

Vertebrados silvestres atropellados en carreteras del sureste de México

Wild vertebrates' roadkill across on roads in southeastern Mexico

Marcos Briceño-Méndez^{1*} , Salvador Montiel¹ , Yamili Contreras-Perera² , Romeo Sánchez-Zavalegui³ 

¹Laboratorio de Ecología y Conservación de la Biodiversidad (LAECBIO), Departamento de Ecología Humana. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), Unidad Mérida. CP. 97310. Mérida Yucatán, México.

²Unidad Colaborativa para Bioensayos Entomológicos y Laboratorio para el Control Biológico de *Aedes aegypti*, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Km. 15.5 Carr. Mérida-Xmatkuil s.n., Mérida, Yucatán CP. 97315, México.

³Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Campus Chetumal Bahía. Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, CP. 77019, Col. Del Bosque, Chetumal. Quintana Roo, México.

*Autor de correspondencia: marcos.briceno@cinvestav.mx

Nota científica

Recibida: 31 de mayo 2024

Aceptada: 12 de diciembre 2024

RESUMEN. Las carreteras son vías de comunicación terrestres que promueven el desarrollo económico y social. También, representan espacios de cruce de animales silvestres, los cuales pueden morir por atropellamiento. Se evaluó la mortalidad de vertebrados silvestres atropellados en dos tramos carreteros (Hopelchen-Dzibalchen y Dzibalchen-Xpujil), en el estado de Campeche, México. En 156 km, se registró un total de 142 animales atropellados, representando 28 especies de vertebrados silvestres: mamíferos (54%), reptiles (25%), aves (17%) y anfibios (4%). El 14% de las especies registradas están protegidas por la legislación mexicana. Los atropellamientos de fauna no estuvieron asociados con la temporada del año, pero se identificaron 19 puntos del trayecto vial con más casos registrados. Los mamíferos son los más afectados por el atropellamiento, se recomienda instalar señalética vial para prevenir tales atropellamientos sobre todo en tramos carreteros próximos a asentamientos humanos y áreas protegidas, como la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

Palabras clave: Atropellamiento vehicular, fauna silvestre, Reserva de la Biosfera de Calakmul, México.

ABSTRACT. Roads are terrestrial communication routes that promote economic and social development worldwide. However, they also represent often deadly crossing spaces for wildlife, which can die from collisions. Assessed the mortality of wild vertebrates killed by vehicle collisions on two highway sections (Hopelchen-Dzibalchen and Dzibalchen-Xpujil), in the state of Campeche, Mexico. In the 156 km evaluated, a total of 142 animals were hit by cars, classified into 28 species of wild vertebrates: mammals (54%), reptiles (25%), birds (17%) and amphibians (4%). At least 14 % of the recorded species are protected by Mexican legislation. That wildlife accidents were not associated with the season, but 19 points along the road were identified with more registered cases. The mammals are most affected by vehicle accidents, especially at road points where it is recommended to install road signs to prevent wildlife accidents, such as human settlements and protected areas such as the Calakmul Biosphere Reserve.

Keywords: Vehicle collision, Wildlife, Calakmul Biosphere Reserve, México.

Como citar: Briceño-Méndez M, Montiel S, Contreras-Perera Y, Sánchez-Zavalegui R (2025) Vertebrados silvestres atropellados en carreteras del sureste de México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(1): e4200. DOI: 10.19136/era.a12n1.4200.

INTRODUCCIÓN

A nivel global, el establecimiento y operación de carreteras para el flujo vehicular constituye una seria amenaza para la vida silvestre, por los atropellamientos concomitantes del tráfico vehicular sobre vertebrados terrestres (Schwartz *et al.* 2020), incluidos anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Rojano-Bolaño y Avila-Avilan 2021). El riesgo de atropellamiento para la fauna silvestre está asociado a las áreas de distribución geográfica de las especies y la ubicación de la carretera (proximidad a reservas o áreas naturales protegidas, conectividad paisajística, carga vehicular) e incluso a la estacionalidad (lluvias *vs* secas) en determinadas regiones (Pinto *et al.* 2018). Por ejemplo, se ha documentado que durante la temporada húmeda hay más atropellamientos de anfibios y reptiles en comparación con otros grupos de fauna debido a que en lluvias, esos vertebrados presentan una mayor movilidad con fines reproductivos (búsqueda de micrositios con mayor humedad), de alimentación e incluso, para evasión de depredadores (Anđelković y Bogdanović 2022). También se sabe que los vertebrados en general corren más riesgo de atropellamiento vehicular en carreteras que pasan por vertederos de residuos antrópicos, sólidos usualmente próximos a asentamientos humanos (Kent *et al.* 2021, Engert *et al.* 2024).

En México, la mayoría de los estudios sobre animales silvestres atropellados se han realizado en carreteras de las vertientes del Golfo y Pacífico, con casos recientes en zonas vinculadas al trayecto del Tren Maya en el sureste de México (Bauni *et al.* 2017, Cervantes-Huerta *et al.* 2018, Delgado-Trejo *et al.* 2018, Canales-Delgadillo *et al.* 2020, Benítez y Escalona-Segura 2021). No obstante, en esta región (incluida la Península de Yucatán) aún existen muchas carreteras sin monitorear limitando con ello una visualización amplia sobre los riesgos de cruce (usualmente mortales) en vías de comunicación terrestre para la fauna silvestre Neotropical. Como el caso de la Región de de la Región de Calakmul, particularmente en las inmediaciones de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, donde la población humana ha aumentado un 18% en la última década, lo que implica, entre otras cosas, incrementos notables en la carga vial de la infraestructura carretera (INEGI 2020).

Hasta ahora no se ha aportado información sobre atropellamientos de animales silvestres para la zona norte de Calakmul como una primera aproximación acerca de la mortalidad en carreteras para la fauna regional. El objetivo de este estudio es contribuir al conocimiento del impacto vehicular sobre vertebrados terrestres en dos importantes tramos carreteros y en dos estaciones climáticas distintas (secas y lluvias), en el contexto socioambiental de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó al cabo en dos tramos de las carreteras federales 261 y 269. El primer tramo de inicio (18°30'53.54 LN, 89°23'47.04' LO) y fin (19°14'9.09"LN, 89°19'35.52" LO) respectivamente de la carretera Hopelchén-Dzibalchén (no. de carretera 261), con una longitud aproximada de 39 km. El segundo tramo dio inicio (19°14'9.19 LN, 89°19'35.46' LO) y fin (19°44'24.15"LN, 89°49'42.34" LO) respectivamente de la carretera Dzibalchen-Xpujil (No. de carretera 269), con una longitud

aproximada de 117 km, que interconectan las poblaciones de Hopelchen-Dzibalchen y Dzibalchen-Xpujil, respectivamente, en el sur del estado de Campeche, México (Figura 1).

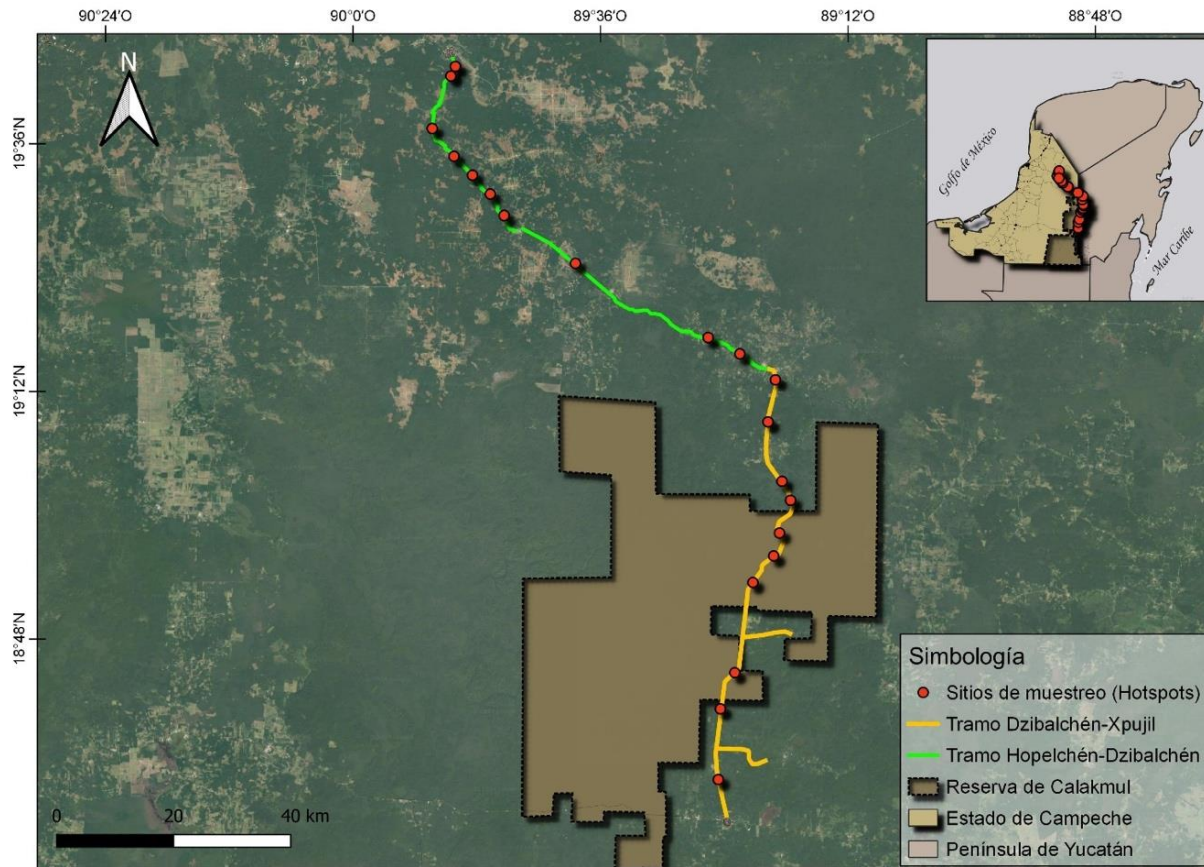


Figura 1. Ubicación de los tramos carreteros 261 y 269 (Hopelchen-Dzibalchen en color naranja y Dzibalchen-Xpujil en color verde). Nótese que el tramo Dzibalchen-Xpujil se ubica dentro de la parte Norte de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México.

El clima regional es cálido-subhúmedo, con una temperatura media anual de 24.6 °C y una precipitación anual de 500- 2 500 mm, presentando una temporada seca en noviembre-mayo y una temporada de lluvias en junio-octubre (García 2004). La vegetación que existe incluye: 1) selvas medianas subperenifolias con árboles que alcanzan alturas entre 15 y 25 m, 2) selvas bajas inundables subperenifolias con árboles dominantes con menos de 15 m de altura, 3) selvas bajas secas que se caracterizan por presentar árboles con alturas menores de 15 m y 4) vegetación secundaria que se desarrolla una vez que la vegetación original ha sido eliminada, las especies de flora representativa incluyen al ramón (*Brosimum alicastrum*) y el zapote (*Manilkara zapota*) (Pennington y Sarukhan 1998). Entre las especies de fauna silvestre representativas se encuentran grandes depredadores como el jaguar (*Panthera onca*) y el puma (*Puma concolor*) (Amador *et al.* 2013), así como el tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) (Naranjo *et al.* 2004), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) (Briceño-Méndez *et al.* 2021), el pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*) y pecarí de collar (*Dicotyles tajacu*) sujetas a cacería de subsistencia por la población local en la región de estudio (Reyna-Hurtado y Tanner 2007, Briceño-Méndez *et al.* 2016).

Los tramos carreteros estudiados presentan un gradiente de urbanización bajo (SCT 2023), con vías asfálticas de dos carriles que atraviesan asentamientos humanos, áreas agrícolas y ganaderas, y con presencia de vertederos de residuos sólidos a lo largo del trayecto (Figura 2).



Figura 2. A) Los vertederos de residuos sólidos a cielo abierto sobre la orilla de la carretera funcionan como atractores para la fauna, incrementando la probabilidad de atropellamientos vehiculares de vertebrados silvestres en carreteras del sureste de México. B) Ejemplar de *Eira barbara* atropellado, C) Ejemplar de *Tamandua mexicana*. Ambas especies se encuentran catalogadas en peligro de extinción por la legislación mexicana.

Se ha reportado que el flujo vehicular para ambas carreteras es de 7 661 vehículos por año y la densidad poblacional ronda las 500 personas por km² para los asentamientos humanos referidos como urbanización baja en la región de estudio según datos de la secretaria de comunicaciones y transporte (SCT 2023).

Para el monitoreo de los animales atropellados en carretera se realizaron recorridos diurnos (08:00-11:00 horas) a bordo de un vehículo desplazándose a una velocidad recomendada menor de 40 km/h (Rojano-Bolaño y Avila-Avilan 2021, García-Sánchez *et al.* 2023). Dichos recorridos fueron realizados una vez por mes en la temporada de lluvias (junio-octubre, 2023) y seca (noviembre-diciembre, 2023; enero-abril, 2024) en ambas carreteras federales. Durante cada recorrido, los animales atropellados fueron registrados y retirados del sitio para evitar la duplicidad de registros posteriores (García-Sánchez *et al.* 2023).

Para cada animal atropellado se identificó la especie con ayuda de guías de campo especializadas (Peterson y Chalif 1989, Köhler 2008, Álvarez-Castañeda *et al.* 2015). En todos los casos, se indagó su estatus de conservación con base en la norma oficial mexicana (SEMARNAT 2010) y la lista de especies de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2024).

Para ambos tramos carreteros, la mortalidad (individuos/día/kilómetro) local fue estimada mediante la función "Mortality Rate Estimate" con el software libre SIRIEMA V.2 (Coelho *et al.* 2012, Dornas 2018). Para este análisis se incluyó la longitud de cada tramo carretero (41 km para carretera

261; 115 km para carretera 269), el número de individuos por especie y grupo, el intervalo de muestreo (18.5 días) y el tiempo de remoción de cadáveres (transcurridas 24 horas), para evitar la duplicidad de registros en los análisis (Coelho *et al.* 2012, García-Sánchez *et al.* 2023). Para comparar la mortalidad entre temporadas se aplicó una prueba U de Mann-Whitney a partir del número total de atropellamientos en los periodos de registro para ambas carreteras.

Para determinar los puntos carreteros de mayor mortalidad, se usó un sistema de información geográfica Qgis 3.6 (2019) y un análisis de identificación mediante el estadístico K de Ripley 2D para conocer si la distribución de los atropellamientos presenta una agrupación espacial significativa y para probar la existencia o ausencia de agregaciones animales considerando los valores de intensidad de agregación con un nivel de confianza 95% (Coelho *et al.* 2012. Las agregaciones indican puntos críticos de atropellamiento (*hotspots*). Se identificaron estos puntos críticos en diferentes escalas espaciales utilizando el software SIRIEMA V.2 y la extensión SIRIERMA (Coelho *et al.* 2012, Dornas 2018, Cervantes-Huerta y Duran-Antonio 2022). Las pruebas estadísticas de comparación (U de Mann-Whitney) fueron realizadas con R 4.1.2 (R Development Core Team 2021), considerándose significativas a nivel de $p \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El impacto vehicular determinado en este estudio para ambos tramos carreteros (156 km acumulados) registró un total de 142 animales atropellados pertenecientes a 28 especies de vertebrados silvestres, lo cual es similar a estudios reportados en regiones con características similares al área de estudio (Coelho *et al.* 2008, Carvalho *et al.* 2017, Cervantes-Huerta *et al.* 2018, Cervantes-Huerta y Duran-Antonio 2022).

De los cuatro grupos de vertebrados evaluados el 54% son mamíferos, 25% reptiles, 17% aves y 4% anfibios. Específicamente, para el tramo Hopelchen-Dzibalchen se registró un total de 67 individuos atropellados a lo largo de 41 Km. Se identificaron correctamente 62 de los 67 individuos atropellados en el tramo Hopelchen-Dzibalchen, los cuales pertenecen a 16 especies. Las especies con mayor número de individuos atropellados fueron el tlacuache (*Didelphis virginiana*, 22%) y el tejón (*Nasua narica*, 21%), ambas especies representan los mayores registros de especies atropelladas en carreteras del golfo de México y la Península de Yucatán (SCT 2020). Solo cinco animales (tres aves y dos mamíferos) atropellados no fueron identificados debido a su alto grado de descomposición.

Para el tramo Dzibalchen-Xpujil se registró un total de 88 individuos atropellados a lo largo de 115 Km. Se identificaron correctamente 80 de los 88 individuos, los cuales pertenecen a 27 especies, siendo las más comunes el tlacuache (*D. virginiana*, 16%), el tejón (*N. narica*, 13%), la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*, 11%) y el mapache (*Procyon lotor*, 8%). En este tramo, ocho individuos (4 aves, 4 mamíferos) no se identificaron debido al alto grado de descomposición, esta característica ha sido documentada por Rendall *et al.* (2021) como factor limitante para la correcta identificación de vertebrados atropellados.

En ambos tramos carreteros, los mamíferos presentaron una mayor mortalidad (2.4 ind/día/km y 3.2 ind/día/km, para Hopelchen-Dzibalchen y Dzibalchen-Xpujil, respectivamente) en comparación con reptiles (0.43 y 0.64), anfibios (0.21 y 0.16) y aves (0.27 en ambas carreteras). Estos hallazgos representan la vulnerabilidad de la fauna al realizar sus cruces por carretera como parte de sus desplazamientos habituales en la matriz ambiental y por un flujo vehicular, cada vez más creciente y carente de señalamientos (Benítez y Escalona-Segura 2021).

En total se identificaron 19 hotspots para los cuatro grupos de vertebrados atropellados en ambos tramos carreteros. En el tramo Hopelchen-Dzibalchen se registraron 10 hotspots: tres para mamíferos (kilómetros 12.9-18.9, 20-30.5, 35-40), tres para anfibios (kilómetros 25.25, 30.5-35.5 y 38.5), dos para reptiles (kilómetros 23-26, 29-33.5) y dos para aves (kilómetros 15 y 19-24). En el tramo Dzibalchen-Xpujil se registraron nueve hotspots: tres para mamíferos (kilómetros 20-25, 35-40 y 50-65), tres para reptiles (kilómetros 70.5, 80-90.5, y 97-100.5), dos para aves (kilómetros 105 y 110-112) y uno para anfibios (kilómetros 99-114), estos tramos representan puntos de mayor probabilidad de atropellamiento para la fauna silvestre regional, en otros estudios se han reportado en promedio 10 hotspots, los cuales pueden estar asociados a una mayor disponibilidad de recursos para la fauna silvestre (Rendall *et al.* 2021). No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) para los grupos de vertebrados registrados entre la temporada lluviosa y seca en ambos tramos carreteros, contrario a lo reportado por Cervantes-Huerta y Duran-Antonio (2022) en donde señalan a los anfibios como los más vulnerables a los atropellamientos durante la temporada de lluvias.

Se encontró que tres especies están incluidas con la categoría de protección especial (*Conepatus semistriatus*, *L. brownorum* y *M. diastema*), tres en la categoría de amenazadas (*Coendou mexicanus*, *Herpailurus yagouaroundi* y *Boa constrictor*) y dos como en peligro de extinción señaladas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (*Eira barbara* y *T. mexicana*), sin embargo, todas las especies registradas en los atropellamientos son consideradas de preocupación menor por la UICN. Esta mortalidad de mamíferos por atropellamiento documentada en este estudio es similar a otros estudios en los que se ha determinado a los mamíferos como los vertebrados silvestres más vulnerables a los atropellamientos vehiculares en carreteras del golfo de México (Coelho *et al.* 2008, Carvalho *et al.* 2017, Cervantes-Huerta *et al.* 2018, Cervantes-Huerta y Duran-Antonio 2022) (Figura 3). No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) para los grupos de vertebrados registrados entre la temporada lluviosa y seca en ambos tramos carreteros (Tabla 1).

Se encontró que tres especies están incluidas con la categoría de protección especial (*Conepatus semistriatus*, *L. brownorum* y *M. diastema*), tres en la categoría de amenazadas (*Coendou mexicanus*, *Herpailurus yagouaroundi* y *Boa constrictor*) y dos como en peligro de extinción señaladas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (*Eira barbara* y *T. mexicana*) (Tabla 2). Todas las especies registradas en los atropellamientos son consideradas de preocupación menor por la UICN.

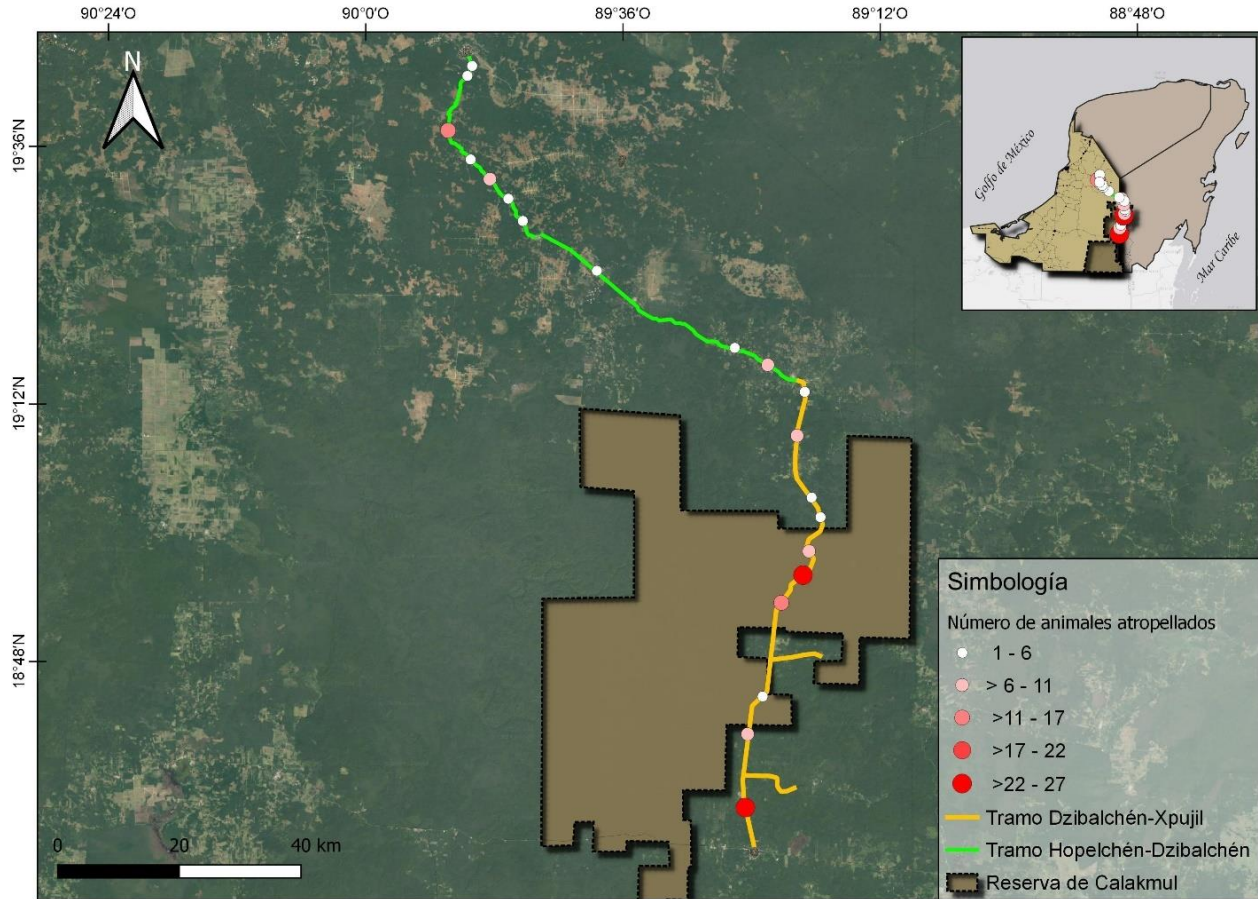


Figura 3. Ubicación de los tramos carreteros y los puntos críticos (*hotspots*) de atropellamiento identificados en la región de Calakmul, Campeche, México. Nótese que en la parte norte de la Reserva de la Biosfera de Calakmul; carretera 269 se identificaron cuatro *hotspots* y en dos se indica un mayor número de atropellos mayores a 17 y 22 individuos respectivamente.

Tabla 1. Resultados de la prueba U de Mann-Whitney de la tasa de mortalidad registrada para los cuatro grupos de vertebrados silvestres durante la temporada lluviosa y seca en dos tramos carreteros en el estado de Campeche, México.

Rango promedio				
Grupo taxonómico/ Tramo Hopelchen-Dzibalchen	Secas	Lluvias	U	Valor de p
Mamíferos	7.50	8.23	19.5	0.933
Reptiles	2.91	3.66	9.0	0.821
aves	1.56	2.43	6.0	0.055
Anfibios	1.01	1.69	2.1	0.051
Grupo taxonómico/ Tramo Dzibalchen-Xpujil				
Mamíferos	5.55	7.60	24	0.978
Reptiles	6.39	6.83	19	0.980
aves	2.80	4.32	12	0.293
Anfibios	1.87	1.96	2.3	0.053

Tabla 2. Especies de vertebrados silvestres atropellados en dos tramos carreteros (carreteras 261 y 269) Hopelchen-Dzibalchen y Dzibalchen-Xpujil, respectivamente del Estado de Campeche, México. Para cada caso se muestra su estatus de protección como sujeta a protección especial (Pr), amenazada (A) o en peligro de extinción (P) por la norma mexicana (NOM-059).

Clase	Orden	Familia	Nombre científico	NOM-059	Total	
Mamíferos	Didelphimorphia	Didelphidae	<i>Didelphis virginiana</i>		14	
		Carnivora	Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Pr	6
		Carnivora	Mustelidae	<i>Eira barbara</i>	P	4
		Carnivora	Canidae	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>		10
		Carnivora	Procyonidae	<i>Nasua narica</i>		10
		Carnivora	Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>		10
		Artiodactyla	Tayassuidae	<i>Dicotyles tajacu</i>		1
		Pilosa	Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>	P	4
		Cingulata	Dasipodidae	<i>Dasybus novemcinctus</i>		10
		Rodentia	Erethizontidae	<i>Coendou mexicanus</i>	A	2
		Rodentia	Sciuridae	<i>Sciurus yucatanensis</i>		2
		Carnivora	Felidae	<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	A	1
		Rodentia	Sciuridae	<i>Sciurus deppei</i>		5
		Rodentia	Dasyproctidae	<i>Dasyprocta punctata</i>		2
		Rodentia	Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>		4
	Reptiles	Squamata	Corytophanidae	<i>Basiliscus vittatus</i>		7
Squamata		Teiidae	<i>Aspidoscelis angusticeps</i>		2	
Squamata		Boidae	<i>Boa constrictor</i>	A	4	
Squamata		Teiidae	<i>Holcosus undulatus</i>		4	
Squamata		Elapidae	<i>Micrurus diastema</i>	Pr	4	
Squamata		Viperidae	<i>Bothrops asper</i>		3	
Aves	Galliformes	Odontophoridae	<i>Colinus nigrogularis</i>		3	
	Passeriformes	Corvidae	<i>Cyanocorax yucatanicus</i>		4	
	Passeriformes	Corvidae	<i>Psilorhinus morio</i>		5	
	Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon melanocephalus</i>		3	
	Cathartiformes	Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>		4	
Anfibios	Anura	Bufoidea	<i>Rhinella horribilis</i>		5	
	Anura	Ranidae	<i>Lithobates brownorum</i>	Pr	9	
Total general					142	

Este estudio determina el impacto del tráfico vehicular sobre la fauna silvestre en dos importantes carreteras de la región de Calakmul Campeche, ligadas a áreas de proyectos nacionales (como el Tren Maya) que buscan promover el desarrollo social en el sureste mexicano (SHCP 2019, Barabas

2021, SCT 2023). Ante este escenario, las acciones de protección a la fauna se hacen no solo prioritarias sino urgentes. Aunque todas las especies identificadas ($N = 28$) ya han sido reportadas como víctimas mortales en otras carreteras regionales (Pozo-Montuy *et al.* 2021), en este estudio resalta dos aspectos sobresalientes: 1) el impacto diferencial de las carreteras sobre grupos de vertebrados, siendo los mamíferos el grupo más afectado y 2) el impacto del tráfico vehicular sobre la fauna, independiente de la temporada del año. El contexto socioambiental de las carreteras de estudio ligado a la aún vasta selva mesoamericana de Calakmul (Barabas 2021, Briceño-Méndez y Montiel 2022), promueve que en esta zona se incremente la vulnerabilidad de la fauna al realizar sus cruces por carretera 1) como parte de sus desplazamientos habituales en la matriz ambiental y 2) por un flujo vehicular, cada vez más creciente y carente de señalamientos precautorios que reduzcan las colisiones con vertebrados terrestres (Benítez y Escalona-Segura 2021).

La mortalidad de fauna por atropellamiento documentada en este estudio es similar a otros estudios en los que se ha determinado a los mamíferos como los vertebrados silvestres más vulnerables a los atropellamientos vehiculares en carretera (Coelho *et al.* 2008, Carvalho *et al.* 2017, Cervantes-Huerta *et al.* 2018, Cervantes-Huerta y Duran-Antonio 2022). Dicha vulnerabilidad es consecuencia de sus patrones de movilidad que integran amplios desplazamientos (principalmente nocturnos) que coinciden con periodos de mayor carga vehicular asociada al suministro de insumos para la población (Arroyave *et al.* 2006).

Los hotspots identificados representan tramos carreteros con mayor probabilidad de atropellamiento para la fauna silvestre regional. Dichos *hotspots* pueden estar asociados a una mayor disponibilidad de recursos (como alimento, refugios) para la fauna silvestre (Rendall *et al.* 2021) y, por tanto, deben ser prioritarios para instalar señalética precautoria en carreteras, sobre todo si se trata de áreas próximas a reservas ecológicas (Kreling *et al.* 2019, Kent *et al.* 2021, Rendall *et al.* 2021). La información sobre puntos de afectación a la fauna regional como los aquí reportados, es fundamental y por tanto altamente requeridos, para el establecimiento y operación de pasos de fauna como parte de las acciones de mitigación ambiental en carreteras de nuestro país (SCT 2020). Este estudio resalta la necesidad de acciones urgentes para evitar la afectación en carreteras de especies sujetas a protección especial, no solo de mamíferos si no también, de los otros grupos (anfibios, aves y reptiles), dada la importancia sobre su rol y funcionamiento de los ecosistemas y cadenas tróficas.

En la región de estudio los mamíferos son los vertebrados silvestres más afectados por el tráfico vehicular. Se identificaron puntos carreteros que requieren ajustes en la señalética vial para prevenir atropellamientos de fauna. Se debe prestar atención a los puntos críticos próximos a asentamientos humanos y áreas protegidas como la Reserva de la Biosfera de Calakmul, por lo tanto, en este estudio se contribuye al conocimiento del impacto vehicular sobre vertebrados terrestres en dos importantes tramos carreteros (en caso particular la zona norte de la Reserva de la Biosfera de Calakmul) y en dos estaciones climáticas distintas.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo técnico y las facilidades para este trabajo por LAECBIO del CINVESTAV-Mérida. Armando Rojas brindó apoyo en actividades de campo para la toma de datos y fotografías. Este trabajo se realizó durante una estancia posdoctoral del primer autor, bajo la supervisión del Dr. Salvador Montiel, contando con una beca (#877786) del CONAHCYT-México.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Castañeda ST, Álvarez T, González-Ruiz N (2015) Guía para la identificación de los mamíferos de México en campo y laboratorio= keys for identifying Mexican Mammals in the field and in the laboratory. Primera Edición. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. y Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. México. 528p
- Amador AS, Naranjo EJ, Jimenez FG (2013) Wildlife predation on livestock and poultry: Implications for predator conservation in the rainforest of south-east Mexico. *Oryx* 2: 243-250.
- Andelković M, Bogdanović N (2022) Amphibian and reptile road mortality in special nature reserve Obedska Bara, Serbia. *Animals* 12(5): 561. <https://doi.org/10.3390/ani12050561>
- Arroyave MP, Gómez C, Gutiérrez ME, Múnera D, Zapata P, Vergara C, Andrade L, Ramos K (2006) Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia* 5: 45-57.
- Barabas AM (2021) El Tren Maya: un megaproyecto controvertido. Cuicuilco. *Revista de Ciencias Antropológicas* 28(82): 255-264.
- Bauni V, Anfuso J, Schivo F (2017) Mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos en el bosque atlántico del Alto Paraná, Argentina. *Ecosistemas*: 26: 54-66. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-3.08>
- Benítez JA, Escalona-Segura G (2021) Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas: Estudios de caso para el sureste. Campeche, Campeche, México: El Colegio de la Frontera Sur. 732p
- Briceño-Méndez M, Contreras-Perera Y, Montiel S (2021) Subsistence hunting during the COVID-19 pandemic: The case of the white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in rural communities of Calakmul, Campeche, Mexico. *Tropical Conservation Science* 14: 1-7.
- Briceño-Méndez M, Montiel S (2022) Entre jabalíes de labios blancos y puercos de monte en Calakmul. *Therya ixmana* 1(3): 95-97. https://doi.org/10.12933/therya_ixmana-22-249
- Briceño-Méndez M, Naranjo EJ, Mandujano S, Altrichter M, Reyna-Hurtado R (2016) Responses of two sympatric species of peccaries (*Tayassu pecari* and *Pecari tajacu*) to hunting in Calakmul, Mexico. *Tropical Conservation Science* 9: 1-11.
- Canales-Delgadillo J, Pérez-Ceballos R, Zaldívar-Jiménez A, Gómez-Ponce M, Vázquez-Pérez N, De la Rosa M, Potenciano-Morales L (2020) Muertes por tráfico sobre la carretera costera del golfo de México: ¿Cuántas y cuáles especies de fauna silvestre se están perdiendo? *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91: 913189. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3189>

- Carvalho C F, Custódio AEL, Júnior OM (2017) Influence of climate variables on roadkill rates of wild vertebrates in the cerrado biome, Brazil. *Bioscience Journal* 33(6): 1632-1641. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/39538>.
- Cervantes-Huerta R, Durán-Antonio J (2022) Seasonal variation of mammal road-kill hotspots in the Sierra Madre Occidental, México. *Therya Notes* 3(2): 70-74. https://doi.org/10.12933/therya_notes-22-73
- Cervantes-Huerta R, Escobar F, García-Chávez JH, González-Romero A (2018) Atropellamiento de vertebrados en tres tipos de carretera de la región montañosa central de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana* 33(3): 472-481. <https://doi.org/10.21829/azm.2017.3331148>
- Coelho IP, Kindel A, Coelho AV (2008) Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research* 54(4): 689-699. <https://doi.org/10.1007/s10344-008-0197-4>
- Coelho IP, Teixeira FZ, Colombo P, Coelho AVP, Kindel A (2012) Anuran road-kills neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Environmental Management* 112: 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.004>
- Delgado-Trejo C, Herrera-Robledo R, Martínez-Hernández N, Bedolla-Ochoa C, Hart CE, Alvarado-Díaz J, Suazo-Ortuño I, Nava-Bravo H, Lopez-Toledo L, Mendoza E (2018) Vehicular impact as a source of wildlife mortality in the Western Pacific Coast of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89(4): 1234-1244. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2084>
- Dornas RAP (2018) *Siriema Plots*. https://rdornas.shinyapps.io/siriema_plots/. Fecha de consulta: 12 de enero de 2023
- Engert JE, Campbell MJ, Cinner JE, Ishida Y, Sloan S, Supriatna J, Mohammed A, Cisowski J, Laurance W (2024) Ghost roads and the destruction of Asia-Pacific tropical forests. *Nature* 629: 370-375. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07303-5>
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros Núm. 6. México D.F.: Instituto de Geografía UNAM/ CONABIO. México. 97p.
- García-Sánchez S, Juárez-Agis A, Álvarez-Álvarez EA, Oliver Salome B, Zeferino Torres J, Rivas González M, Osorio Rodríguez AN (2023) Vertebrados silvestres atropellados en asentamientos humanos del Pacífico sur mexicano. *Revista de Biología Tropical* 71: e53600. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v71i1.53600>.
- INEGI (2020) Densidad de población por entidad federativa, serie de años censales de 1990 a 2020. https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?px=Poblacion_07&bd=Poblacion. Fecha de consulta: 12 de mayo de 2023
- IUCN (2023) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-1. <https://www.iucnredlist.org>. Fecha de consulta: 12 de mayo de 2024.
- Kent E, Schwartz ALW, Perkins SE (2021) Life in the fast lane: Roadkill risk along an urban-rural gradient. *Journal of Urban Ecology* 7(1): 1-11. <http://doi.org/10.1093/jue/juaa039>
- Köhler G (2008) Reptiles of Central America. 2nd edition. Herpeton. 400p.
- Kreling S, GaynorK, Coon CAC (2019) Roadkill distribution at the wildland-urban interface. *The Journal of Wildlife Management* 83(6): 1427-1436. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21692>
- Naranjo EJ, Bolaños JE, Guerra MM, Bodmer RE (2004) Hunting sustainability of ungulate populations in the Lacandon Forest, Mexico. In: Silvius KRE, Bodmer R, Fragoso JMV (eds) *People in nature: Wildlife conservation in South and Central America*. Columbia University. Mexico. pp. 324-343.
- Pennington T, Sarukhán J (1998) Árboles tropicales de México. UNAM-Fondo de Cultura Económica. México. 523p
- Peterson RT, Chalif EL (1989) Aves de México. Guía de campo. Identificación de las especies encontradas en México, Guatemala, Belice y el Salvador, Mexico. Editorial Diana. México. 473p.

- Pinto FA, Bager A, Clevenger AP, Grilo C (2018) Giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) conservation in Brazil: Analyzing the relative effects of fragmentation and mortality due to roads. *Biological Conservation* 228: 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.10.023>
- Pozo-Montuy G, Guzmán Aguirre CC, Téllez Torres G, Peralta Munguía R (2021) Atropellamiento de fauna silvestre en la carretera Villahermosa-Zacatal, subtramo Atasta, dentro del APFF Laguna de Términos. In: Benítez JA, Escalona-Segura G (eds) Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas: estudios de caso para el sureste de México ECOSUR. México. 732p.
- QGIS (2019) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://www.qgis.org/>. Fecha de consulta: 19 de enero de 2023
- R Development Core Team (2021) A Language and Environment for Statistical Computing (4.1.2). R Foundation for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>. Fecha de consulta: 23 de febrero de 2023.
- Rendall AR, Webb V, Sutherland DR, White JG, Renwick L, Cooke R (2021) Where wildlife and traffic collide: Roadkill rates change through time in a wildlife-tourism hotspot. *Global Ecology and Conservation* 27: e01530. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01530>
- Reyna-Hurtado R, Tanner G (2007) Ungulate relative abundance in hunted and non-hunted sites in Calakmul forest (Southern Mexico). *Biodiversity and Conservation* 16: 743-756.
- Rojano-Bolaño C, Ávila-Avilán R (2021) Mortalidad de vertebrados silvestres por atropellamiento en el departamento de Casanare, Colombia. *Revista de Medicina Veterinaria* 42: 27-40. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss42.4>
- Schwartz ALW, Shilling FM, Perkins SE (2020) The value of monitoring wildlife roadkill. *European Journal of Wildlife Research* 66(1): 18. <https://doi.org/10.1007/s10344-019-1357-4>
- SCT (2020) Manual de diseño de pasos para fauna silvestre en carreteras. Secretaría de comunicaciones y transporte. https://www.sct.gob.mx/fileadmin/direccionesgrales/DGST/Manuales/Manual_de_Fauna/manualpasosparafauna.pdf. Fecha de consulta: 29 mayo de 2024
- SCT (2023) Datos viales. Secretaría de comunicaciones y transporte. <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales/>. Fecha de consulta: 25 de marzo de 2023.
- SEMARNAT (2010) Protección ambiental-Especies nativas de flora y fauna silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio de especies en riesgo. Norma Oficial Mexicana NOM059-SEMARNAT-2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 1-12.
- SHCP (2019) Secretaría de Hacienda y Crédito Público (shcp) (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. <https://lopezdoriga.com/wp-content/uploads/2019/02/pnd-2019-2024-anteproyecto.pdf>. Fecha de consulta: 23 de abril de 2024