







## Mortalidad de mamíferos terrestres medianos a grandes en carreteras del estado de Tamaulipas, México

### Mortality of medium to big size terrestrial mammals on highways in the state of Tamaulipas, Mexico

<sup>1</sup> VANNIA DEL C. GÓMEZ-MORENO, <sup>2\*</sup> SANTIAGO NIÑO-MALDONADO, <sup>3</sup> RODRIGO A. MEDELLÍN, <sup>2</sup> MELISSA PONCE-MARROQUÍN

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, División de estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Victoria, Tamaulipas


<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Victoria, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Victoria, Tamaulipas, México.

<sup>3</sup>Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.



Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)

\*Autor correspondiente:

 Santiago Niño-Maldonado  
coliopteranino@hotmail.com

Editor responsable: Sonia Gallina Tessaro

Cómo citar:  
Gómez-Moreno, V del C., Niño-Maldonado, S., Medellín R. A., Ponce-Marroquín, M. (2025) Mortalidad de mamíferos terrestres medianos a grandes en carreteras del estado de Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 41, 1–16.

10.21829/azm.2025.4112707  
elocation-id: e4112707

Recibido: 05 julio 2024  
Aceptado: 06 enero 2025  
Publicado: 17 febrero 2025

**RESUMEN.** Las carreteras con su tráfico vehicular tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente y representan una amenaza para los mamíferos terrestres. En México, la información sobre las especies de mamíferos silvestres con mayor frecuencia a ser atropelladas y sobre los factores que influyen es limitada. El objetivo de este estudio fue identificar las especies con mayores tasas de mortalidad, conocer los tramos carreteros con mayor número de cadáveres y analizar factores que contribuyen al aumento de la mortalidad de los mamíferos, como el tipo de hábitat y la presencia de cuerpos de agua cercanos en carreteras en el estado de Tamaulipas. Para ello, se realizaron muestreos mensuales a lo largo de un año (julio 2021-junio 2022) en cuatro carreteras, con 12



visitas cada una para un total de 48 visitas. Se obtuvieron un total de 64 registros que correspondieron a 22 especies de mamíferos, siendo *Didelphis virginiana* (N=14) y *Canis latrans* (N=ocho) las más afectadas. Los meses con mayor mortalidad fueron febrero, abril y octubre. Además, se identificó que la carretera Victoria-Monterrey (MEX-085) presentó una mayor abundancia de cadáveres (20 ejemplares). La vegetación cercana a las carreteras fue una variable que influyó en la mortalidad de los mamíferos. Es crucial seguir investigando para identificar áreas de riesgo y aplicar medidas de mitigación que conserven la fauna silvestre en las carreteras de Tamaulipas.

**Palabras clave:** carnívora; abundancia; impacto; vehículos

**ABSTRACT.** Roads with their vehicular traffic have a negative impact on the environment and represent a threat to terrestrial mammals. In Mexico, information on the species of wild mammals most frequently run over and the factors that influence them is limited. The objective of this study was to identify the species with the highest mortality rates, to know the road sections with the highest density of carcasses, and to analyze factors that contribute to increased mammal mortality in the state of Tamaulipas. This includes habitat type and the presence of water near roads. For this purpose, monthly sampling was carried out for one year (July 2021-June 2022) on four highways, with 12 visits each for a total of 48 visits. A total of 64 records were obtained corresponding to 22 mammal species, with *Didelphis virginiana* (N=14) and *Canis latrans* (N=eight) being the most affected. The months with the highest mortality were February, April, and October. In addition, the Victoria-Monterrey highway (MEX-085) had the highest number of carcasses (20 specimens). While vegetation near the roads was a variable that influenced mammal mortality. Further research is crucial to identify risk areas and implement mitigation measures to conserve wildlife on Tamaulipas highways.

**Key words:** Carnivore; abundance; impact; vehicles

## INTRODUCCIÓN

La República Mexicana abarca una superficie de 1,953,162 km<sup>2</sup>, de los cuales 377,000 km corresponden a las redes de carreteras públicas en México (SCT, 2023b). A lo largo de varias décadas, se ha desarrollado una estructura de carreteras que conecta casi a todos los estados y comunidades del país. Estas redes de carreteras se dividen en diferentes categorías que son redes federales, estatales, caminos rurales y brechas mejoradas (INEGI, 2023b).

Unido a esto, el número de vehículos registrados ha experimentado un incremento significativo, en 2007 se contabilizaban 26 millones de vehículos, mientras que para 2019 esta cifra ascendió a 42 millones, lo que representa una tasa de crecimiento anual del 5.3% (INEGI, 2023a). La combinación de estos factores, entre las carreteras y el número de automóviles en el país constituyen a una amenaza considerable para la fauna silvestre.

Las carreteras y automóviles tienen un impacto negativo en el medio ambiente, entre las cuales se encuentran: la pérdida y alteración de hábitats nativos (Trombulak & Frissell, 2001), la contaminación (Hawbaker & Radeloff, 2004) y la mortalidad de diversas especies de vertebrados a través de colisiones con vehículos en las carreteras (Strasburg, 2006).

Existen reportes alrededor del mundo que señalan que las colisiones con vehículos causan la muerte de mamíferos representando un riesgo para sus poblaciones, por ejemplo: en Canadá se ha reportado la mortalidad del alce (*Alces alces* Linnaeus, 1758) y ardillas orientales (*Tamias striatus* Linnaeus, 1758; Bangs *et al.*, 1989; Ford & Fahrig, 2008), en Inglaterra de tejones (*Meles meles* Linnaeus, 1758; Clarke *et al.*, 1998), en España de lince ibérico (*Lynx pardinus* Temminck, 1827; Ferreras *et al.*, 1992). En Nueva York de puerco espín (*Erethizon dorsatum* Linnaeus, 1758) y mapaches (*Procyon lotor* Linnaeus, 1758; Barthelmess, 2014), en Alemania los accidentes más comunes son las nutrias (*Lutra lutra* Linnaeus, 1758; Jancke & Giere, 2010) y Australia reporta accidentes con koalas (*Phascolarctos cinereus* Goldfuss, 1817) y Wallabies (*Wallabia bicolor* Lesson, 1828; Ben-Ami & Ramp, 2005).

En México, se han registrado diversas especies de mamíferos afectados por colisiones con vehículos en los estados de Campeche, Sinaloa, Sonora, Jalisco, Veracruz y Yucatán (Contreras-Moreno, 2013; Cupul-Magaña, 2019; Canales-Delgadillo *et al.*, 2020, Gabutti *et al.*, 2022, Ruíz-Ramírez, 2020, Rubio-Rocha *et al.*, 2022, Ruíz-Ramírez *et al.*, 2022). Entre estas especies se encuentran: el tapir centroamericano (*Tapirus bairdii* Gill, 1865), jaguar (*Panthera onca* Linnaeus, 1758), ocelote (*Leopardus pardalis* Linnaeus, 1758), leoncillo (*Herpailurus yagouaroundi* E. Geoffroy Saint-Hilaire, 1803) y el tlalcoyote (*Taxidea taxus* Schreber, 1777) respectivamente. La mortalidad reflejada en estos reportes tiene un impacto directo en las poblaciones de estas especies, muchas de las cuales se encuentran en alguna categoría de riesgo según la IUCN (2023).

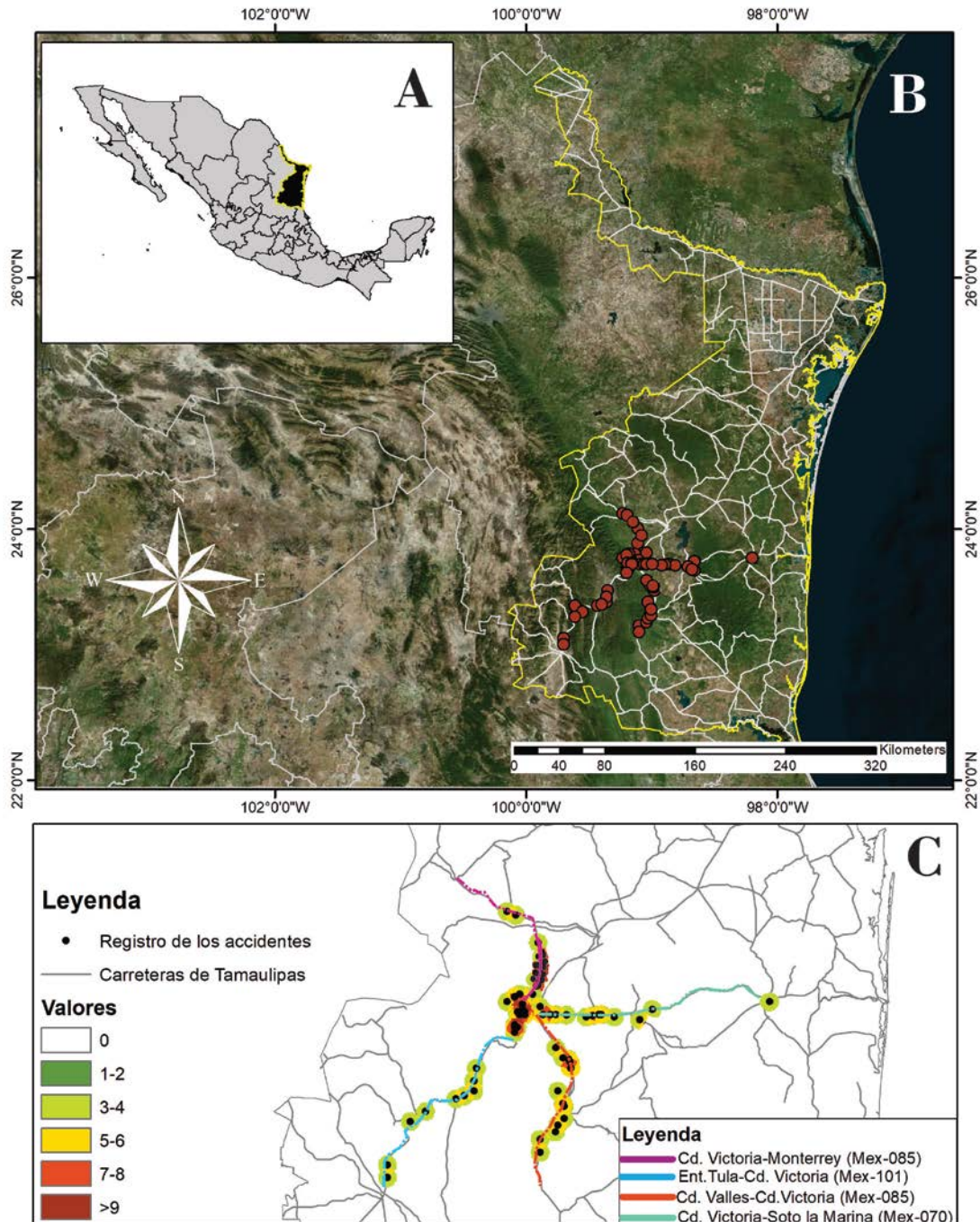
Ante este problema, se han implementado diversas medidas correctivas con el objetivo de proteger a la fauna silvestre. Algunas de estas medidas incluyen señales viales para advertir a los conductores y reducir la velocidad en zonas donde se registra alta mortalidad de mamíferos. Alcantarillas y pasos para fauna que permitan a los animales cruzar las carreteras de manera segura (Trombulak & Frissell, 2001). Sin embargo, el éxito de estas medidas está condicionado por varios factores como patrones temporales, diversidad de especies, vegetación y cuerpos de agua cercanos a las carreteras (Gannon & Sikes, 2007). Estas variables pueden ayudar a modelar la probabilidad de accidentes en tramos específicos de carreteras, ya que la mortalidad no se distribuye al azar (Barthelmess, 2014; Garrah *et al.*, 2015).

En particular, el estado de Tamaulipas ha experimentado un crecimiento en su población de 2010 al 2020 de un 2.3%, llegando a 3.9 millones de habitantes (INEGI, 2020), y con ello, un incremento en el número de vehículos que asciende a 1,761,634 vehículos registrados para el estado (INEGI, 2023a). Este crecimiento ha dado lugar a la formación de infraestructura urbana y la expansión de las redes viales. Sin embargo, esta expansión también ha generado una trampa mortal para muchos mamíferos (Strasburg, 2006). Hasta la fecha, no existen reportes específicos sobre la abundancia y el número de especies involucradas en accidentes con vehículos en las carreteras de Tamaulipas. Por lo tanto, los objetivos de este estudio son los siguientes: identificar las especies con mayores tasas de mortalidad, conocer los tramos viales más peligrosos para las especies y analizar factores que contribuyen al aumento de la mortalidad de los mamíferos (como el tipo de hábitat y la presencia de cuerpos de agua cercano a las carreteras). Este estudio proporcionará información valiosa que servirá de línea base para implementar medidas de mitigación y proteger la fauna silvestre en las carreteras de Tamaulipas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El estado de Tamaulipas se encuentra ubicado en la parte Noreste de la República Mexicana entre las coordenadas 24°40'22.06" N, 98°18'11.14" O y 23°49'40.98" N, 98°14'12.37" O (Fig. 1A). Cuenta con nueve tipos de vegetación entre los que destacan: bosque de

encino, bosque de pino, matorral espinoso tamaulipeco, matorral submontano y selvas (INEGI, 2021). La entidad cuenta con una superficie de 75,385 km<sup>2</sup> con una población de 3,5 millones de habitantes, y 1,761,634 vehículos para el año 2023. Cuenta con 8,500 kilómetros lineales de carreteras que se dividen en: carreteras federales, carreteras federales de peaje, caminos rurales pavimentados y caminos rurales sin pavimentar (SCT, 2023b; INEGI, 2020).



**Figura 1.** Se indica A) Ubicación del estado de Tamaulipas en México. B) Número de registros de las especies afectadas en las carreteras. C) Análisis de la densidad de cadáveres de los mamíferos en las carreteras de estudio en Tamaulipas (2021-2022).

Los datos fueron obtenidos a partir de julio de 2021 a junio de 2022, mediante el monitoreo de cuatro carreteras pertenecientes al estado de Tamaulipas. Estas carreteras fueron seleccionadas por que son carreteras federales de acceso libre, son similares de dos carriles y acotamiento con un ancho de corona de 12 m (SCT, 2023b). Para cada una de las carreteras se realizaron muestreos mensuales a lo largo de un año (12 meses), sumando un total de 48 visitas (Cuadro 1). Todos los muestreos fueron en vehículo, bajo la supervisión de los mismos observadores de campo.

**Cuadro 1.** Redes carreteras estudiadas en el estado de Tamaulipas, México (2021-2022).

Carretera	Ruta	Km recorridos
Entronque Tula-Cd. Victoria	MEX-101	140
Cd. Valles-Cd. Victoria	MEX-085	144
Cd. Victoria-Soto la Marina	MEX-070	105
Cd. Victoria-Monterrey	MEX-085	107

Los recorridos se realizaron a una velocidad promedio de entre 30 y 40 km/h, con la participación de un conductor y dos observadores. Cada observador se encargó de monitorear un carril de la carretera (derecho e izquierdo), lo que permitió cubrir su superficie de manera más eficiente. Esta estrategia fue fundamental, ya que en ocasiones los cadáveres de los mamíferos se encontraban en las orillas o entre la vegetación cercana a las carreteras.

Las búsquedas comenzaron a las 7:00 a.m., partiendo desde un punto de inicio en cada una de las carreteras (Cuadro 1), y se extendieron hasta que se completaba la cobertura del tramo carretero designado para el muestreo. En promedio, los recorridos tomaron de 3 a 4 horas en los casos en que no se registraron cadáveres, y cuando sí, de 5 a 6 horas.

Cada vez que se encontró un cadáver, el equipo se detuvo para recopilar datos relevantes, incluyendo la ubicación geográfica, registrada con una precisión de +/- 5 metros mediante un receptor del sistema de posicionamiento global (GPS) de la marca Garmin eTrex 30. Además, se realizó un registro fotográfico para facilitar la identificación de los ejemplares (Ceballos & Oliva, 2005; Aranda, 2012). También se evaluaron las características del hábitat de forma visual directa en un radio de 500 metros de las carreteras, considerando factores como la presencia de viviendas, áreas agrícolas, tipos de vegetación y suelos desnudos, así como la proximidad de cuerpos de agua cercanos (500 m) a las carreteras. Una vez que se recolectaron los datos, los cadáveres fueron retirados de las carreteras para evitar el doble conteo en futuros muestreos.

Las ubicaciones de las especies registradas en las cuatro carreteras (Fig. 1B) fueron visualizadas en el software ArcMap 10.2.2, superponiendo sobre las capas de las redes carreteras (INEGI, 2023b) y la capa de uso de suelo y tipo de vegetación (INEGI, 2021). Esto permitió corroborar la información obtenida en campo sobre las características de los hábitats adyacentes a las carreteras.

**Análisis estadísticos.** Se utilizó densidad de Kernel para resaltar las áreas con mayor concentración de cadáveres de mamíferos en las carreteras en el estado. Esta técnica se utiliza para estimar la función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria a partir de una muestra de puntos, creando una distribución de probabilidad continua y uniforme al colocar un núcleo (una función uniforme, simétrica y positiva) encima de cada punto de datos y sumarlos para formar una estimación (Moreno, 1991). Se realizó mediante una función cuadrática de densidad de probabilidad núcleo (Kernel) en la función de Spatial Analyst del programa ArcMap 10.2. También se utilizó un análisis de varianza con permutaciones (PERMANOVA) de una vía para comparar la composición de especies entre estaciones del año (Anderson, 2001). Para este análisis

se utilizó el índice de Bray-Curtis como medida de distancia, con 9999 permutaciones aleatorias, estableciendo un valor de significancia de  $P < 0.05$ . Se empleó el análisis de correspondencia (ACO), también conocido como promedio recíproco, que se utiliza para la visualización de datos que permite descubrir y mostrar la correlación entre categorías (variables categóricas y discretas). Usa un gráfico de plano cartesiano que traza los datos, mostrando visualmente el resultado de dos o más puntos de datos (Gotelli & Ellison, 2002). Las relaciones de cercanía-lejanía entre puntos calculan la relación de dependencia y semejanza, donde los puntos más cercanos entre sí se encuentran más relacionadas (Legendre & Legendre, 2012). En este caso, se analizó la correlación entre los cadáveres de mamíferos en los diferentes escenarios (zonas agrícolas, vegetación, viviendas y suelo desnudo) cercanos a las carreteras. Al final, se realizó la prueba de contraste de hipótesis U de Mann-Whitney para determinar diferencias significativas entre la presencia y ausencia de cuerpos de agua cerca de las carreteras donde ocurrieron los accidentes. Los cálculos se ejecutaron en PAST 3.15 (Hammer *et al.*, 2001) y STATISTICA 12.5 (StatSoft, 2014).

## RESULTADOS

En el estado de Tamaulipas se obtuvo un total de 64 registros pertenecientes a 22 especies de mamíferos (Cuadro 2). Las especies más frecuentes registradas incluyen al tlacuache (*Didelphis virginiana*, Allen, 1900) con 14 ejemplares, el coyote (*Canis latrans*, Say, 1823) con ocho, el armadillo (*Dasyurus novemcinctus*, Linnaeus, 1758) con seis, la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*, Schreber, 1775) con cinco ejemplares y el mapache (*Procyon lotor*) con cuatro. Por otro lado, algunas especies presentaron una menor frecuencia de registros como el puma (*Puma concolor*, Linnaeus, 1771), el jaguar (*Panthera onca*), el tepezcuintle (*Cuniculus paca*, Linnaeus, 1766), el leoncillo (*Herpailurus yagouaroundi*) y el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*, Saussure, 1860), cada uno con un ejemplar documentado.

El análisis de la densidad de Kernel reveló que la mayoría de los accidentes se producen en la carretera Ciudad Victoria-Monterrey (MEX-085) con 20 accidentes (Fig. 1C), seguido de la carretera Entronque Tula-Ciudad Victoria (MEX-101) con 17, la ruta Ciudad Valles-Ciudad Victoria (MEX-085) con 14, y la carretera Ciudad Victoria-Soto la Marina (MEX-070) con 13 accidentes registrados.

El análisis de PERMANOVA indicó que no existen diferencias significativas entre las composiciones de mamíferos entre las estaciones del año ( $SS = 3.15$ ;  $Ss = 2.18$ ;  $F = 1,316$ ;  $P > 0.1315$ ). Sin embargo, se observó que los meses con mayor número de registros fueron en febrero y abril, con nueve ejemplares cada uno (Fig. 2), seguidos por mayo y octubre, ambos con ocho ejemplares registrados.

El análisis de correspondencia explica el 50.11 % de las variaciones de datos entre la dimensión uno y dos (Fig. 3). La mayoría de los accidentes de las especies de mamíferos fueron donde había la presencia de vegetación natural en ambos lados de las carreteras, seguido de la presencia de zonas agrícolas y viviendas cercanas a las carreteras.

La presencia y ausencia de cuerpos de agua cercanos a las carreteras fueron significativos con respecto al número de cadáveres (Mann-Whitney = 106;  $P = 0.002$ ). Los valores más elevados se obtuvieron en las carreteras sin presencia de agua ( $N = 55$  ejemplares), seguidos de donde había presencia de cuerpos de agua ( $N = 9$  ejemplares).

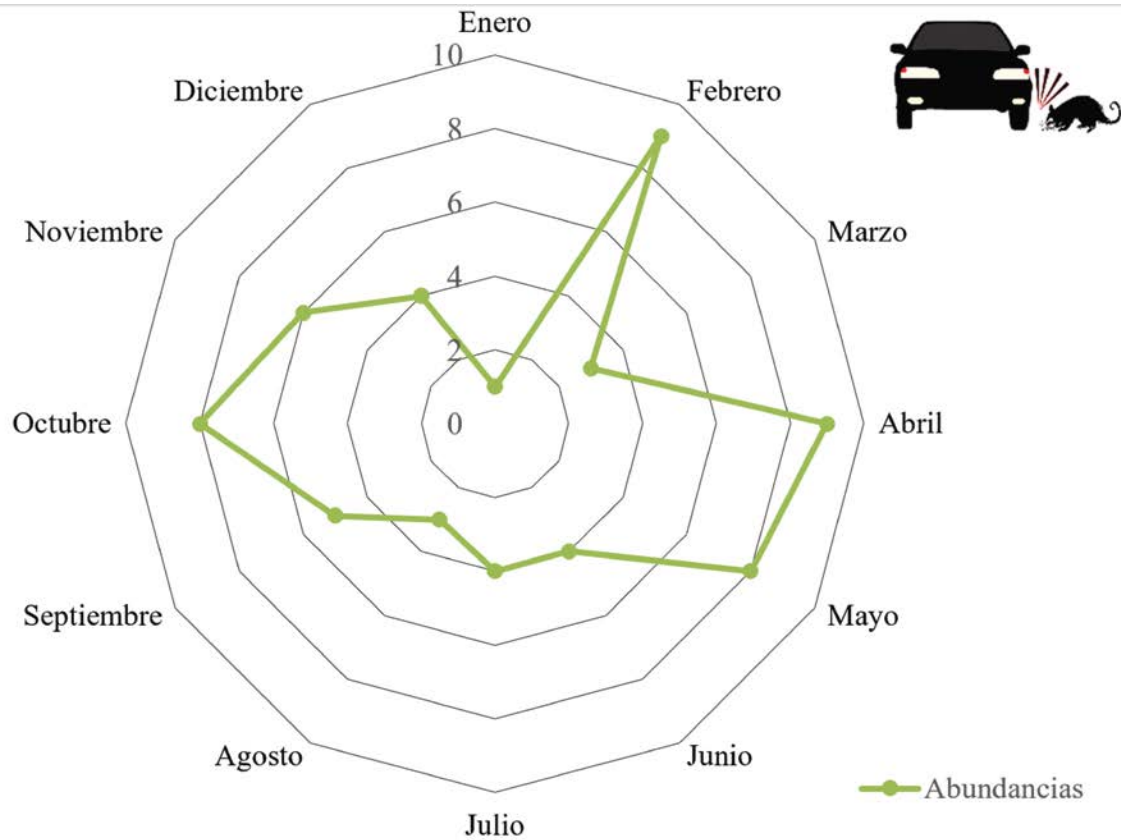
Se identificaron seis especies protegidas en la normatividad ambiental (SEMARNAT, 2010) cuatro en peligro de extinción (P: *Leopardus pardalis*, *L. wiedii* Schinz, 1821, *P. onca* y *T. mexicana*) y dos amenazadas (A: *H. yagouaroundi* y *T. taxus*; Fig. 4). Al nivel global de acuerdo con la lista roja de la UICN (UICN, 2023), se determinó que dos están casi amenazadas (NT: *P. onca*, *L. wiedii*) y una

**Cuadro 2.** Lista de las especies de mamíferos afectados en las carreteras del estado de Tamaulipas. Estados de conservación de acuerdo con la Nom-059- SEMARNAT (2010) se indica en peligro de extinción (P) y Amenazada (A). A nivel internacional se indican los estados de conservación y tendencias poblacionales de acuerdo con la IUCN (2023). Estados de conservación: Preocupación menor (LC), Casi amenazada (NT), y Vulnerable (VU). Tendencias de las poblaciones: Creciente (C), Decreciente (D) y Se desconocida (S).

Taxón	Número de registros	Nom-059	IUCN	Población
<b>Didelphidae</b>				
<i>Didelphis virginiana</i>	14		LC	C
<b>Dasypodidae</b>				
<i>Dasypus novemcinctus</i>	6		LC	C
<b>Myrmecophagidae</b>				
<i>Tamandua mexicana</i>	1	P	LC	S
<b>Canidae</b>				
<i>Canis latrans</i>	8		LC	C
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	5		LC	C
<b>Felidae</b>				
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	1	A	LC	D
<i>Leopardus pardalis</i>	1	P	LC	D
<i>Leopardus wiedii</i>	1	P	NT	D
<i>Lynx rufus</i>	1		LC	C
<i>Puma concolor</i>	1		LC	D
<i>Panthera onca</i>	1	P	NT	C
<b>Mustelidae</b>				
<i>Neogale frenata</i>	1		LC	C
<i>Taxidea taxus</i>	1	A	LC	C
<b>Mephitidae</b>				
<i>Conepatus leuconotus</i>	4		LC	D
<i>Spilogale putorius</i>	2		VU	C
<b>Procyonidae</b>				
<i>Bassariscus astutus</i>	2		LC	S
<b><i>Nasua narica</i></b>	2		LC	D
<i>Procyon lotor</i>	4		LC	C
<b>Tayassuidae</b>				
<i>Dicotyles tajacu</i>	4		LC	C
<b>Sciuridae</b>				
<i>Sciurus aureogaster</i>	2		LC	C
<b>Cuniculidae</b>				
<i>Cuniculus paca</i>	1		LC	C
<b>Leporidae</b>				
<i>Sylvilagus floridanus</i>	1		LC	C

es vulnerable (VU: *Spilogale putorius* Linnaeus, 1758). La mayoría de las especies se clasifican como de preocupación menor (LC: 19 spp; 90.4 %) (Cuadro 2). No obstante, dentro de esta clasificación

(LC), seis especies tienen poblaciones en declive y otras dos especies tienen poblaciones desconocidas (*Bassariscus astutus* Lichtenstein, 1830 y *T. mexicana*).



**Figura 2.** Registros de las abundancias mensuales de las mortalidades de los mamíferos en las carreteras de Tamaulipas (2021-2022).

## DISCUSIÓN

La mortalidad de mamíferos causada por automóviles afecta al menos al 14.28 % de las especies en Tamaulipas (Moreno-Valdez & Vásquez-Farías, 2005). Sin embargo, los accidentes varían entre especies, y se observaron diferencias en las densidades de víctimas. Las especies más afectadas incluyen *D. virginiana*, *C. latrans*, *D. novemcinctus* y *U. cinereoargenteus*. Esta tasa de mortalidad puede estar relacionada con los dos factores siguientes:

El primer factor puede estar asociado al comportamiento. Algunas de las especies identificadas son crepusculares o nocturnas (Ceballos & Oliva, 2005; Delgado-V, 2007). Es probable que un porcentaje significativo de los accidentes ocurra durante la noche. Además, debido a su tamaño mediano y la hora de su actividad, estas especies son poco visibles para los conductores, lo que aumenta la probabilidad de colisiones (Gonser *et al.*, 2009).

El segundo factor al tamaño y distribución de las poblaciones de mamíferos que también influyen en la tasa de mortalidad. Según Ceballos y Galindo (1984), se pueden registrar desde uno hasta 23 individuos de *D. virginiana* por hectárea. Mientras que las especies *C. latrans*, *D. novemcinctus* y *U. cinereoargenteus* están ampliamente distribuidos en el estado de Tamaulipas (Ceballos & Oliva, 2005; Moreno-Valdéz & Vásquez-Farías, 2005; Aranda, 2012). Sus abundancias varían regionalmente y dependen de factores como tipo de suelo (en el caso de *D. novemcinctus*)



y tipo de vegetación y calidad del hábitat (para *C. latrans* y *U. cinereoargenteus*) (Ceballos & Oliva, 2005; Aranda, 2012). Estas diferencias en abundancia pueden hacer que algunas especies sean más propensas a colisionar. De hecho, estas mismas especies también han sido reportadas como frecuentes en accidentes viales en los estados de Sonora, Veracruz y Campeche (Canales-Delgado *et al.*, 2020; Ruíz-Ramírez, 2020, Manteca-Rodríguez *et al.*, 2021; Rubio-Rocha *et al.*, 2022).

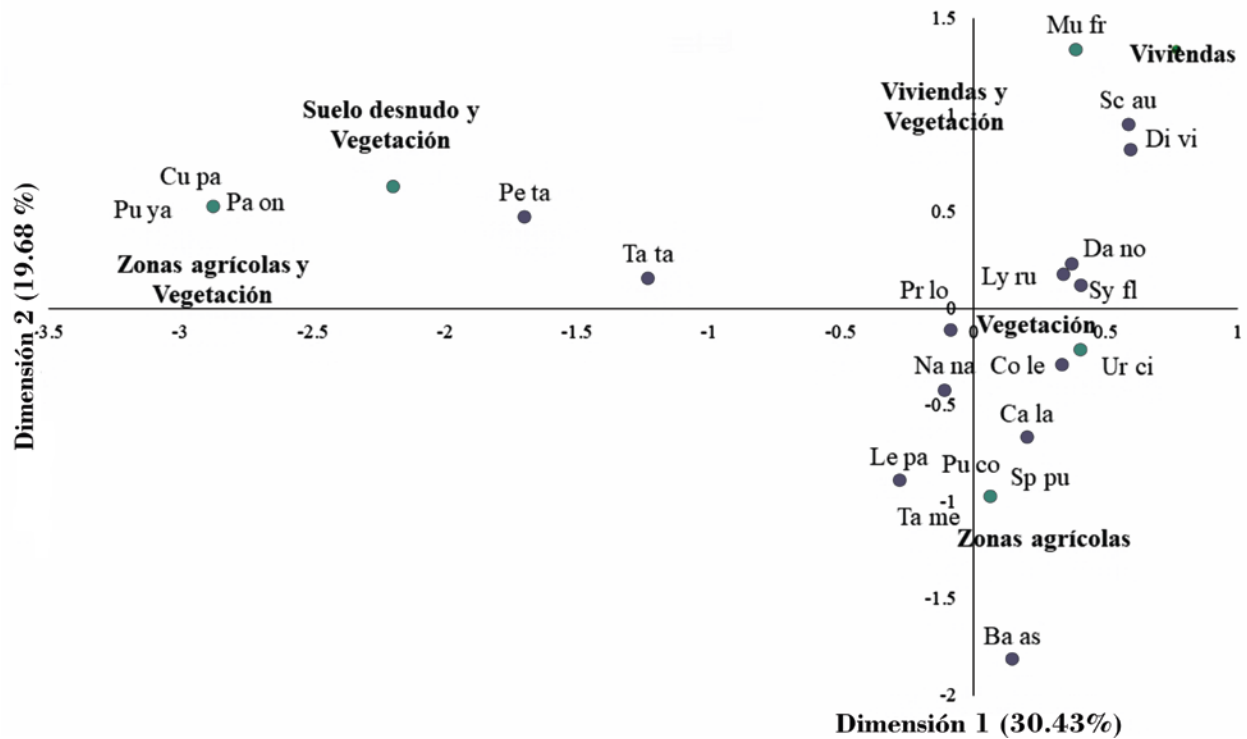
Las estimaciones de densidad (Kernel) señalan zonas críticas de alta mortalidad de mamíferos, las cuales deben recibir prioridad para la implementación de medidas de mitigación (Fig. 1C). La mayor cantidad de cadáveres se concentra en las rutas Ciudad Victoria-Monterrey (MEX-085) y entronque Tula-Ciudad Victoria (MEX-101). Al analizar estas rutas, se determinó que son carreteras importantes que conectan con otros estados como Nuevo León y San Luis Potosí. El tránsito vehicular en estas vías varía entre 1,246 y 3,133 vehículos por día (Periódico Oficial, 2019), y las velocidades de los automóviles oscilan entre 98 y 139 km/h (SCT, 2023a; SCT, 2023b). Ambas situaciones contribuyen al aumento del número de colisiones entre mamíferos y vehículos en estas carreteras. Por lo tanto, es fundamental seguir estudiando sobre estos accidentes para comprender mejor la magnitud de la mortalidad de mamíferos. Además, es probable que se produzcan más accidentes en aquellas carreteras con velocidades superiores a 98 km/h (Da Cunha *et al.*, 2010).

Al evaluar las variaciones en la mortalidad de mamíferos a lo largo de las estaciones del año, se obtuvo que no existen diferencias significativas en las composiciones de las especies. Sin embargo, se observó una ligera tendencia de mayor mortalidad en los meses de febrero, abril y octubre (Fig. 2). Esta tendencia podría estar relacionada con los períodos de reproducción de ciertas especies, como *D. virginiana*, *C. latrans*, *U. cinereoargenteus* y *P. onca* que presentan una mayor actividad reproductiva entre los meses de febrero y abril (Ceballos & Oliva, 2005). Además, otras especies como: *P. concolor*, *Dycotyles tajacu* y *H. yagouaroundi*, no están restringidas a una época específica y pueden aumentar sus actividades en cualquier momento del año (Ceballos & Oliva, 2005). Al analizar estos meses se reveló que coinciden con festividades breves o puentes, los cuales incrementan el flujo vehicular hasta un 30 %, de acuerdo con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2023a). Por lo tanto, los aspectos reproductivos en conjunto con el aumento del tráfico vehicular durante las festividades breves pueden tener una relación con las mortalidades mensuales en las carreteras del estado.

Por otra parte, se observó que las características de las carreteras como los hábitats cercanos influyen sobre el número de cadáveres. Por ejemplo, una parte de la mortalidad se registró en las carreteras con presencia de vegetación natural aledaña o a un radio aproximado de 500 m (Fig. 3). Según Barthelmess (2014) la vegetación próxima a las carreteras aumenta la probabilidad de colisiones con vehículos, ya que puede dificultar la visualización de los mamíferos en los bordes de la carretera, en especial las especies medianas (Ramp *et al.*, 2006; Danks & Porter, 2010; Barthelmess, 2014). Y otra proporción de mamíferos (*D. virginiana*, *Sciurus aureogaster*, *Procyon lotor* y *Mustela frenata*) se registró en áreas cercanas a zonas agrícolas y viviendas. Algunas de estas especies muestran una sinantropía o tienen una mayor tolerancia a la perturbación (Ceballos & Oliva, 2005; Estrada *et al.*, 2018). Estas áreas también experimentan un mayor tráfico de vehículos durante gran parte del día y la noche, lo que aumenta el riesgo de accidentes para algunas de estas especies.

En este sentido, la presencia y ausencia de los cuerpos de agua fue una variable significativa, la mayoría de los accidentes ocurrieron en áreas sin presencia de cuerpos de agua; lo cual difiere con otros estudios (Trombulak & Frissell, 2001; Gannon & Sikes, 2007) donde la

presencia de los cuerpos de agua son clave y están asociados con la mortalidad de mamíferos, al igual que de avifauna y herpetofauna en accidentes viales. A pesar de que nuestros resultados no muestran una asociación con la presencia de los cuerpos de agua, se considera que esta variable debería seguir siendo tomada en cuenta, ya que podría ser relevante para otros taxones y en estudios futuros, ya que, algunos mamíferos como *C. paca*, *Procyon lotor*, *Mustela frenata* y *P. onca*, están asociados a cuerpos de agua (Ceballos & Oliva, 2005; Hernández *et al.*, 2018), y es posible que estas especies sean más abundantes en otras áreas y puedan tener una relación con esta variable.



**Figura 3.** Análisis de correspondencia (AC) de la asociación y distribución de mamíferos en función a los escenarios cercanos a las carreteras de Tamaulipas, México (2021-2022).

Los accidentes viales que involucran a mamíferos representan un problema para la conservación de muchas especies, no solo en Tamaulipas, sino en todo México. Cada año, se observan disminuciones en las abundancias y números de mamíferos debido a las colisiones en carreteras. Al comparar investigaciones anteriores (Pacheco *et al.*, 2016; González-Gallina & Hidalgo-Mihart, 2018; Cupul-Magaña, 2019; Dean *et al.*, 2019; Manteca-Rodríguez *et al.*, 2021; Canales-Delgadillo *et al.*, 2020), se identifican similitudes entre especies. En este estudio, se encontraron cuatro especies en peligro de extinción (P): *L. pardalis*, *L. wiedii*, *P. onca* y *T. mexicana*. Dos especies amenazadas (A): *H. yagouaroundi* y *T. taxus*. Según la IUCN (2023) una especie más está en estado vulnerable (VU): *S. putorius*. Muchas de estas especies presentan bajas densidades poblacionales (IUCN, 2023) y han sido reportadas por otros investigadores (González-Gallina & Hidalgo-Mihart, 2018; Canales-Delgadillo *et al.*, 2020). Esto implica que la pérdida de unos cuantos ejemplares podría representar un riesgo para la permanencia de poblaciones locales. Por otro lado, algunas especies, como *B. astutus* y *T. mexicana*, tienen tendencias poblacionales desconocidas (IUCN, 2023; Ceballos & Oliva, 2005) y corren el riesgo de seguir experimentando

descensos constantes en sus abundancias debido a las colisiones con vehículos en carreteras (Canales-Delgadillo *et al.*, 2020; Manteca-Rodríguez *et al.*, 2021).

Algunas especies son más susceptibles que otras a sufrir accidentes viales debido a varios factores como comportamiento, velocidad de desplazamiento y tamaño corporal. Por ejemplo, *D. virginiana*, *D. novemcinctus* y *N. narica*, que son especies de tamaño mediano con patas cortas y desplazamiento lento; además, algunas de ellas tienen actividad nocturna (Ceballos & Oliva, 2005; Aranda, 2012, Ceballos, 2014) por lo que, dichos factores pueden llegar a ser una limitante a la hora de cruzar las carreteras, aumentando la probabilidad de una colisión. Asimismo, estas especies con frecuencia son reportadas en diversos estudios de colisiones de mamíferos en carreteras (Canales-Delgadillo *et al.*, 2020; Gabutti *et al.*, 2022, Rubio-Rocha *et al.*, 2022, Ruíz-Ramírez *et al.*, 2022). Es importante considerar que algunas especies de mamíferos tienen tasas reproductivas bajas, como una camada al año o cada dos. Estas tasas bajas de reproducción hacen que los impactos generados por los accidentes en las carreteras sean significativos en comparación con la capacidad reproductiva de estas especies. Por ejemplo, *P. onca*, *L. pardalis* y *Lynx rufus* pueden tener de una a dos crías en un período de tiempo similar. Además, algunas especies comienzan a reproducirse a partir de los dos o tres años, como es el caso de *P. onca* (Ceballos & Oliva, 2005).

Para reducir la tasa de mortalidad de muchas especies de mamíferos en las carreteras, es crucial implementar medidas de mitigación específicas para las carreteras existentes y para la construcción de nuevas carreteras y autopistas se deben incluir pasos para la fauna silvestre conforme a lo dispuesto por el artículo 22 Bis de la ley de caminos, puentes y autotransporte federal que entro en vigor el 13 de febrero de 2024 (DOF, 2023). En Tamaulipas, se pueden tomar acciones como la implementación de viaductos o alcantarillas de cajón (Langen *et al.*, 2012; Williams & Brown, 2014) en conjunto con cercas de inducción (Huijser & Begley, 2022) que permiten que los mamíferos crucen por debajo de las carreteras. Son muy útiles para especies de diferentes tallas (Villalobos-Hoffman *et al.*, 2022). Otra alternativa es la colocación de señalizaciones viales para concientizar a la población sobre el cruce de mamíferos en las carreteras (SCT, 2020). En resumen, la combinación de estas medidas puede ayudar a proteger a la fauna silvestre en las carreteras de Tamaulipas y reducir la mortalidad causada por los accidentes viales.

**AGRADECIMIENTOS.** A la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en especial a la Facultad de Ingeniería y Ciencias por las facilidades brindadas. De igual manera, a la Consultoría SEPROBIO (Servicios Técnicos en Biodiversidad) por el apoyo financiero. Por último, agradecemos a los revisores por sus comentarios que permitieron mejorar este manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- Anderson, M. J. (2001) A new method for non-parametric muariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26: 32-46.
- Aranda, S. J. M. (2012) *Manual, para el rastreo de mamíferos silvestres de México*. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO), Distrito Federal, México. 260 pp.
- Bangs, E. E., Bailey, T. N., Portner, M. F. (1989) Survival rates of adult female moose on the Kenai peninsula, Alaska. *The Journal of Wildlife Management*, 53(3), 557.  
<https://doi.org/10.2307/3809176>

- Barthelmeß, E. L. (2014) Spatial distribution of road-kills and factors influencing road mortality for mammals in Northern New York State. *Biodiversity and Conservation*, 23(10), 2491–2514. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0734-2>
- Ben-Ami, D., y Ramp, D. (2005) Modeling the effect of roads and other disturbances on wildlife populations in the peri-urban environment to facilitate long-term viability. pp. 317–322. En: P. Irwin, K.P. Garrett, C.L. Mcdermott (Eds). *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation, Center for Transportation and the Environment*. North Carolina State University, Raleigh. Disponible en: <https://escholarship.org/uc/item/8hh225z3> (consultado 11 de enero de 2023).
- Canales-Delgadillo, J., Pérez-Ceballos, R., Zaldívar-Jiménez, A., Gómez-Ponce, M. A., Vázquez-Pérez, N., 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 (0), 913189. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3189>
- Ceballos, G., Galindo, L.C. (1984) Mamíferos silvestres de la cuenca de México. Editorial Limusa, S.A. México, D.F. 300 pp.
- Ceballos, G., Oliva, G. (2005) *Mamíferos silvestres de México*. Comisión Nacional para la Conservación y el uso de la Biodiversidad (CONABIO), Fondo de cultura Económica, Distrito Federal, México. 986 pp.
- Ceballos, G. (2014). *Mammals of Mexico*. Comisión Nacional para la Conservación y el uso de la Biodiversidad (CONABIO), Fondo de cultura Económica, Distrito Federal, México. 955 pp.
- Clarke, G.P., White, P.C. L., Harris. S. (1998) Effects of roads on badger *Meles meles* populations in South-West England. *Biological Conservation*, 86, 117–124. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(98\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(98)00018-4)
- Contreras-Moreno, F. M., Hidalgo-Mihart M.G., Pérez-Solano, L.A. y Vázquez-Maldonado, Y.A. (2013) Nuevo registro de Tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) atropellado en el Noroeste del estado de Campeche, México. *The Newsletter of the IUCN/SSC Tapir Specialist Group*, 22 (30), 22–25.
- Cupul-Magaña, F. G. (2019) Registro del atropellamiento de *Herpailurus yagouarundi* (Carnivora: Felidae) en la zona suburbana de Puerto Vallarta, México. *Mammalogy Notes*, 5 (2), 16–19. <https://doi.org/10.47603/manovol5n2.16-19>
- Da Cunha, H. F., Moreira, F. G. A., De Sousa Silva, S. (2010) Roadkill of wild vertebrates along the GO-060 road between Goiânia and Iporá, Goiás State, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 32 (3). <https://doi.org/10.4025/actascibiols.v32i3.4752>
- Danks, Z. D., Porter, W. F. (2010) Temporal, spatial, and landscape habitat characteristics of Moose–Vehicle collisions in western Maine. *The Journal of Wildlife Management*, 74 (6), 1229–1241. <https://doi.org/10.2193/2008-358>
- Dean, W. R. J., Seymour, C. L., Joseph, G. S., Foord, S. H. (2019) A review of the impacts of roads on wildlife in Semi-Arid Regions. *Diversity*, 11 (5), 81. <https://doi.org/10.3390/d11050081>
- Delgado-V, C. A. (2017) Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 29 (87), 1–6 <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329342>

- Diario Oficial de la Federación [DOF]. 2023. Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal, Art. 22 Bis. Secretaría de Servicios Parlamentarios.  
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LCPAF.pdf> (consultado 19 de diciembre de 2024).
- Estrada, P. D. S., Rosas, O. C. R., Inzunza, F. P., Rodríguez, J., Arámbula, L. A. T. (2018). Valor de uso, importancia cultural y percepciones sobre mamíferos silvestres medianos y grandes en la Mixteca Poblana. *Acta Zoológica Mexicana*, 34, 1–15.  
<https://doi.org/10.21829/azm.2018.341213>
- Ferreras, P., Aldama, J. J., Beltrán, J. F., Delibes, M. (1992) Rates and causes of mortality in a fragmented population of Iberian lynx *Felis Pardina* Temminck, 1824. *Biological Conservation*, 61(3), 197–202.  
[https://doi.org/10.1016/0006-3207\(92\)91116-A](https://doi.org/10.1016/0006-3207(92)91116-A)
- Ford, A.T., Fahrig, L. (2008) Movement patterns of eastern chipmunks (*Tamias striatus*) near roads. *Journal of Mammalogy*, 89, 895–903.  
<https://doi.org/10.1644/07-MAMM-A-320.1>
- Gabutti, J. M., Aguilar-Morales, C., De León Aldaco, A. P., Manteca-Rodríguez, M. (2022) Atropellamientos de vertebrados en la carretera Federal 2, tramo Ímuris - Agua Prieta, Sonora, México. *Revista Mexicana de Mastozoología* (Nueva Época), 12(2), 44–48.  
<https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2022.12.2.348>
- Gannon, W., Sikes. R. (2007) Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research. *Journal of Mammalogy*, 88(3), 809–823.  
<https://doi.org/10.1644/06-mamm-f-185r1.1>
- Garrah, E., Danby, R. K., Eberhardt, E., Cunningham, G. M., Mitchell, S. (2015) Hot Spots and Hot Times: Wildlife Road mortality in a regional conservation corridor. *Environmental Management*, 56 (4), 874–889.  
<https://doi.org/10.1007/s00267-015-0566-1>
- Gonser, R. A., Jensen, R. R., Wolf, S. E. (2009) The spatial ecology of deer-vehicle collisions. *Applied Geography*, 29 (4), 527–532.  
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.11.005>
- González-Gallina, A., Hidalgo-Mihart, M. G. (2018) A review of road-killed felids in Mexico. *Therya*, 9 (2), 147–159.  
<https://doi.org/10.12933/therya-18-584>
- Gotelli, N. J., Ellison, A. M. (2002) Biogeography at a regional scale: determinants of ant species density in New England bogs and forests. *Ecology*, 83 (6), 1604–1609.  
[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083)
- Hammer, O., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. (2001) PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis Version 2.09. *Paleontologia Eletrônica*, 4, 1–9.  
<http://scienceopen.com/document?vid=f7c81409-9131-4ded-a3d6-e1509342d3df>
- Hawbaker, T. J., y Radeloff, V. C. (2004) Roads and landscape patterns in northern Wisconsin based on a comparison of four road data sources. *Conservation Biology*, 18(5), 1233–1244.  
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00231.x>
- Hernández, H., J. C., Chávez, C., List, R. (2018) Diversidad y patrones de actividad de mamíferos medianos y grandes en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66 (2), 634.  
<https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33395>

- Huijser, M. P., Begley, J. S. (2022) Implementing wildlife fences along highways at the appropriate spatial scale: A case study of reducing road mortality of Florida Key deer. *Nature Conservation*, 47, 283–302.  
<https://doi.org/10.3897/natureconservation.47.72321>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020) Presentación de resultados Censo de población y vivienda de Tamaulipas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.  
[https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/cpv2020\\_pres\\_res\\_tamp.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/cpv2020_pres_res_tamp.pdf) (consultado 23 de enero de 2023).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2021) Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000, Serie VII Conjunto Nacional. Geoportal CONABIO.  
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359> (consultado 18 de febrero de 2023)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2023a) Estadísticas de Vehículos de Motor Registrados. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.  
<https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/> (consultado 09 de enero de 2023).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2023b) Red Vial. Red Nacional de Caminos (RNC) INEGI. 2023. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.  
[https://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/infra/vcomun/rvrnc23gw](https://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/infra/vcomun/rvrnc23gw) (consultado 23 de enero de 2023).
- International Union for Conservation of Nature [IUCN] (2023) Red List of Threatened Species.  
<https://www.iucnredlist.org/en> (consultado 22 de marzo de 2023).
- Jancke, S., Giere, P. (2010) Patterns of otter *Lutra lutra* road mortality in a landscape abundant in lakes. *European Journal of Wildlife Research* 57: 373–381.  
<https://doi.org/10.1007/s10344-010-0442-5>
- Langen, T. A., Gunson, K. E., Scheiner, C. A., Boulerice, J. T. (2012) Road mortality in freshwater turtles: identifying causes of spatial patterns to optimize road planning and mitigation. *Biodiversity and Conservation*, 21(12), 3017–3034.  
<https://doi.org/10.1007/s10531-012-0352-9>
- Legendre, P., y Legendre, L. F. J. (2012) *Numerical Ecology*, 3ª ed. Elsevier, Ámsterdam. 1006 pp. Disponible en:  
<https://shop.elsevier.com/books/numerical-ecology/legendre/978-0-444-53868-0> (consultado 20 de marzo de 2023).
- Manteca-Rodríguez, M., Félix-Burrue, R. E., Aguilar-Morales, C., Bravo, J. C., Traphagen, M. B., Larios, E. (2021) Wildlife use of drainage structures under 2 sections of Federal Highway 2 in the Sky Island region of northeastern Sonora, Mexico. *Air, Soil and Water Research*, 14, 117862212098872.  
<https://doi.org/10.1177/117862212098872>
- Moreno, J. A. (1991) *Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores kernel*, *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*. Universidad Autónoma de Madrid. 460 pp. Disponible en:  
<https://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000075/00000010.pdf> (consultado 11 de marzo de 2023).
- Moreno-Valdez, A., Vázquez-Farías, E.P. (2005) Mamíferos terrestres de Tamaulipas. En: L.L. Barrientos, S.A. Correa, V. J. Horta, J.J. García (Eds). *Biodiversidad y de Tamaulipas Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Victoria, Tamaulipas, México*. 271 pp.

- Pacheco, C. J. F., Luna, R. C. R., Guadarrama, M. E., Valdez L. J. D, Gordillo, C. E. J., Saenz, M. J., Mata, E. E. Z., Gama, C. L. M., Rangel, R. L. J., Cruz, H. Y. S., Zapata, R. F. S. (2016) Las carreteras mortales para la fauna. *Perspectiva Científica desde la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco* 4, 477–487.
- Periódico Oficial (2019) Plan Municipal De Desarrollo 2018-2021 Gobierno de Victoria Tamaulipas, Mexico. Órgano del Gobierno Constitucional del estado libre y soberano de Tamaulipas. Disponible en:  
<https://po.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2019/02/POL-15-310119-ANEXO-VICTORIA.pdf> (consultado 09 de abril de 2023).
- Ramp, D., Wilson, V.K., y Croft, D.B. (2006) Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 129, 348–359.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.11.002>
- Rubio-Rocha, Y., Gaxiola-Camacho, S., Morales-García, M., Artigas-Gutiérrez, B., Sánchez-Ríos, A., Carvajal-Sauceda, F., y Espinoza-Evans, G. (2022) First records of road-killed mammals in the state of Sinaloa, México. *Therya Notes* 3, 53–58.  
[https://doi.org/10.12933/therya\\_notes-22-70](https://doi.org/10.12933/therya_notes-22-70)
- Ruíz-Ramírez, L. (2020) Monitoreo de fauna silvestre atropellada en seis caminos y carreteras del norte del estado de Veracruz. Tesis de especialización. Universidad Veracruzana (México). Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4144813>
- Ruíz-Ramírez, L., González-Gallina, A., Soto, V., Pacheco-Figueroa, C. J., y Pech-Canché, J. M. (2022) Comparison of road-killed mammals on roads of different types of jurisdictions and traffic volume in Veracruz, México. *Therya Notes* 3, (2), 82–86.  
[https://doi.org/10.12933/therya\\_notes-22-75](https://doi.org/10.12933/therya_notes-22-75)
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT] (2020) Manual de diseño de pasos de fauna silvestre en carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura. Disponible en:  
<https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/normativa/manuales/> (consultado 06 de marzo de 2023).
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT] (2023a) Carretera Segura, el uso del celular mientras manejas se ha convertido en la principal causa de accidentes viales. Gobierno de México. Disponible en:  
<https://www.gob.mx/sct/articulos/carretera-segura-2023?idiom=es> (consultado 10 de marzo de 2023).
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT] (2023b) Acto de disculpa pública de la SICT y del Banco Nacional de Obras gob.mx. Disponible en:  
<https://www.gob.mx/sct/articulos/acto-de-disculpa-publica-de-la-sict-y-del-banco-nacional-de-obras-y-servicios-publicos-s-n-c>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2010) Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Disponible en:

- [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019)(consulta do 22 de enero de 2023).
- StatSoft, Inc. (2014) *Electronic Statistics Textbook (Electronic Version)*. StatSoft, Tulsa. Disponible en:  
<http://www.statsoft.com/textbook/> (consultado 17 de marzo de 2023).
- Strasburg, J. L. (2006) Roads and genetic connectivity. *Nature* 440, (7086), 875–876.  
Disponible en: <https://doi.org/10.1038/440875a> (consultado 05 de febrero de 2023).
- Trombulak, S. C., Frissell, C. A. (2001) Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14 (1), 18–30.  
<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>
- Villalobos-Hoffman, R., Ewing, J. E., Mooring, M. S. (2022) Do Wildlife Crossings Mitigate the Roadkill Mortality of Tropical Mammals? A Case Study from Costa Rica. *Diversity*, 14 (8), 665.  
<https://doi.org/10.3390/d14080665>
- Williams, B. K., Brown. E. D. (2014) Adaptive management: from more talk to real action. *Environmental Management*, 53 (2): 465–479.  
<https://doi.org/10.1007/s00267-013-0205-7>