastella barbastellus* (Myczko *et al.* 2017) y *Nyctalus noctula* (Bogdanowicz *et al.* 1999) del gremio insectívoro utilizan caminos asfaltados como sitios de forrajeo y se alimentan a alturas donde el ruido es menor (Bogdanowicz *et al.* 1999). Por lo que el desarrollo y la intensificación urbana como las autopistas, puede tener efectos positivos o negativos sobre las poblaciones de murciélagos, principalmente del gremio insectívoro (Sánchez 2011). La luz artificial de los vehículos puede ejercer cambios en la estructura de la comunidad de murciélagos (Stone *et al.* 2009). Sin embargo, especies del gremio insectívoro que son atraídos por insectos con fototaxis positiva (Jung y Kalko 2010), pueden usar estos espacios como sitios de forrajeo (Van der Reed *et al.* 2011), a pesar de estar cercanos a construcciones vehiculares (Bogdanowicz *et al.* 1999, Adán *et al.* 2007).

El ruido es otro factor importante que modifica la distribución y abundancia de murciélagos en zonas perturbadas, afectando a especies del género *Myotis* (Jones y Rayner 1988, Bogdanowicz *et al.* 1999, Luo *et al.* 2015). Especies de murciélagos insectívoros con preferencia de hábitat como *M. myotis*, son conocidos por su dependencia de la escucha pasiva de los sonidos de sus presas al cazar y por lo tanto evita la contaminación acústica (Schaub *et al.* 2008, Siemers y Schaub 2011). En el presente estudio, se puede deducir que los murciélagos de esta zona eviten forrajear cerca de las carreteras y se alejen a zonas donde el ruido es menor y les permitan ecolocalizar de forma eficaz (Waters y Jones 1995).

No se encontraron evidencias sobre quirópteros atropellados, probablemente a la dificultad de encontrar sus restos, ya que, en los recorridos de la autopista, no se encontraron evidencias. Factores asociados a la dificultad de encontrar sus restos por su rápida descomposición (Grotsky *et al.* 2011, Medinas *et al.* 2013) o por el consumo por especies carroñeras u oportunistas (Slater 2002, Stone *et al.* 2009) como mapaches (*Procyon lotor*), zorras (*Urocyon cinereoargenteus*) y zopilotes (*Coragyps atratus*), especies observadas en campo, limitan la evidencia de restos (Lesinski 2007, Gaisler *et al.* 2009,

Russell *et al.* 2009, Lesinski *et al.* 2011).

Los murciélagos representan un grupo vulnerable ante los desarrollos viales, debido a su baja fecundidad y la necesidad de grandes áreas con hábitat conservado (Altringham 2008), pero también es posible que la comunidad de murciélagos registrados, usen el espacio independientemente de la perturbación de la luz artificial y el ruido vehicular (Myczko *et al.* 2017). Los efectos que las carreteras pueden ejercer sobre la comunidad de murciélagos son difícilmente cuantificables (Sánchez 2011, Abbott *et al.* 2012). Por lo que se recomienda en estudios futuros medir la intensidad lumínica y el ruido en los sitios de monitoreo para correlacionar estas variables con la estructura de la comunidad de murciélagos (Medinas *et al.* 2013).

CONCLUSIONES

El flujo vehicular no afecta de manera significativa la estructura de la quiroptero fauna presente en la región centro del estado de Veracruz, ya que la estructura de la comunidad de murciélagos no presentó diferencias entre el número efectivo de especies. En tres gremios tróficos se clasificaron las especies de murciélagos, consideradas especies generalistas de hábitat y tolerantes a la perturbación. La mayor riqueza y abundancia de murciélagos se concentró en el sitio más alejado de la autopista, lo que refleja un efecto borde debido a la respuesta de la comunidad de murciélagos ante el ruido e intensidad lumínica. Aunque no se encontraron evidencias del impacto de las autopistas sobre la comunidad de murciélagos, no debe minimizarse que este es un grupo vulnerable ante los desarrollos viales en ecosistemas selváticos, ya que un gran número de especies requieren de grandes áreas de hábitat o masas densas de bosque.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT por la licencia de colecta científica (SGPA/DGVS/001892/18). Al proyecto "Caracterización de recursos zoogenéticos de las

Altas Montañas, Veracruz: aplicación de la filogeografía y modelación ecológica (PRODEP: 511-6/18-9245/PTC-896) por el financiamiento del estudio. A Juan Antonio Pérez Sato por facilitar el acceso al área de estudio. A Livia León Paniagua de la

Colección de Mamíferos del Museo de Zoología Alfonso L. Herrera, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional Autónoma de México, por su ayuda en la identificación de *Glossophaga soricina*.

LITERATURA CITADA

- Abbott IM, Butler F, Harrison S (2012) When flyways meet highways - The relative permeability of different motorway crossing sites to functionally diverse bat species. *Landscape and Urban Planning* 106: 293-302.
- Adán JJ, Ayuso AM, Rodríguez A (2007) Efectos de las infraestructuras viarias en los vertebrados. En: *Sociedad Granatense de Historia Natural (Ed.). Biodiversidad y Conservación de Fauna y Flora en Ambientes Mediterráneos*. Sociedad Granatense de Historia Natural. España. pp: 839-858.
- Altringham JD (2008) *Bat ecology and mitigation. Public Inquiry into The A350 Westbury Bypass 2008*. White Horse Alliance. Neston, Wiltshire, U.K. 37p.
- Arroyave M, Gómez C, Gutiérrez M, Múñera D, Zapata P, Vergara I, Andrade L, Ramos C (2006) Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA* 5: 45-57.
- Berthinussen A, Altringham J (2012a) The effect of a major road on bat activity and diversity. *Journal of Applied Ecology* 49: 82-89.
- Berthinussen A, Altringham J (2012b) Do bat gantries and underpasses help bats crossroads safely? *PLoS One* 7: e38775. Doi: 10.1371/journal.pone.0038775.
- Bogdanowicz W, Fenton MB, Daleszczyk K (1999) The relationships between echolocation calls, morphology and diet in insectivorous bats. *Journal of Zoology* 247: 381-393.
- Briones MA, Sánchez V, Santos A (2005) Diversidad de murciélagos en un gradiente altitudinal de la sierra Mazateca, Oaxaca, México. En: *Sánchez-Cordero V, Medellín RA (Eds.) Contribuciones mastozoológicas en homenaje a Bernardo Villa*. Instituto de Biología e Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp: 67-76.
- Calderón-Patrón JM, Briones-Salas M, Moreno CE (2013) Diversidad de murciélagos en cuatro tipos de bosque de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Therya* 4: 121-137.
- Cervantes-Huerta R, Escobar J, García-Chávez H, González-Romero A (2017) Atropellamiento de vertebrados en tres tipos de carretera de la región montañosa central de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 33: 472-481.
- Chao A, Gotelli NJ, Hsieh TC, Sander EL, Ma KH, Colwell RK, Ellison AM (2014) Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monograph* 84: 45-67.
- Chao A, Ma KH, Hsieh TC (2016) iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide. Disponible en: http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2019.
- Cházaro-Basáñez MJ (1992) Exploraciones botánicas en Veracruz y estados circunvecinos. I. Pisos altitudinales de vegetación en el centro de Veracruz y zonas limítrofes con Puebla. *Revista La Ciencia y El Hombre* 10: 67-115.

- Ciechanowski M, Zając T, Biłas A, Dunajski R (2007) Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics: effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Canadian Journal of Zoology* 85: 1249-1263.
- Clark BK, Clark BS, Johnson LA, Haynie MT (2001) Influence of roads on movements of small mammals. *Southwest Naturalist* 46: 338-344.
- Cumming G, Fidler F, Vaux DL (2007) Error bars in experimental biology. *The Journal of Cell Biology* 177: 7-11.
- Fenton MB, Acharya L, Audet D, Hickey MBC, Merriman C, Obrist MK, Syme DM, Adkins B (1992) Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. *Biotropica* 24: 440-446.
- Gaisler J, Řehák Z, Bartonička T (2009) Bat casualties by road traffic (Brno-Vienna). *Acta Teriologica* 54: 147-155.
- García-García JL, Santos-Moreno A (2009) Murciélagos de la Ventosa, Oaxaca: comparación entre el muestreo convencional y el muestreo acústico. *Naturaleza y Desarrollo* 7: 19-29.
- Giannini N, Kalko E (2004) Trophic structure in a large assemblage of phyllostomids bats in Panama. *Oikos* 105: 209-220.
- González-Christen A, Delfín-Alfonso CA (2016) Los mamíferos terrestres de Veracruz, México y su protección. En: Briones-Salas M, Hortelano-Moncada Y, Magaña-Cota G, Sánchez-Rojas G, Sosa-Escalante JE (Eds.). *Riqueza y conservación de los mamíferos en México a nivel estatal*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. y Universidad de Guanajuato. México. pp: 499-534.
- González-Gallina A, Benítez-Badillo G (2013) Road ecology studies for México: A review. *Oecologia Australis* 17: 175-190.
- González-Gallina A, Benítez-Badillo G, Rojas-Soto OR, Hidalgo-Mihart MG (2013) The small, the forgotten and the dead: highway impact on vertebrates and its implications for mitigation strategies. *Biodiversity and Conservation* 22: 325-342.
- Grodsky SM, Behr MJ, Gendler A, Drake D, Dieterle BD, Rudd RJ, Walrath NL (2011) Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. *Journal of Mammalogy* 92: 917-925.
- Hill MO (1973) Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54: 427-432.
- Jones G (1995) Flight performance, echolocation and foraging behavior in noctule bats, *Nyctalus noctula*. *Journal of Zoology* 237: 303-312.
- Jones G, Rayner JMV (1988) Flight performance, foraging tactics and echolocation in free-living Daubenton's bats *Myotis daubentonii* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Journal of Zoology* 215: 113-132.
- Jost L (2006) Entropy and diversity. *Oikos* 113: 363-375.
- Jost L (2010) The relation between evenness and diversity. *Diversity* 2: 207-232.
- Jung K, Kalko EK (2010) Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy* 91: 144-153.
- Kerth G, Melber M (2009) Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. *Biological Conservation* 142: 270-279.
- Kraker-Castañeda C, Echeverría-Tello JL (2012) Riqueza de especies y variabilidad trófica de murciélagos en zonas de riesgo de rabia de origen silvestre en Izabal, Guatemala. *Therya* 3: 87-99.

- Laurance WF, Lovejoy TE, Vasconcelos HL, Bruna EM, Didham RH, Stouffer PC, Gascon C, Bierregaard RO, Laurance SG, Sampaio E (2002) Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22 years investigation. *Conservation Biology* 16: 605-618.
- Lesinski G (2007) Bat road casualties and factors determining their number. *Mammalia* 71: 138-142.
- Lesinski G, Sikora A, Olszewski A (2011) Bat casualties on a road crossing a mosaic landscape. *European Journal of Wildlife Research* 57: 217-223.
- Luo J, Siemers BM, Koselj K (2015) How anthropogenic noise affects foraging. *Global Change Biology* 21: 3278-3289.
- Medellín RA, Arita H, Sánchez O (2008) Identificación de los murciélagos de México, clave de campo. Segunda edición. Instituto de Ecología, UNAM, México. 78p.
- Medellín R, Equihua M, Amin M (2000) Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in Neotropical Rainforests. *Conservation Biology* 14: 1666-1675.
- Medinas D, Marqués JT, Mira A (2013) Assessing road effects on bats: the role of landscape, road features, and bat activity on road-kills. *Ecological Research* 28: 227-237.
- Mena JL (2010) Respuestas de los murciélagos a la fragmentación del bosque en Pozuzo, Perú. *Revista Peruana de Biología* 17: 277-284.
- Mickleburgh SP, Hutson AM, Racey PA (2002) A review of the global conservation status of bats. *Oryx* 36: 18-34.
- Monge-Nájera J (1996) Vertebrate mortality on tropical highways: the Costa Rican case. *Revista de Biología Tropical* 5: 154-156.
- Myczko L, Sparks T, Skorka P, Rosin Z, Kwiecinski Z, Gorecki M, Tryjanowski P (2017) Effect of local and car traffic on the occurrence pattern and foraging behavior of bats. *Transportation Research Part D* 56: 222-228.
- Musila S, Bogdanowicz W, Syingi R, Zuhura A, Chylarecki P, Rydell J (2019) No lunar phobia in insectivorous bats in Kenya. *Mammalian Biology* 95: 77-84.
- Pardini R, Faria D, Accacio GM, Laps RR, Mariano-Neto E, Paciencia ML, Baumgarten J (2009) The challenge of maintaining Atlantic forest biodiversity: a multi-taxa conservation assessment of specialist and generalist species in an agro-forestry mosaic in southern Bahia. *Biological Conservation* 142: 1178-1190.
- Pech-Canché JM, Villegas P, Chamorro-Florescano IA, Méndez JLA, Lozano-Rodríguez MA (2018) Lunar phobia in phyllostomid bats at La Ceiba, Tuxpan, Veracruz. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5: 165-170.
- Peter PF, Molina VG, Rodríguez J, Grilo C (2013) Effects of roads on spatial behavior and abundance of small mammals: gaps in knowledge. *Oecologia Australis* 17: 63-76.
- Pineda E, Moreno C, Escobar F, Halffter G (2005) Frog, bat and dung beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz. *Conservation Biology* 19: 400-410.
- Russell AL, Butchkoski CM, Saidak L, McCracken GF (2009) Road-killed bats, highway design, and the commuting ecology of bats. *Endangered Species Research* 8: 49-60.
- Russo D, Ancillotto L (2015) Sensitivity of bats to urbanization: a review. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde* 80: 205-212.
- Rydell J (2006) Bats and their insect prey at streetlights. En: Longcore RC (ed.) *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press. Washington, E.U. pp: 43-60.

- Saldaña-Vázquez RA, Sosa VJ, Hernández-Montero JR, López-Barrera F (2010) Abundance responses of frugivorous bats (Stenodermatinae) to coffee cultivation and selective logging practices in mountainous central Veracruz, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 19: 2111-2124.
- Sánchez F (2011) La heterogeneidad del paisaje del borde norte de Bogotá (Colombia) afecta la actividad de los murciélagos insectívoros. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica* 14: 71-80.
- Schaub A, Ostwald J, Siemers BM (2008) Foraging bats avoid noise. *Journal of Experimental Biology* 211: 3174-3180.
- Siemers BM, Schaub A (2011) Hunting at the highway: traffic noise reduces foraging efficiency in acoustic predators. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 278: 1646-1652.
- Slater FM (2002) An assessment of wildlife road casualties - the potential discrepancy between numbers counted and numbers killed. *Web Ecology* 3: 33-42.
- Stone EL, Jones G, Harris S (2009) Street lighting disturbs commuting bats. *Current Biology* 19: 1-5.
- Tschapka M (1998) A compact and flexible method for mist-netting bats in the subcanopy and canopy. *Bat Research News* 39: 140-141.
- Tseng P, Lin D, Chien S (2014) Investigating the impact of highway electronic toll collection to the external cost: A case study in Taiwan. *Technological Forecasting and Social Change* 86: 265-272.
- Van der Reed R, Jaeger JA, Van der Grift EA, Clevenger AP (2011) Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving toward larger scales. *Ecology and Society* 16: 48-57.
- Waters D, Jones G, Furlong M (1999) Foraging ecology of Leisler's bat (*Nyctalus leisleri*) at two sites in southern Britain. *Journal of Zoology* 249: 173-180.
- Waters DA, Jones G (1995) Echolocation call structure and intensity in five species of insectivorous bats. *Journal of Experimental Biology* 198: 475-489.
- Zar JH (2010) *Biostatistical Analysis*. Pearson New International Edition. UK. 662p.