

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Trampa mortal para la fauna silvestre: análisis de vertebrados atropellados en una carretera asfaltada en Nayarit, occidente de México

Deathly trap for wildlife: analysis of road-killed vertebrates on a paved road in Nayarit, western Mexico

Authors/Autores: Luja, V.H., Zamudio, M. G., Guzmán-Báez, D. J.

ID: e2055

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2055>

Received/Fecha de recepción: August 27th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: August 25th 2026

Available online/Fecha de publicación: September 24th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Luja, V.H., Zamudio, M. G., Guzmán-Báez, D. J. (2026). Deathly trap for wildlife: analysis of road-killed vertebrates on a paved road in Nayarit, western Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2055. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2055>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original / Original article

Trampa mortal para la fauna silvestre: análisis de vertebrados atropellados en una carretera asfaltada en Nayarit, occidente de México

Deathly trap for wildlife: analysis of road-killed vertebrates on a paved road in Nayarit, western Mexico

Fauna silvestre atropellada en Nayarit/**Wildlife run over in Nayarit**

Luja, V.H.^{1,2*}  <http://orcid.org/0000-0001-7480-7278>, Zamudio, M. G.² 
<https://orcid.org/0000-0001-9091-7856>, Guzmán-Báez, D. J.³  <https://orcid.org/0009-0004-7279-149>

¹Unidad Académica de Turismo. Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura, S/N., 63000, Tepic, Nayarit, México

²Jaguares Sin Protección A. C. Cerro Blanco, 40 Int. 16, Colonia Cuauhtémoc, 63180, Tepic, Nayarit, México

³Programa de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Ambientales, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Puerto Vallarta-Tepic Compostela km 9, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit, México

***Corresponding Author:**

Víctor H. Luja. Unidad Académica de Turismo. Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura, S/N., C.P. 63000, Tepic, Nayarit, México. Teléfono: (311) 111 9533. E-mail: contacto@jaguaressp.com

RESUMEN

La mortalidad de fauna por atropellamiento en carreteras (WVC) constituye una de las principales amenazas para numerosas especies silvestres, particularmente en regiones con alta biodiversidad. En este estudio se evaluaron los patrones taxonómicos, temporales y espaciales de atropellos a lo largo de un tramo carretero en Nayarit, México. Durante el periodo de muestreo se registraron 260 individuos, de los cuales el 88 % se identificó a nivel de especie, representando 19 especies de vertebrados silvestres y tres domésticas. *Didelphis virginiana* fue la especie más frecuentemente atropellada. La tasa general de mortalidad fue de 0.045 atropellos/día/km, con los anfibios presentando la tasa más elevada. Se identificaron diferencias temporales significativas, particularmente un aumento de atropellos de anfibios y reptiles durante la temporada de lluvias. El análisis espacial reveló agregaciones significativas de mortalidad para anfibios y animales domésticos, indicando la presencia de tramos críticos. Estos hallazgos demuestran que la mortalidad por carreteras responde a patrones no aleatorios asociados a procesos ecológicos y factores antrópicos, y destacan la necesidad de implementar medidas de mitigación focalizadas espacial y temporalmente para reducir el impacto del tráfico vehicular sobre la biodiversidad regional.

PALABRAS CLAVE:

Atropellamientos, fauna silvestre, Nayarit, biodiversidad, carreteras.

Introducción

Las carreteras constituyen un componente esencial de la infraestructura contemporánea y desempeñan un papel central en la movilidad humana, la integración territorial y el crecimiento económico global (Cervero, 2009; Laurance *et al.*, 2014). Al facilitar el transporte rápido y eficiente de bienes, servicios y personas, las redes viales promueven la conectividad regional y nacional, impulsan cadenas de suministro y permiten la expansión de actividades productivas y comerciales (Srinivasu & Rao, 2013). Esta función estratégica ha llevado a una expansión sin precedentes de la infraestructura carretera en prácticamente todos los países, particularmente en regiones en desarrollo donde las rutas terrestres son un pilar del crecimiento económico. No obstante, este avance ha generado una serie de impactos ambientales que van más allá del cambio de uso de suelo, la apertura de accesos o la facilitación de actividades humanas en zonas previamente remotas. Entre estos impactos, uno de los más extendidos, persistentes y a menudo subestimados es la mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos (Coffin, 2007; Kolb *et al.*, 2025).

La mortalidad asociada a colisiones con vehículos constituye actualmente una de las principales causas de muerte no natural para un gran número de vertebrados terrestres (Van Der Ree *et al.*, 2015; Schwartz *et al.*, 2020; Grilo *et al.*, 2021). Este fenómeno ocurre en todos los continentes donde existen carreteras, desde regiones boreales hasta selvas tropicales, e involucra una amplia diversidad de taxones. Los atropellamientos afectan por igual a especies de baja movilidad (como anfibios y reptiles) y a grandes mamíferos, cuyo tamaño y comportamiento las hacen especialmente vulnerables. La magnitud de este impacto se traduce en una presión adicional sobre las poblaciones silvestres, especialmente en aquellas que ya enfrentan amenazas derivadas de la pérdida de hábitat, la cacería, el cambio climático y la expansión urbana. Más allá de la mortalidad directa, las carreteras actúan como barreras físicas y conductuales, reduciendo la conectividad del paisaje, fragmentando poblaciones y disminuyendo el flujo genético entre subpoblaciones aisladas (Clevenger *et al.*, 2003; Hetman *et al.*, 2019; Pinto *et al.*, 2020; Medrano-Vizcaíno *et al.*, 2022). En consecuencia, los atropellamientos no solo representan muertes aisladas, sino que influyen en la dinámica poblacional, la estructura genética y la persistencia a largo plazo de numerosas especies, algunas de ellas con estatus de conservación preocupante.

Pese a la creciente atención internacional hacia los impactos ecológicos de las carreteras, la información en México aún es incipiente y está distribuida de manera desigual entre regiones. Aunque los primeros esfuerzos sistemáticos han permitido generar conocimiento valioso, los estudios exhaustivos continúan siendo escasos y se concentran en unos cuantos estados (González-Gallina & Benítez-Badillo, 2013; González-Gallina & Hidalgo-Mihart, 2018). Las investigaciones más completas se han realizado en Veracruz y Puebla (González-Gallina *et al.*, 2013; 2016), en la Península de Yucatán (Nahuat-Cervera *et al.*, 2021), en Campeche (Canales-Delgadillo *et al.*, 2020; Briceño-Méndez *et al.*, 2025), así como en Sinaloa (Rubio-Ochoa *et al.*, 2022), Guerrero (García-Sánchez *et al.*, 2023) y corredores interestatales de Oaxaca y Veracruz (Ríos-Solís *et al.*, 2025). De forma consistente, estos estudios señalan patrones espaciales en la incidencia de atropellamientos asociados con características del entorno, como menor cobertura arbórea, proximidad a cuerpos de agua, presencia de curvas, zonas con vegetación densa cercana a la carpeta asfáltica y áreas próximas a asentamientos humanos (Nahuat-Cervera *et al.*, 2021; Ríos-Solís *et al.*, 2025). Estos factores reflejan tanto la disponibilidad de hábitat como la probabilidad de que los animales crucen las vías en puntos específicos, lo que subraya la importancia de la planificación de infraestructura basada en análisis ecológicos.

En este contexto, el estado de Nayarit representa un vacío crítico de información. A pesar de poseer una de las mayores riquezas de vertebrados del occidente de México (con alrededor de 860 especies registradas; Loc-Barragán *et al.*, 2017) y de contar con una red vial en creciente expansión que incluye más de 765 km de carreteras federales pavimentadas (SCT, 2024), la literatura científica sobre atropellamientos en la región es prácticamente inexistente. Las referencias

disponibles se limitan a observaciones anecdóticas y registros oportunistas (Alba & Dueñas *et al.*, 2020), los cuales carecen del rigor metodológico necesario para evaluar patrones espaciales, factores de riesgo o impactos poblacionales. Esta ausencia de información es especialmente preocupante debido a que Nayarit integra ecosistemas prioritarios (selvas bajas caducifolias, bosques tropicales subcaducifolios, manglares y bosques templados) que albergan especies endémicas, migratorias y de alto valor de conservación, incluidas varias listadas en la NOM-059.

La necesidad de desarrollar estudios sistemáticos en regiones poco evaluadas como Nayarit es, por lo tanto, urgente. En un escenario de rápida expansión de infraestructura carretera en el occidente de México, documentar la magnitud, la composición taxonómica y los patrones espaciales de los atropellamientos resulta indispensable para anticipar impactos ecológicos y diseñar estrategias de mitigación basadas en evidencia. Estudios locales robustos permiten no solo identificar tramos críticos y factores de riesgo, sino también contribuir a la generación de modelos predictivos aplicables en contextos regionales y nacionales. Asimismo, la información resultante es fundamental para orientar la toma de decisiones en materia de conservación, gestión vial y diseño de infraestructura sostenible que promueva un equilibrio entre el desarrollo humano y la integridad ecológica.

En este marco, el presente estudio constituye un esfuerzo inicial para cerrar la brecha de conocimiento sobre los atropellamientos de fauna en Nayarit. Al documentar de manera sistemática los registros de mortalidad vehicular, este trabajo aporta datos esenciales para comprender la magnitud del problema en la región, contextualizándolo dentro del panorama nacional e internacional. Además, genera insumos que pueden apoyar la implementación futura de medidas de mitigación y contribuir a la comprensión global de uno de los principales desafíos contemporáneos para la conservación de la vida silvestre.

Material y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la carretera Tepic-Puga-Aguamilpa, en el municipio de Tepic, Nayarit, México (inicio: 21°32'48.38"N & 104°51'49.35"O, 926 m de elevación, y fin: 21°43'22.36"N, 104°52'41.42"W, 176masl). Las coordenadas se obtuvieron mediante Google Earth Pro. El clima es cálido subhúmedo, siendo mayo y junio los meses más cálidos con una temperatura máxima promedio de 35.9 °C y 35.3 °C, respectivamente, mientras que los meses más fríos son diciembre (10.4 °C) y enero (10.0 °C). La temporada de lluvias es de junio a octubre, siendo el mes más lluvioso agosto (332.1 mm). Se trata de una vía secundaria de dos carriles (8-9 m de ancho, sin acotamiento) que conecta la ciudad de Tepic, capital del estado de Nayarit (425,924 habitantes) con la presa hidroeléctrica de Aguamilpa. Esta carretera se encuentra inmersa en un paisaje totalmente agrícola (caña de azúcar, mango y agave; INEGI, 2022), y cruza por en medio de pueblos como Atonalisco (1,773 habitantes), La Paloma (71 habitantes) y Jesús María Corte (654 habitantes; INEGI, 2022).

Recolección de datos

Entre julio de 2022 y junio de 2023 se realizaron cuatro muestreos mensuales (uno por semana), con un intervalo de 7 días entre muestreos. Todos los muestreos iniciaron a las 6:10 a.m. comenzando desde el punto más bajo del camino (pueblo de Jesús María Corte, 176 masl), finalizando a las 7:30 a.m. en el punto más alto del camino (entrada a la ciudad de Tepic, 926 masl), completando un recorrido de 27 km. Cada recorrido fue realizado por los mismos dos observadores, incluido el conductor del vehículo. La velocidad del vehículo fue constante (40 km/h) en todos los recorridos.

Identificación de vertebrados muertos en la carretera

Cada espécimen encontrado muerto en la carretera se determinó al nivel taxonómico más bajo posible con el apoyo de guías de campo especializadas (Ceballos & Oliva, 2005; Myska, 2013; Álvarez-Castañeda *et al.*, 2015). La categoría de conservación y endemismo de cada especie de

vertebrado silvestre sacrificada con base en la NOM-059-SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT, 2010).

Análisis de datos

La tasa de mortalidad por kilómetro (atropellos/día/kilómetros) se estimó con la función “Estimación de la Tasa de Mortalidad” del software SIRIEMA V. 2. (Coelho *et al.*, 2014), considerando los siguientes parámetros: longitud de la carretera (27 km), cantidad total de atropellos para cada taxón, intervalo de muestreo (TS = 6), eficiencia de los buscadores ($p = 0,59$) y tiempo característico de remoción de cadáveres (TR = 6). Estos dos últimos valores se obtuvieron de la literatura (Teixeira *et al.*, 2013; Coelho *et al.*, 2014). Para evaluar la existencia de diferencias significativas en la tasa de mortalidad entre taxones (anfibios, aves, mamíferos y reptiles), se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis con comparaciones post hoc de Dunn. Se analizaron las diferencias en la tasa de mortalidad por taxón entre época seca y lluviosa mediante una prueba U de Mann-Whitney. Se utilizó el estadístico K de Ripley 2D para conocer si la distribución de los atropellos presenta significancia espacial de agrupación (Coelho *et al.*, 2008), utilizando los siguientes parámetros: radio inicial de 300 m, un radio de incrementos de 500 m, un nivel de confianza del 95 % y una prueba Monte Carlo con 1,000 aleatorizaciones (Coelho *et al.*, 2014).

Resultados y Discusión

El presente estudio ofrece una caracterización integral de los efectos de una carretera asfaltada en Nayarit sobre la fauna vertebrada a lo largo de un ciclo anual. Los patrones detectados permiten comprender la magnitud e intensidad del impacto vial sobre diversas especies, reflejando tanto la composición taxonómica de los organismos afectados como los procesos ecológicos y espaciales que explican su vulnerabilidad. La elevada proporción de individuos identificados a nivel específico (88 %) constituye una fortaleza del estudio, ya que posibilita un análisis detallado de los patrones de mortalidad y de los grupos funcionales y taxonómicos involucrados.

Composición de los vertebrados atropellados en la carretera y tasa de mortalidad

Durante el periodo de muestreo anual se documentaron 260 individuos muertos por atropello a lo largo del tramo analizado. De éstos, 230 individuos (88 % del total) pudieron ser asignados a nivel específico, lo que permitió caracterizar la composición taxonómica con un detalle inusualmente alto para estudios de mortalidad vial en paisajes agrícolas. Las 19 especies registradas abarcan 17 familias y 10 órdenes (Tabla 1), distribuidas en cuatro clases de vertebrados, y se complementan con la presencia de tres especies domesticadas (*Gallus gallus domesticus*, *Canis lupus familiaris*, *Felis catus*). El 12 % restante de los registros correspondió a individuos en avanzado estado de descomposición o fragmentación, lo que impidió la identificación confiable; este hecho remarca la importancia de considerar la pérdida de información debida a la necrofauna y a la remoción humana en las estimaciones de composición. La alta proporción de especímenes identificados constituye una fortaleza metodológica del estudio, ya que reduce la incertidumbre asociada a inferencias sobre riqueza, diversidad y la representación relativa de grupos funcionales afectados por la vía.

La distribución taxonómica observada refleja tanto la heterogeneidad ecológica del paisaje adyacente como los sesgos inherentes a la interacción fauna-carretera. La presencia simultánea de anfibios, reptiles, aves y mamíferos sugiere que la carretera intersecta una matriz de microhábitats utilizados por especies con distintas estrategias tróficas y ciclos de vida; sin embargo, la representación relativa de cada taxón no sólo depende de su abundancia local, sino también de su detectabilidad como cadáveres, de la tasa de remoción por carroñeros y de la probabilidad de que un individuo cruce la carretera. En consecuencia, las interpretaciones sobre frecuencias relativas deben matizarse con la posibilidad de sesgo de muestreo: por ejemplo, especies pequeñas o de cuerpo blando (anfibios) pueden ser detectadas con menor probabilidad si la búsqueda ocurre

transcurrido mucho tiempo desde el atropello, mientras que animales de mayor tamaño permanecen visibles por más tiempo y son, por tanto, sobrerrepresentados en conteos puntuales.

Tabla 1. Vertebrados atropellados en la vía Tepic-Puga-Aguamilpa en el municipio de Tepic, Nayarit, México, entre junio de 2022 y junio de 2023.

	Seca	Lluviosa	Total	NOM	Endemismo
AVES					
Falconiformes					
Falconidae					
<i>Falco sp.</i>	0	1	1		
ANFIBIOS					
Anura					
Bufonidae					
<i>Rhinella marina</i>	0	23	23		
Hylidae					
<i>Agalychnis dacnicolor</i>	1	9	10		X
<i>Smilisca baudini</i>	1	36	37		
<i>Tlalocohyla smithi</i>	1	36	37		X
REPTILES					
Squamata					
Helodermatidae					
<i>Heloderma horridum</i>	1	0	1	A	X
Iguanidae					
<i>Ctenosaura pectinata</i>	1	1	2	A	X
Serpentes					
Boidae					
<i>Boa sigma</i>	2	1	3		X
Colubridae					
<i>Drymarchon melanurus</i>	2	3	5		
Loxocemidae					
<i>Loxocemus bicolor</i>	0	1	1		
Viperidae					
<i>Crotalus basiliscus</i>	1	1	2	Pr	X
Testudines					
Kinosternidae					
<i>Kinosternon integrum</i>	0	3	3	Pr	X
Geoemydidae					
<i>Rhinoclemmys pulcherrima</i>	0	1	1	A	X
MAMÍFEROS					
Carnívora					
Canidae					
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	1	1	2		
Procyonidae					
<i>Procyon lotor</i>	0	1	1		
Cingulata					
Dasypodidae					
<i>Dasyus novencinctus</i>	1	2	3		
Didelphimorphia					
Didelphidae					
<i>Didelphis virginiana</i>	31	24	55		
Lagomorpha					
Leporidae					
<i>Sylvilagus cunicularius</i>	3	0	3		
Rodentia					
Sciuridae					
<i>Sciurus nayaritensis</i>	3	1	4		
ANIMALES DOMÉSTICOS					
<i>Canis familiaris</i>	11	12	23		
<i>Felis domesticus</i>	4	5	9		

<i>Gallus gallus</i>	2	2	4
Total	66	164	230

El caso del tlacuache, *Didelphis virginiana*, que constituye el 25.6 % de los registros identificables ($n = 55$), requiere una interpretación multifactorial. La preponderancia de *D. virginiana* es consistente con estudios previos en México y América del Norte donde marsupiales oportunistas aparecen frecuentemente como la especie más atropellada (Delgado-Trejo *et al.*, 2018; Arana-Rivera & Gutiérrez-Quintero, 2022; Pinto *et al.*, 2022; Rubio-Rocha *et al.*, 2022). Esta sobrerrepresentación puede atribuirse a una combinación de rasgos ecológicos: alta plasticidad alimentaria y de hábitat que les permite explotar márgenes carreteros y bordes agrícolas; hábitos nocturnos y crepusculares que aumentan la probabilidad de encuentro con vehículos en condiciones de baja visibilidad; y comportamiento carroñero que los aproxima a cuerpos de vía donde encuentran recursos alimenticios. Además, su tamaño corporal intermedio favorece una detectabilidad relativamente alta como restos, en comparación con invertebrados o pequeños anuros, lo que puede reforzar su presencia en los datos. No obstante, la alta frecuencia de *D. virginiana* también podría reflejar procesos de sinergia entre abundancia local y atracción a los recursos asociados a la infraestructura (p. ej., desechos orgánicos en márgenes, presas atraídas por iluminación), por lo que su predominio en los registros no necesariamente equivale a una vulnerabilidad intrínseca mayor que la de otras especies menos detectables.

Tasa de atropellos

La tasa de mortalidad general estimada para el tramo carretero (0.045 atropellos/día/km) revela un impacto persistente y sostenido sobre la fauna local, incluso en un paisaje dominado por actividades agropecuarias. Este valor se encuentra dentro del rango documentado para carreteras secundarias o rurales de América Latina, donde la ausencia de pasos de fauna, la proximidad a cuerpos de agua y la movilidad estacional de ciertos grupos taxonómicos suelen incrementar la probabilidad de colisiones. La partición de esta tasa por clases de vertebrados muestra un patrón diferencial claro: los anfibios registraron la tasa más alta (0.021 atropellos/día/km), seguidos por mamíferos (0.013 atropellos/día/km), animales domésticos (0.007 atropellos/día/km) y reptiles (0.003 atropellos/día/km), diferencias que fueron estadísticamente significativas (Kruskal–Wallis, $p < 0.05$). La magnitud de estas diferencias pone de manifiesto que la vulnerabilidad a la infraestructura vial no se distribuye de manera uniforme entre los grupos biológicos, sino que está estrechamente relacionada con rasgos relacionados a la ecología del movimiento, historia de vida y patrones conductuales.

El predominio de atropellos en anfibios coincide con lo reportado en ecosistemas templados y tropicales, donde la combinación de baja velocidad de desplazamiento, alta dependencia de la humedad y movimientos masivos asociados a la reproducción amplifica su exposición al riesgo vehicular (Coelho *et al.*, 2008; Miranda *et al.*, 2017). En regiones con pozas temporales o corredores hídricos próximos a carreteras (como ocurre en el sitio de estudio), los anfibios incrementan su actividad durante la temporada de lluvias, lo cual se traduce en picos abruptos de mortalidad. Además, el pequeño tamaño corporal de estos organismos y su coloración críptica reducen la detectabilidad por parte de los conductores, mientras que su fisiología permeable los hace susceptibles a morir incluso antes del impacto directo, debido al estrés térmico del pavimento caliente o a la desecación rápida si quedan expuestos en superficies asfaltadas (Langen *et al.*, 2009; Colino-Rabanal & Lizana, 2012).

Los mamíferos, con una tasa intermedia de 0.013 atropellos/día/km, presentan una dinámica distinta. Aunque su movilidad y capacidad sensorial pueden reducir en algunos casos el riesgo de colisión, factores como la búsqueda de alimento en bordes de carretera, la atracción a carroña y la tolerancia al disturbio humano pueden elevar la probabilidad de encuentros fatales. En particular, especies generalistas y oportunistas como *Didelphis virginiana* o *Procyon lotor* suelen registrar tasas

altas en comparación con mamíferos estrictamente forestales. Adicionalmente, la fragmentación causada por la carretera puede obligar a individuos a cruzar repetidamente para acceder a recursos, aumentando su exposición diaria al tráfico (Castillo-Flores & Calvo-Irabién, 2003).

La mortalidad registrada en animales domésticos (0.007 atropellos/día/km) constituye un elemento adicional relevante para interpretar la tasa general. En zonas rurales, la presencia de perros y gatos sin supervisión (o de aves de corral que deambulan cerca del camino) incrementa el riesgo tanto para la fauna silvestre como para los usuarios de la vía. Los animales domésticos pueden atraer depredadores silvestres hacia la carretera o actuar como reservorios de enfermedades, generando efectos indirectos sobre la biodiversidad local. Su inclusión en los registros también señala la necesidad de incorporar componentes de manejo comunitario y educación ambiental en estrategias de mitigación (Carvalho-Roel *et al.*, 2019).

Los reptiles mostraron la tasa más baja (0.003 atropellos/día/km), aunque este valor debe interpretarse con cautela. Por un lado, reptiles como serpientes y lagartijas pueden ser menos detectados debido a su tamaño o rápida remoción por carroñeros (Díaz-García, 2024). Por otro, especies de mayor tamaño, como tortugas o *Heloderma horridum*, pueden sufrir impactos demográficos severos incluso con bajas tasas absolutas de mortalidad debido a sus ciclos de vida lentos y baja fecundidad. La mortalidad de pocos adultos reproductores puede comprometer de manera desproporcionada la persistencia local a largo plazo, aun cuando su tasa relativa sea baja en comparación con otros grupos.

La presencia de especies endémicas de México entre los organismos atropellados (incluyendo anfibios, lagartijas, serpientes y tortugas) y de taxa incluidos en la NOM-059-SEMARNAT-2010 subraya la relevancia biológica del área, aun cuando más del 90 % de la matriz paisajística circundante corresponde a zonas agrícolas. Lo anterior confirma que las carreteras pueden funcionar como "trampas ecológicas" para especies de alta especificidad ecológica, independientemente del grado de antropización del entorno (Pinto *et al.*, 2020; Schwartz *et al.*, 2020; Grilo *et al.*, 2021).

Afectaciones diferenciadas entre grupos taxonómicos

La variación significativa en las tasas de mortalidad entre las diferentes clases de vertebrados resalta las diferencias en la vulnerabilidad de estos grupos ante los riesgos asociados con las carreteras (Coelho *et al.*, 2008; Miranda *et al.*, 2017; Filius *et al.*, 2020). En particular, los anfibios presentan la tasa más alta, lo que indica una mayor susceptibilidad de este grupo a los impactos de las carreteras. Este hallazgo es crucial para comprender los desafíos específicos que enfrentan los anfibios en entornos antropizados y para implementar medidas de conservación dirigidas. Esta alta tasa de mortalidad en anfibios puede atribuirse a varias razones. En primer lugar, los anfibios tienen patrones de actividad que a menudo los llevan a cruzar carreteras (Morelli *et al.*, 2023). Durante la temporada de reproducción, muchos anfibios migran desde sus hábitats terrestres hacia cuerpos de agua para reproducirse. Este comportamiento reproductivo puede llevarlos a atravesar carreteras, lo que aumenta su exposición al riesgo de atropellos (Pinto *et al.*, 2023). Además, los anfibios son organismos ectotermos, lo que significa que su temperatura corporal está directamente influenciada por la temperatura del ambiente que los rodea, esto los hace particularmente dependientes de entornos húmedos y acuáticos para regular su temperatura y evitar la deshidratación (Wells, 2007). Las carreteras, al crear barreras físicas entre hábitats acuáticos y terrestres, pueden interrumpir estos movimientos vitales (Canales-Delgadillo *et al.*, 2020) y exponer a los anfibios a mayores riesgos (Arévalo *et al.*, 2017; Brehme *et al.*, 2021; Nahuat-Cervera *et al.*, 2021; Pacheco *et al.*, 2021; Díaz-García, 2024). La combinación de estos factores contribuye a la alta tasa de mortalidad de anfibios en carreteras y subraya la necesidad de medidas específicas de mitigación para proteger a este grupo. Estrategias como la instalación de barreras físicas, pasos de fauna subterráneos y elevados, así como la creación de corredores ecológicos (Helldin & Petrovan, 2019), pueden ser esenciales para reducir el impacto de las carreteras en las poblaciones de anfibios locales.

Patrones temporales de mortalidad

Los patrones temporales de mortalidad observados a lo largo del ciclo anual evidencian una marcada estacionalidad en el riesgo de atropellamiento para ciertos grupos taxonómicos. La prueba U de Mann-Whitney mostró diferencias significativas entre la estación seca y la húmeda para

anfibios ($Z = -5.31$, $p = 0.00001$) y reptiles ($Z = -5.84$, $p = 0.00005$), con un incremento notable de la mortalidad durante la temporada de lluvias. En contraste, no se detectaron diferencias significativas en los atropellos de mamíferos ($Z = -0.35$, $p = 0.28$) ni en animales domésticos ($Z = -1.06$, $p = 0.28$), lo que sugiere que los factores que determinan la vulnerabilidad temporal varían de manera importante entre grupos. Esta estructura temporal coincide con patrones ampliamente documentados en la literatura sobre ecología de carreteras, donde la estacionalidad climática es uno de los principales determinantes del riesgo vial para fauna silvestre (Monge-Nájera, 2018; Mayer *et al.*, 2021).

El incremento en atropellos durante la temporada de lluvias está estrechamente relacionado con cambios en la actividad, movilidad y dinámica reproductiva de los anfibios. Muchos anuros presentan explosiones reproductivas sincronizadas con las primeras precipitaciones, lo que desencadena movimientos masivos desde refugios terrestres hacia cuerpos de agua temporales o semipermanentes, frecuentemente localizados en cunetas, drenes o depresiones cercanas a carreteras (Wells, 2007). En este estudio, la proximidad del camino a una serie de pozas temporales y canales agrícolas probablemente amplificó este fenómeno, concentrando los desplazamientos en zonas donde la barrera vial representa un obstáculo crítico. Estos desplazamientos reproductivos suelen ocurrir durante la noche o al amanecer, periodos en que la visibilidad de los conductores disminuye y la detectabilidad de los anfibios es mínima, lo que incrementa exponencialmente el riesgo de mortalidad.

En el caso de los reptiles, el aumento de atropellos en la temporada húmeda puede atribuirse a una combinación de factores ecológicos. Por un lado, la mayor disponibilidad de presas (particularmente anfibios y pequeños invertebrados asociados a ambientes húmedos) puede inducir un incremento en la actividad trófica, motivando a lagartijas y serpientes a desplazarse por áreas abiertas, incluyendo el asfalto, donde además encuentran superficies térmicas favorables para la termorregulación. Por otro lado, algunas especies experimentan movimientos estacionales asociados a territorios reproductivos o búsqueda de refugios, lo cual aumenta la probabilidad de interacción con el tráfico vehicular. Para especies de baja vagilidad y estrategias reproductivas lentas, incluso pequeñas variaciones en los patrones de actividad pueden traducirse en un impacto demográfico significativo.

La estacionalidad detectada no sólo refleja cambios en la movilidad de los animales, sino también modificaciones en las condiciones ambientales que alteran el riesgo de colisión. Durante los periodos de precipitación, la visibilidad para los conductores disminuye considerablemente debido a la lluvia, el empañamiento de parabrisas y la reducción del contraste visual entre los organismos y la superficie del camino. Al mismo tiempo, los animales pueden presentar un menor desempeño sensorial bajo condiciones de humedad, lo que limita su capacidad para percibir vehículos que se aproximan a alta velocidad. Esta confluencia de factores (incremento en actividad animal, mayor necesidad de desplazamiento, menor detectabilidad y condiciones ambientales adversas) genera una “ventana de alta vulnerabilidad” que explica el pico de mortalidad registrado para anfibios y reptiles (Ferreguetti *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2023).

En contraste, los mamíferos no mostraron diferencias estacionales significativas, lo que sugiere que su actividad en el paisaje y su interacción con la carretera son relativamente constantes durante el año. Su comportamiento generalista, patrones de movimiento más amplios y capacidad de habituación a ambientes antropizados pueden atenuar el efecto de la estacionalidad climática en los atropellos. Algo similar ocurre con los animales domésticos, cuya presencia en las carreteras depende más de prácticas humanas (como falta de contención, libre pastoreo o abandono) que de variaciones ambientales o reproductivas.

En conjunto, los patrones temporales evidencian que la mortalidad por atropellos no es un proceso uniforme a lo largo del año, sino que responde a ciclos ecológicos marcados y predecibles. Identificar estos picos estacionales resulta esencial para implementar medidas de mitigación temporales (señalización específica durante los meses de lluvia, campañas de reducción de velocidad o instalación de cercos y desvíos hacia pasos de fauna) que permitan disminuir el impacto durante los periodos de mayor vulnerabilidad biológica.

Patrones espaciales de mortalidad

El análisis espacial reveló la presencia de agregaciones significativas de atropellamientos en grupos específicos, lo que evidencia que la mortalidad de fauna no ocurre de manera homogénea a lo largo del tramo carretero, sino que se concentra en segmentos funcionalmente relevantes para determinadas especies (Figura 1). En el caso de los anfibios, se identificaron cuatro agregaciones bien definidas ubicadas entre los kilómetros 11.2–11.5, 16–17, 21–22 y 25.9–27, todas ellas correspondientes a zonas que coinciden con cuerpos de agua temporales, drenes agrícolas y microhábitats inundables utilizados por estas especies durante la temporada reproductiva. Para los animales domésticos se identificaron tres agregaciones adicionales en los kilómetros 1–3, 14.5–15.8 y 17.8–20, asociadas a áreas con mayor presencia de asentamientos humanos, infraestructura rural dispersa y espacios abiertos donde perros y gatos transitan libremente. En contraste, no se detectaron agregaciones espaciales para reptiles, lo que sugiere que sus eventos de atropellamiento están distribuidos de manera más dispersa o asociados a factores que no presentan una estructura espacial tan marcada.

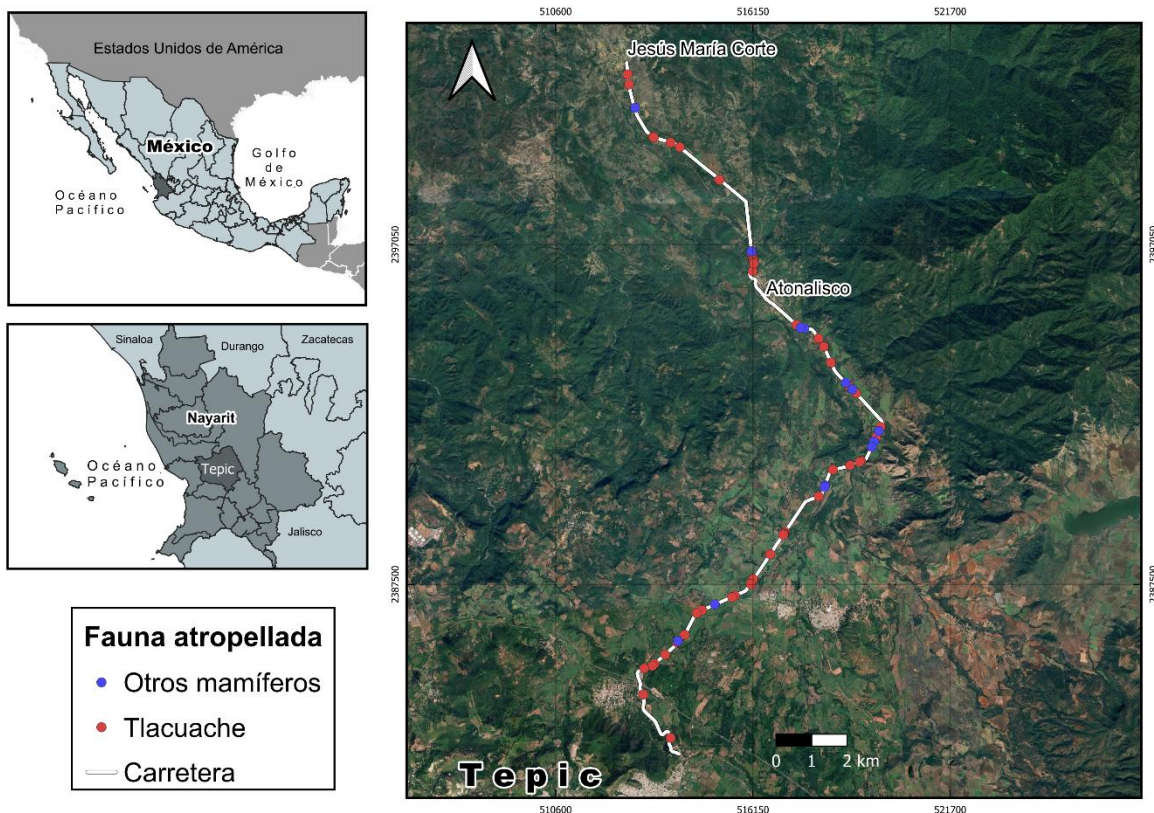


Figura 1. Localización de atropellamientos de mamíferos, incluyendo al tlacuache (*Didelphis virginiana*), registrados en la carretera Tepic–Puga–Aguamilpa, en el municipio de Tepic, Nayarit, México. Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base [Google Satellite], elaborado en QGIS (QGIS, 2020).

La identificación de estas agregaciones espaciales (hotspots) constituye un hallazgo clave para comprender la dinámica espacial de los atropellos y sus causas subyacentes. Desde una perspectiva ecológica, una agregación implica que ciertos segmentos del camino presentan condiciones que aumentan significativamente la probabilidad de colisiones con fauna, ya sea por características físicas del entorno, por la configuración del paisaje o por factores biológicos vinculados al comportamiento de las especies (Silveira *et al.*, 2020; Morelli *et al.*, 2023). En el caso de los anfibios,

la correspondencia entre las agregaciones y las rutas de desplazamiento hacia cuerpos de agua confirma que las zonas detectadas funcionan como corredores migratorios reproductivos. Las pozas, canales y bordes húmedos adyacentes al camino constituyen hábitats esenciales para la reproducción, y su cercanía inmediata al asfalto obliga a los individuos a cruzar repetidamente la superficie vehicular. La concentración espacial de los atropellos indica, por tanto, que estos sitios representan cuellos de botella ecológicos donde la carretera interrumpe directamente procesos naturales clave para la persistencia poblacional.

Para los animales domésticos, las agregaciones responden a dinámicas completamente distintas, vinculadas directamente con actividades humanas. La presencia recurrente de perros, gatos y aves de corral atropellados en segmentos próximos a viviendas rurales, corrales y zonas de actividad agrícola refleja un patrón típico de carreteras que atraviesan comunidades donde los animales domésticos tienen libre acceso a caminos o no cuentan con confinamiento adecuado (Carvalho-Roel *et al.*, 2019). Estos puntos críticos no sólo representan un riesgo para los propios animales, sino que incrementan el peligro para la fauna silvestre y para los usuarios de la carretera, debido a la posible generación de maniobras evasivas por parte de los conductores.

La ausencia de agregaciones para reptiles no debe interpretarse como una falta de impacto, sino más bien como una evidencia de que los atropellos ocurren de forma más dispersa o en relación con eventos puntuales de termorregulación o búsqueda de presas, lo que dificulta la identificación de patrones espaciales recurrentes. En especies con hábitos solitarios y territorios más amplios, la mortalidad tiende a distribuirse de manera más aleatoria, en comparación con los patrones altamente sincronizados de los anfibios durante la reproducción.

Desde una perspectiva aplicada, el reconocimiento de estos puntos críticos es fundamental para diseñar estrategias de mitigación eficaces. En lugar de implementar medidas a lo largo de toda la carretera (estrategia costosa e ineficiente), las intervenciones pueden focalizarse en los segmentos donde la concentración de atropellos es significativamente mayor. Para los anfibios, la instalación de barreras guía y pasos de fauna subterráneos estratégicamente alineados con los cuerpos de agua adyacentes podría reducir en gran medida la mortalidad durante los periodos reproductivos. Del mismo modo, en las zonas donde predominan los atropellos de fauna doméstica, las medidas pueden orientarse hacia campañas de sensibilización comunitaria, regulación del libre tránsito de mascotas, reforzamiento del confinamiento de animales y señalización específica para reducir la velocidad. Así pues, los patrones espaciales identificados permiten comprender mejor la interacción entre la carretera, el paisaje circundante y las especies afectadas. La focalización de medidas en estos puntos críticos no sólo maximiza la eficiencia ecológica de las intervenciones, sino que también optimiza los recursos económicos y logísticos disponibles, al concentrar los esfuerzos en los sitios donde el impacto potencial de la mitigación es mayor.

Conclusiones

El presente estudio documentó patrones claros de mortalidad de fauna silvestre y doméstica asociados a la carretera analizada, evidenciando tanto variaciones taxonómicas como temporales y espaciales en los atropellamientos. La elevada representación de mamíferos pequeños, particularmente *Didelphis virginiana*, coincide con tendencias observadas en otras regiones del país y sugiere que ciertos rasgos ecológicos (como la generalización trófica, hábitos oportunistas y amplia distribución) incrementan la vulnerabilidad de estas especies al tráfico vehicular. Las tasas específicas de mortalidad revelaron diferencias significativas entre clases de vertebrados, destacando la susceptibilidad particularmente alta de los anfibios, un grupo reconocido globalmente como sensible a perturbaciones ambientales y cuya movilidad estacional incrementa el riesgo de colisiones. Los análisis temporales mostraron un marcado incremento de atropellamientos de anfibios y reptiles durante la temporada de lluvias, en concordancia con la actividad reproductiva y los movimientos migratorios típicos de estos grupos. Este patrón confirma que los procesos biológicos intrínsecos pueden interactuar con la infraestructura vial para generar picos estacionales de mortalidad, lo que subraya la necesidad de adoptar estrategias de mitigación temporalmente focalizadas. Asimismo, la identificación de agregaciones espaciales de atropellos para anfibios y animales domésticos indica la existencia de tramos viales críticos donde convergen factores ecológicos y antrópicos que incrementan el riesgo de colisión. Estas áreas representan

oportunidades prioritarias para la implementación de intervenciones focalizadas, como pasos de fauna, barreras de guía, dispositivos de reducción de velocidad o campañas de manejo responsable de mascotas, según el taxón involucrado. Los resultados de este estudio evidencian que la mortalidad por atropellos en carreteras no se distribuye de manera aleatoria, sino que responde a procesos ecológicos, biológicos y socioambientales específicos que varían en el espacio y en el tiempo. Considerar esta complejidad es fundamental para el diseño de acciones de mitigación efectivas y costo-eficientes. Estos hallazgos aportan información clave para el manejo adaptativo de la infraestructura vial y proporcionan una base robusta para el desarrollo de políticas públicas orientadas a minimizar la pérdida de biodiversidad asociada al tráfico vehicular.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo: VHL; desarrollo de la metodología: VHL, MGZ; manejo de software: VHL, DJG-B; validación experimental: VHL; análisis de resultados: VHL; Manejo de datos: VHL; escritura y preparación del manuscrito: VHL, MGZ; redacción, revisión y edición, VHL, MGZ, DJG-B; administrador de proyectos: VHL, MGZ; adquisición de fondos: VHL, MGZ. "Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo."

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Alba, P. M. A., & Dueñas, R. J. J. (2020). Registro de zorrillo pigmeo (*Spilogale pygmaea*) en Compostela, Nayarit, México. *Revista Mexicana De Mastozoología (Nueva Época)*, 10(2), 53–58. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2020.10.2.309>
- Álvarez-Castañeda, S. T., Álvarez, T., & González-Ruiz, N. (2015). Guía para la identificación de los mamíferos de México en campo y laboratorio. Ed. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. y Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. ISBN: 978-607-7634-15-7
- Arana-Rivera, J. S., & Gutiérrez-Quintero, S. (2022). Analysis of Wildlife Roadkill in a Road Circuit. Case study of a Colombian road in the Department of Huila: Neiva-Rivera-Campoalegre. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 26(1), 55-71. <https://doi.org/10.17151/bccm.2022.26.1.4>
- Arévalo, J. E., Honda, W., Arce-Arias, A., & Häger, A. (2017). Spatiotemporal variation of roadkills show mass mortality events for amphibians in a highly tracked road adjacent to a national park, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 65(4), 1261-1276. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i4.27903>
- Brehme, C. S., Tracey, J. A., Ewing, B. A., Hobbs, M. T., Launer, A. E., Matsuda, T. A., & Fisher, R. N. (2021). Responses of migratory amphibians to barrier fencing inform the spacing of road underpasses: A case study with California tiger salamanders (*Ambystoma californiense*) in Stanford, CA, USA. *Global Ecology and Conservation*, 31, 14p. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01857>

- Briceño-Mendez, M. A., Montiel, S., Contreras-Perera, Y., & Sánchez-Zavalegui, R. (2025). Vertebrados silvestres atropellados en carreteras del sureste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 12(1). <https://doi.org/10.19136/era.a12n1.4200>
- Canales-Delgadillo, J., Pérez-Ceballos, R., Zaldívar-Jiménez, A., Gómez-Ponce, M., Vázquez-Pérez, N., Rosa, M. D. L., & 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, 12p. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3189>
- Carvalho-Roel, C. F., Iannini-Custódio, A. E., & Marçal Júnior, O. (2019). Do roadkill aggregations of wild and domestic mammals overlap?. *Revista de biología tropical*, 67(1), 47-60. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i1.33011>
- Castillo-Flores, A. A., & Calvo-Irabién, L. M. (2003). Animal dispersal of two secondary-vegetation herbs into the evergreen rain forest of south-eastern Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 19(3), 271-278. <https://doi.org/10.1017/S0266467403003304>
- Ceballos, G. & Oliva, G. (2005). Los mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Fondo de Cultura Económica. https://books.google.com.mx/books/about/Los_mam%C3%ADferos_silvestres_de_M%C3%A9xico.html?id=MmVhAAAAAAAJ&redir_esc=y
- Cervero, R. (2009). Transport infrastructure and global competitiveness: Balancing mobility and livability. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 626(1), 210-225. <https://doi.org/10.1177/0002716209344171>
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B. & Gunson, K. E. (2002). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109(1), 15-26. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00127-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00127-1)
- Coelho, I. P., Kindel, A., & Coelho, A. V. P. (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, A. V. P., Coelho, I. P., Teixeira, F. T., & Kindel, A. (2014). Siriema: road mortality software. User's Manual V. 2.0. NERF, UFRGS, Porto Alegre, Brazil. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19953.38242>
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography*, 15(5), 396-406. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>
- Colino-Rabanal, V. J., & Lizana, M. (2012). Herpetofauna and roads: a review. *Basic and Applied Herpetology*, 26, 5-31. <https://ojs.herpetologica.org/index.php/bah/article/view/12>
- Delgado-Trejo, C., Herrera-Robledo, R., Martínez-Hernández, N., Bedolla-Ochoa, C., Hart, C. E., 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>
- Díaz-García, J. M. (2024). Nuevos registros por atropellamiento vehicular para la herpetofauna del municipio de rafael delgado, Veracruz. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 7(2).

<https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2024.2.978>

Ferregueti, A. C., Graciano, J. M., Luppi, A. P., Pereira-Ribeiro, J., Rocha, C. F. D., & Bergallo, H. G. (2020). Road kill of medium to large mammals along a Brazilian road (BR-262) in Southeastern Brazil: spatial distribution and seasonal variation. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 55(3), 216-225. <https://doi.org/10.1080/01650521.2020.1719006>

Filius, J., van der Hoek, Y., Jarrín-V, P., & van Hooft, P. (2020). Wildlife roadkill patterns in a fragmented landscape of the Western Amazon. *Ecology and Evolution*, 10(13), 6623-6635. <https://doi.org/10.1002/ece3.6394>

García-Sánchez, S., Juárez-Agis, A., Alvarez-Alvarez, E. A., Salome, B. O., Torres, J. Z., González, M. R. & Osorio-Rodríguez, A. N. (2023). Wild vertebrates' roadkill across human settlements of the Mexican Southern Pacific. *Revista de Biología Tropical*, 71(1), e53600. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.53600>

González-Gallina, A., & Benítez-Badillo, G. (2013). Road ecology studies for Mexico: A review. *Oecologia australis*, 17(1), 175-190. <https://www.researchgate.net/publication/263964628>

González-Gallina, A., Benítez-Badillo, G., Rojas-Soto, O. R., & Hidalgo-Mihart, M. G. (2013). The small, the forgotten and the dead: Highway impact on vertebrates and its implications for mitigation strategies. *Biodiversity and Conservation*, 22(2), 325-342. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0396-x>

González-Gallina, A., Benítez-Badillo, G., Hidalgo-Mihart, M. G., Equihua, M., & Rojas-Soto, O. R. (2016). Roadkills as a complementary information source for biological surveys using rodents as a model. *Journal of Mammalogy*, 97(1), 145-154. <https://doi.org/10.1093/jmammal/qyv165>

Gonzalez-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>

Grilo, C., Borda-de-Água, L., Beja, P., Goolsby, E., Soanes, K., le Roux, A., Koroleva, E., Ferreira, F. Z., Gagné, S. A., Wang, Y., & González-Suárez, M. (2021). Conservation threats from roadkill in the global road network. *Global Ecology and Biogeography*, 30(11), 2200-2210. <https://doi.org/10.1111/geb.13375>

Helldin, J. O., & Petrovan, S. O. (2019). Effectiveness of small road tunnels and fences in reducing amphibian roadkill and barrier effects at retrofitted roads in Sweden. *PeerJ*, 7, e7518. <https://doi.org/10.7717/peerj.7518>

Hetman, M., Kubicka, A. M., Sparks, T. H., & Tryjanowski, P. (2019). Road kills of non-human primates: a global view using a different type of data. *Mammal Review*, 49(3), 276-283. <https://doi.org/10.1111/mam.12158>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). Aspectos geográficos de Nayarit: mapa de suelos dominantes, vegetación y uso del suelo (Escala 1:250 000, Serie VI). INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estr/uc/889463913016.pdf

Kolb, M., Cruz-Cano, R., & Saldaña-Vázquez, R. A. (2025). Atropellamientos de vertebrados terrestres en carreteras: los vacíos cuantitativos para el neotrópico. *Acta zoológica mexicana (N.S.)*, 41(1), 1–35. <https://doi.org/10.21829/azm.2025.4112705>

Langen, T. A., Ogden, K. M., & Schwarting, L. L. (2009). Predicting hot spots of herpetofauna road mortality along highway networks. *The Journal of Wildlife Management*, 73(1), 104-114. <https://doi.org/10.2193/2008-017>

- Laurance, W. F., Clements, G. R., Sloan, S., O'connell, C. S., Mueller, N. D., Goosem, M., Venter, O., Edwards, D. P., Phalan, B., Balmford, A., Van Der Ree, & Arrea, I. B. (2014). A global strategy for road building. *Nature*, 513(7517), 229-232. <https://doi.org/10.1038/nature13717>
- Loc-Barragán, J. A., Molina, D., & Woolrich-Piña, G. A. (2017). Diversidad de aves, anfibios, reptiles y mamíferos en Nayarit: una revisión. *Revista Bio Ciencias 4: (Suppl) Memorias del Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación, Nayarit 2017*. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.04.05suppl002>
- Mayer, M., Nielsen, J. C., Elmeros, M., & Sunde, P. (2021). Understanding spatio-temporal patterns of deer-vehicle collisions to improve roadkill mitigation. *Journal of environmental management*, 295, 113148. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113148>
- Medrano-Vizcaíno, P., Grilo, C., Silva Pinto, F. A., Carvalho, W. D., Melinski, R. D., Schultz, E. D., & González-Suárez, M. (2022). Roadkill patterns in Latin American birds and mammals. *Global Ecology and Biogeography*, 31(9), 1756-1783. <https://doi.org/10.1111/geb.13557>
- Miranda, J. E. S., Umetsu, R. K., Melo, F. R., Melo, F. C. S. A., Pereira, K. F., & Oliveira, S. R. (2017). Roadkill in the Brazilian cerrado savanna: Comparing five highways in southwestern Goiás. *Oecologia Australis*, 21(3). <https://doi.org/10.4257/oeco.2017.2103.10>
- Morelli, F., Benedetti, Y., Szkudlarek, M., Abou Zeid, F., Delgado, J. D., & Kaczmarek, M. (2023). Potential hotspots of amphibian roadkill risk in Spain. *Journal of Environmental Management*, 342, 118346. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118346>
- Monge-Nájera, J. (2018). Road kills in tropical ecosystems: a review with recommendations for mitigation and for new research. *Revista de biología tropical*, 66(2), 722-738. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33404>
- Myska, P. (2013). *Viva Natura: Guía de campo de anfibios, reptiles, aves y mamíferos de México Occidental*. Ed. Viva Natura. ISBN 978-607-00-7349-6.
- Nahuat-Cervera, P., González-Gallina, A., Cedeño-Vázquez, J., & Avilés-Novelo, J. (2021). Atropellamiento de vertebrados en la carretera Kinchil - Celestún, Yucatán. In Benítez, J. A., & Escalona-Segura, G. Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas naturales protegidas: estudios de caso para el sureste de México. (pp. 379-392). Ed. El Colegio de la Frontera Sur. https://www.researchgate.net/publication/351884462_Atropellamiento_de_vertebrados_en_la_carretera_Kinchil-Celestun_Yucatan
- Pacheco, F. C. J., Luna, R. R., Valdez, L. J., Saenz, J., Gordillo, C. E. J., Moguel, O. E., Gama, C. L. M., Mata, Z. E. E., Ruiz, R. L., & Santiago, P. V. (2021). Puntos de alta siniestralidad de vertebrados en la carretera costera de Tabasco. In Benítez, J. A., & Escalona-Segura, G. Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas naturales protegidas: estudios de caso para el sureste de México. (pp. 3-20). Ed. El Colegio de la Frontera Sur. https://www.researchgate.net/publication/360375219_Puntos_de_alta_siniestralidad_de_vertebrados_en_la_carretera_costera_de_Tabasco
- Pinto, F. A., Clevenger, A. P., & Grilo, C. (2020). Effects of roads on terrestrial vertebrate species in Latin America. *Environmental Impact Assessment Review*, 81, 106337. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106337>
- Pinto, F. A. S., Cirino, D. W., Cerqueira, R. C., Rosa, C., & Freitas, S. R. (2022). How many mammals are killed on brazilian roads? Assessing impacts and conservation implications. *Diversity*, 14(10), 835.

<https://doi.org/10.3390/d14100835>

Pinto, T., Santos, S. M., Mira, A., & Sillero, N. (2023). Importance of water availability for amphibian roadkill in a mediterranean landscape. *Biodiversity and Conservation*, 32(7), 2513-2537. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02616-9>

QGIS. (2020). QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <https://www.qgis.org/>

Ríos-Solís, J. A., Lavariega, M. C., Flores-Martínez, J. J., Sánchez-Cordero, V., & Pech-Canché, J. M. (2025). Roadkill on medium-sized mammals in a tropical region in southern Mexico. *Journal for Nature Conservation*, 88, 127034. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2025.127034>

Rubio-Rocha, Y., Gaxiola-Camacho, S., Morales-García, M., Artigas-Gutiérrez, B., Sánchez-Ríos, A., Carvajal-Sauceda, F., & 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

Santos, R., Shimabukuro, A., Taili, I., Muriel, R., Lupinetti-Cunha, A., Freitas, S. R., & Calabuig, C. (2023). Mammalian Roadkill in a Semi-Arid Region of Brazil: Species, Landscape Patterns, Seasonality, and Hotspots. *Diversity*, 15(6), 780. <https://doi.org/10.3390/d15060780>

Schwartz, A. L., Shilling, F. M., & Perkins, S. E. (2020). The value of monitoring wildlife roadkill. *European journal of wildlife research*, 66(1), 18. <https://doi.org/10.1007/s10344-019-1357-4>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2024). *Jurisdicción de la red carretera federal pavimentada por entidad federativa*. Dirección General de Conservación de Carreteras. <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-conservacion-de-carreteras/jurisdiccion/>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059SEMARNAT-2010. Protección ambiental, especies nativas de flora y fauna silvestres de México, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, y lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>

Silveira Miranda, J. E., de Melo, F. R., & Keichi Umetsu, R. (2020). Are roadkill hotspots in the Cerrado equal among groups of vertebrates?. *Environmental management*, 65(4), 565-573. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01263-y>

Srinivasu, B., & Rao, P. S. (2013). Infrastructure development and economic growth: Prospects and perspective. *Journal of business management and Social sciences research*, 2(1), 81-91. <https://es.slideshare.net/slideshow/infrastructure-development-and-economic-pdf/269859099>

Teixeira, F. Z., Coelho, A. V. P., Esperandio, I. B., & Kindel, A. (2013). Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, 157, 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.09.006>

Van Der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). The ecological effects of linear infrastructure and traffic: challenges and opportunities of rapid global growth. In Van Der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. *Handbook of road ecology*. (pp. 1-9). Ed. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch1>

Wells, K. D. (2007). *The Ecology and Behavior of Amphibians*. University of Chicago Press.



<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226893334.001.0001>

ARTÍCULO EN PRENSA