



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

**UNIDAD ACADÉMICA
FACULTAD DE BIOLOGÍA**

MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Mortalidad por colisión y abundancia de mamíferos de mediano y gran tamaño en dos carreteras del municipio de San Ignacio, Sinaloa, México.

Tesis que presenta:

Biol. Daniel Alejandro Alvarado Hidalgo

Para obtener el grado de Maestría en Ciencias Biológicas

Directores

**M. en C. Yamel Guadalupe Rubio Rocha
Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa**

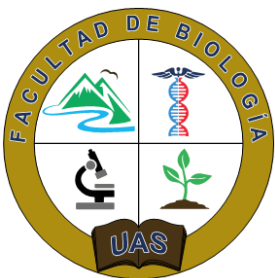
Asesores

**Dr. Juan de Dios Valdez Leal
Dra. Luz Isela Peinado Guevara**

Revisor

Dr. Ingmar Sosa Cornejo

Culiacán Rosales, Sinaloa, octubre de 2024





Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

UAS-Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial
Compartir Igual, 4.0 Internacional



DEDICATORIA

Para mis padres, Gabriela y Alejandro:

Todos mis logros son por su inmenso apoyo, para ustedes siempre.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológica con sede en la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa, a los distintos profesores que forman parte del programa de Maestría por las clases impartidas y los conocimientos vertidos para conmigo y este proyecto.

A mi directora de tesis M. en C. Yamel Rubio Rocha, gracias por la confianza, paciencia y por la oportunidad de ser parte de sus proyectos de conservación, por aventurarse en esta nueva línea de investigación de ecología de carreteras en Sinaloa y mostrarme que en el mundo de la investigación siempre tiene que existir el lado humano que sirva para mejorar tanto al ambiente como a la sociedad a la que pertenecemos. Gracias por ser mi mentora, guía y un gran ejemplo a seguir, por siempre tiene mi admiración y respeto.

A la Dra. Coral Pacheco quién tuvo la confianza, el tiempo y la paciencia para guiarme desde el principio de este proyecto, a pesar incluso de no conocernos en persona y, a través de las distintas sesiones vía online, me ofreció sus conocimientos y experiencia para darle bases sólidas al desarrollo de esta tesis, de una forma siempre amable y comprensiva.

Al Dr. Juan de Dios Valdez, a la Dra. Luz Isela Peinado y al Dr. Ingmar Sosa por aceptar ser parte de mi comité de tesis, enriqueciendo este trabajo con sus valiosas aportaciones, ya fuera en sesiones privadas o en los seminarios de avances, sin duda son parte medular de este documento.

Gracias a la Fundación Sinaloense para la Conservación de la Biodiversidad, por financiar parte de este trabajo, pero más que eso, a los miembros de tan valiosa asociación: al M. en C. Miguel Corrales por su asesoría en la realización de los mapas y en entenderle a los SIGs; a Brayan,

Chema, Oscar, Crucita, Herminio, Gera, Fabi, Fer, Judith, quienes fueron parte de la travesía en campo que represento este proyecto, las horas manejando, desvelados observando las carreteras en búsqueda de los desafortunados y tristes atropellos, pero siempre con la mejor disposición formando parte fundamental de este proyecto, gracias por crear momentos y experiencias que recordare toda la vida.

A la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Unidad Lerma, en específico al Dr. Cuauhtémoc Chávez por el apoyo de recursos mediante cámaras trampa y por los apreciables consejos para el diseño del monitoreo, así como a su equipo formado por Erika "Fitz" y Abigail, quienes han compartido sus experiencias en campo y me han dado un gran soporte emocional.

A mi familia: mis padres por ser mis más grandes ejemplos de superación, perseverancia y darme las bases en mi formación tanto académica como personal, son mi soporte y siempre han sido mi mayor apoyo, este proyecto es para ustedes; a mi hermana Pau por ser mi compañera de vida, la doctora de la casa y a nuestro modo saber que nos tenemos siempre uno al otro; a mi hermano Eymar, a Fanny y a uno de mis motivaciones para seguirle echando ganas, María Fernandita; los tres han acompañado este proceso y en ustedes veo un gran ejemplo de familia, valores y cariño, gracias por compartirlo conmigo.

A los estudiantes de la 5ta. Generación de la Maestría en Ciencias Biológicas, por compartir durante dos años las clases, trabajos en equipo, exámenes y seminarios, así como salidas, convivencias y grandes experiencias, convirtiendo el compañerismo en una amistad que valorare por siempre, Edgar, Mayra, Reyes, Fernanda, Serbia, Kenia, Ángel, Nereyda mis estimados colegas.

ABREVIATURAS

1. ANCJ – Alianza Nacional para la Conservación del Jaguar.
2. ANP – Área Natural Protegida.
3. APFF – Área de Protección de Flora y Fauna.
4. ASP – Área Sin Protección.
5. CB – Corredor Biológico.
6. CIT - Center for Investment and Trade Sinaloa (por sus siglas en inglés).
7. CONAGUA – Comisión Nacional del Agua.
8. CONANP – Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
9. EUA – Estados Unidos de América.
10. FUSCBIO – Fundación Sinaloense para la Conservación de la Biodiversidad.
11. GPS – Sistema de Posicionamiento Global (por sus siglas en inglés).
12. h – Horas.
13. Ha – Hectárea
14. IAR – Índice de Abundancia Relativa.
15. IKA – Índice Kilométrico de Abundancia.
16. IMT – Instituto Mexicano del Transporte.
17. INEGI – Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
18. IUCN – Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (por sus siglas en inglés).
19. Kg – Kilogramo.
20. Km – Kilómetro.
21. Msnm – Metros sobre el nivel del mar.

22. NOM-059-SEM-2010 – Norma Oficial Mexicana 059 de SEMARNAT.
23. SCT – Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
24. SEMARNAT – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
25. SIG – Sistema de Información Geográfica.
26. sp. – Especie.
27. TDPA – Transito Diario Promedio Anual.
28. UAS – Universidad Autónoma de Sinaloa.

ÍNDICE

RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	5
2.1 ESTUDIOS DE IMPACTOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL SOBRE VERTEBRADOS CON ÉNFASIS MAMÍFEROS A NIVEL MUNDIAL.....	5
2.2 ESTUDIOS DE IMPACTOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL SOBRE MAMÍFEROS EN MÉXICO...7	
2.3 ESTUDIOS DE ATROPELLAMIENTOS DE MAMÍFEROS EN SINALOA	7
2.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS ATROPELLAMIENTOS EN MAMÍFEROS	8
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
IV. JUSTIFICACIÓN	13
V. HIPÓTESIS	15
VI. OBJETIVOS.....	16
6.1 OBJETIVO GENERAL	16
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	17
7.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	17
7.1.1 <i>Infraestructura vial</i>	18
7.1.2 <i>Clima</i>	20

7.1.3	<i>Vegetación y uso de suelo</i>	21
7.1.4	<i>Fauna</i>	22
7.2	METODOLOGÍA	23
7.2.1	<i>Registro de mamíferos atropellados</i>	23
7.2.2	<i>Registro de mamíferos adyacentes a las carreteras</i>	24
7.3	MUESTRA	26
7.3.1	<i>Criterios de Inclusión</i>	27
7.3.2	<i>Criterios de Exclusión</i>	27
7.3.3	<i>Criterios de Eliminación</i>	27
7.4	ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	28
7.4.1	<i>Caracterización del paisaje</i>	28
7.4.2	<i>Caracterización de la carretera</i>	28
7.4.3	<i>Índice kilométrico de abundancia de mamíferos atropellados</i>	29
7.4.4	<i>Riqueza e índice de abundancia relativa de los mamíferos adyacentes a las carreteras</i>	29
7.4.5	<i>Análisis estadísticos</i>	30
7.5	LUGAR DE REALIZACIÓN	31
7.6	FINANCIAMIENTO	31
VIII.	RESULTADOS	32
8.1	COMPOSICIÓN Y RIQUEZA DE MAMÍFEROS ATROPELLADOS	32
8.2	ÍNDICE KILOMÉTRICO DE ABUNDANCIA (IKA) DE LOS MAMÍFEROS ATROPELLADOS	36
8.3	CARACTERIZACIÓN DEL PAISAJE.....	36
8.4	PARÁMETROS DE LA CARRETERA.....	39

8.4.1	<i>Flujo vehicular</i>	39
8.4.2	<i>Sinuosidad</i>	39
8.5	COMPOSICIÓN Y RIQUEZA DE MAMÍFEROS ADYACENTES A LAS CARRETERAS	40
8.6	ÍNDICE DE ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS MAMÍFEROS REGISTRADOS ADYACENTES A LAS CARRETERAS	44
8.7	CORRELACIÓN ENTRE MAMÍFEROS ADYACENTES A LA CARRETERA Y ATROPELLADOS	49
IX.	DISCUSIÓN	52
X.	CONCLUSIONES	61
XI.	PERSPECTIVAS	63
XII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
XIII.	ANEXOS	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tramos muestreados en las dos vías carreteras de San Ignacio, Sinaloa.....	18
Cuadro 2. Composición de mamíferos medianos y grandes atropellados en dos vías carreteras de San Ignacio, Sinaloa durante las temporadas de lluvias y secas 2023-2024.	33
Cuadro 3. Composición de mamíferos medianos y grandes registrados mediante fototrampeo al margen de las vías carreteras en San Ignacio, Sinaloa.	42
Cuadro 4. Índice de abundancia relativa (IAR) de los mamíferos de mediano y gran tamaño registrados al margen de las carreteras mediante fototrampeo en el municipio de San Ignacio, Sinaloa.	45
Cuadro 5. Riqueza y abundancia de mamíferos adyacentes a las carreteras y atropellados por estación de fototrampeo durante la temporada de lluvias 2023 y secas 2024 en San Ignacio Sinaloa.	50
Cuadro 6. Abundancia de atropellamientos e IAR por especie registradas en las carreteras de San Ignacio, Sinaloa en la temporada de lluvias 2023 y secas 2024.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.....	17
Figura 2. Mapa de los tramos #1 (ANP), #2 (ASP) y #3 (CB) de las carreteras Fed-Mex 15 y SIN 06 del municipio de San Ignacio, Sinaloa.	20
Figura 3. Localización de estaciones de fototrampeo y sus áreas buffer en el área de estudio.	26
Figura 4. Mapa de atropellamientos por temporada (lluvias 2023 y secas 2024) y tramos APS (Área Sin Protección), ANP (Área Natural Protegida) y CB (Corredor Biológico) en las dos carreteras monitoreadas del municipio de San Ignacio, Sinaloa.	34
Figura 5. Registros de especies y abundancia de mamíferos de mediano y gran tamaño atropellados por tramo en el municipio de San Ignacio, Sinaloa durante la temporada de lluvias (2023) y secas (2024).	35
Figura 6. Mapa de caracterización de vegetación dominante por parcela en las dos carreteras monitoreadas en el municipio de San Ignacio, Sinaloa.	38
Figura 7. Determinación de sinuosidad en los sitios con atropellamiento. A) Tramo con dominancia de recta y B) Tramo con dominancia de curva.	40
Figura 8. Mamíferos registrados durante la temporada de lluvias 2023 y secas 2024 en los márgenes de las carreteras de San Ignacio, Sinaloa. A) Coyote (<i>C. latrans</i>), B) Armadillo nueve bandas (<i>D. novemcinctus</i>), C) Jaguar (<i>P. onca</i>), D) Mapache (<i>P. lotor</i>), E) Lince (<i>L. rufus</i>) y F) Venado cola blanca (<i>O. virginianus</i>).	43
Figura 9. Índice de abundancia relativa de los mamíferos de mediano y gran tamaño monitoreados al margen de las carreteras del municipio de San Ignacio, Sinaloa.	46

Figura 10. Índice de Abundancia Relativa de los mamíferos de mediano y gran tamaño registrados mediante fototrampeo por temporada al margen de las carreteras del municipio de San Ignacio, Sinaloa..... 48

RESUMEN

La infraestructura vial genera efectos negativos a los ecosistemas, siendo el atropellamiento de la fauna silvestre el impacto más directo y visible estudiado por la ecología de carreteras, produciendo anualmente millones de muertes a vertebrados alrededor del mundo. Por sus características biológicas, el grupo de los mamíferos es uno de los más susceptibles a esta problemática. Sinaloa es uno de los sitios con mayor longitud de red vial de México y con una de las mayores riquezas en vertebrados, pero los trabajos locales sobre las colisiones vehículo-fauna son escasos. El presente estudio analizó la mortalidad por atropellamiento en los mamíferos de mediano y gran tamaño en dos carreteras del municipio de San Ignacio, Sinaloa, México; comparando las tasas de atropellamiento en las temporadas de sequía con respecto a la de lluvia; y el índice de mamíferos atropellados con respecto a la abundancia relativa de los mamíferos que se distribuyen al margen de las carreteras Federal México 15 y estatal SIN 06 en el municipio de San Ignacio, Sinaloa. Se realizaron recorridos en automóvil durante el periodo de julio de 2023 a mayo de 2024 para registrar los mamíferos atropellados y se utilizó el método de fototrampeo para obtener el índice de abundancia relativa. Se evaluaron los datos obtenidos mediante análisis estadísticos en el software PAST 3.0. Se contabilizaron 34 individuos atropellados de diez especies distintas, la más impactada *Didelphis virginiana*, con la temporada de lluvias con el mayor número de registros en contraste con la temporada de seca. Por otro lado, en los sitios con vegetación de agricultura y dentro de un Área Natural Protegida los atropellamientos fueron más frecuentes. Solamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los atropellamientos por tipo de sinuosidad. No se encontró una correlación significativa entre los mamíferos atropellados y aquellos registrados al margen de las carreteras.

Palabras clave: Atropellamiento, ecología vial, fototrampeo, vertebrados.

ABSTRACT

Road infrastructure generates negative effects on ecosystems, with the collision of wildlife being the most direct and visible impact studied by road ecology, producing millions of deaths annually to vertebrates around the world. Due to their biological characteristics, mammals are one of the most susceptible to this problem. Sinaloa is one of the places with the longest road network in Mexico and one of the richest vertebrates, but local studies on vehicle-wildlife collisions are scarce. Therefore, in the present study, mortality due to being run over in medium and large-sized mammals on two roads in the municipality of San Ignacio, Sinaloa, Mexico was analyzed; the rates of being run over in the dry season were compared with those in the rainy season; and the rate of mammals run over with the relative abundance of mammals that are distributed along the Federal Mexico 15 and State SIN 06 highways in the study area. Car tours were conducted during the period from July 2023 to May 2024 to record the mammals that had been run over, and the camera-trapping method was used to obtain the relative abundance index. The data obtained were evaluated through statistical analysis in the PAST 3.0 software. 34 individuals of ten different species were counted that had been run over, the most impacted being *Didelphis virginiana* (n=9), with the rainy season having the highest number of records (n=22). On the other hand, in sites with irrigated agriculture vegetation, on straight stretches and within a Protected Natural Area, the number of run overs was more frequent. No significant relationship was found between the mammals that had been run over and those recorded on the side of the road.

Keywords: Camera trapping, ecology, road, wildlife-vehicle collision.

I. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial se considera un elemento esencial en el desarrollo de una comunidad por el impulso que le da en sus actividades económicas, en sus procesos productivos y en el acceso a los servicios que buscan satisfacer sus necesidades básicas humanas y facilitar la integración entre territorios (Chuquiguanga-Auquilla, 2024). En ese aspecto México cuenta con una Red Nacional de Caminos de aproximadamente 836,603 km de longitud, de las cuales 178,217 km corresponden a carreteras pavimentadas, 130,642 km de vialidades urbanas e infraestructura de enlace y 527,744 km de caminos no pavimentados (IMT, 2023).

Es importante reconocer que todas las actividades humanas y obras de infraestructura, como las carreteras, caminos y vialidades, tienen impactos ambientales negativos. Los efectos ecológicos más significativos que producen las carreteras son: fragmentación de ecosistemas, modificación del paisaje y hábitats; dispersión de especies exóticas, disminución de las poblaciones de especies de flora y fauna nativa, alteración del ciclo hidrológico, cambios microclimáticos, producción de material particulado y de ruido, y contaminación de agua y suelo (Forman y Alexander, 1998; Arroyave et al., 2006; Coffin, 2007; Chuquiguanga-Auquilla, 2024).

Debido a esta creciente y evidente problemática, Forman (1998) acuñó el término de “Ecología de carreteras o de ruta” como una rama enfocada en explorar y abordar la relación entre el ambiente natural y el sistema de carreteras, desde un punto de vista ecológico, genético, geográfico, estadístico, así como de la ingeniería, arquitectura, la planificación urbana y políticas de transporte (Forman, 1998; Forman y Alexander, 1998; Coffin, 2007).

Los efectos ejercidos por las infraestructuras viales sobre la fauna se han categorizado de varias maneras. Una de ellas es de acuerdo con las características intrínsecas de los organismos, por ejemplo aquellas especies que son atraídas por las carreteras, como en el caso de las carroñeras, sin embargo que no pueden evitar el tráfico, lo que conduce a su atropellamiento; por el contrario están los animales que evitan los caminos antropogénicos pero por la necesidad de obtener recursos tienen que cruzarlos, sufriendo por impactos con vehículos y por último las especies con una gran área de distribución, bajas densidades y bajas tasas de reproducción, para las que las vías son una barrera física (Fahrig y Rytwinski, 2009). Por otro lado, diversos autores han clasificado los efectos de acuerdo con el tipo de impacto que tienen de manera directa o indirecta, entre las que destacan la pérdida, fragmentación y degradación del hábitat, las colisiones con los vehículos, cambio en los comportamientos y los patrones de migración y dispersión, así como un efecto atrayente para algunas especies (van der Ree et al., 2011; Teixeira et al., 2020; Silva et al., 2021).

Las vías carreteras destruyen las zonas de vegetación del paisaje donde son construidas y alteran la conectividad de este, creando una pérdida de hábitat y por tanto de recursos disponibles para la fauna, así como una presión poblacional que va desde la separación entre organismos que ven disminuida su capacidad de dispersarse entre los fragmentos del paisaje conservado, así como por atropellamientos, lo cual representa en algunos casos un gran porcentaje en la mortalidad total de las poblaciones (Taylor y Goldingay, 2010; Moore et al., 2023). Estudios recientes en diferentes taxones confirman efectos negativos a nivel genético en pequeñas poblaciones separadas por barreras físicas, como las obras de infraestructura vial. Sin embargo, los impactos a largo plazo de la reducción de la diversidad genética en la aptitud de las poblaciones afectadas

por las carreteras aún no están del todo esclarecidos (Balkenhol y Waits, 2009; Holderegger y Di Giulio, 2010; Ascensão et al., 2016; Moore et al., 2023).

De igual forma, se han descrito impactos relacionados a la contaminación lumínica, auditiva y por residuos de diversa naturaleza (Benítez et al., 2021). Muchas carreteras utilizan fuentes artificiales de luz durante la noche, lo cual muestra cierto efecto de atracción a los murciélagos y las aves nocturnas que utilizan la luz como guía para su orientación y fuentes de alimento. En tanto, el ruido generado por los vehículos imposibilita a ciertos taxones, como los invertebrados, los anuros, las aves o los murciélagos, a comunicarse de manera apropiada e interfiere en procesos vitales como la interacción social, la detección de presas o depredadores y a nivel individual puede generar lesiones en los órganos auditivos que en el peor de los casos puede generar la muerte del animal (Gaston et al., 2012; Dean et al., 2019; Benítez et al., 2021).

Los márgenes de las infraestructuras viales presentan otro aspecto a considerar, puesto que crean el llamado “efecto de borde” que se describe como los cambios microambientales que se presentan en el suelo y la atmosfera en la zona perimetral del fragmento de un macizo vegetal que afectan la composición y estructura de la biota presente en dichos márgenes (Monroy Ata y Peña, 2005). Como resultado de estos cambios, muchas especies se ven afectadas por la diferencia de microclima y sustrato entre la superficie del camino y los bordes vecinos. Por ejemplo, las altas temperaturas, los altos niveles de luz y la falta de agua en los caminos pavimentados parecen repeler a invertebrados (Benítez et al., 2021). Por el contrario, algunos organismos encuentran atractivo el hábitat de los bordes de las carreteras, al ser una fuente de alimento para carroñeros como las aves de la familia Corvidae o en otros casos los bordes de las carreteras son los únicos remanentes de la vegetación original, por lo cual proveen de hábitat a invertebrados, reptiles y pequeños mamíferos (Dean and Milton, 2003; Coffin, 2007).

El impacto más tangible de las carreteras sobre la fauna silvestre es la mortalidad o las lesiones por atropellamiento, debido a que de forma frecuente se observan en las carreteras los cuerpos de animales muertos. El grado de afectación depende principalmente del tamaño de la población, de la capacidad reproductiva, el grado de movilidad y el tamaño corporal de la especie (Taylor y Goldingay, 2004; Rytwinski y Fahrig, 2012). Los mamíferos grandes y medianos son especialmente vulnerables por su baja densidad y tasa de natalidad, además de sus vastas áreas de distribución (Spellerberg, 1998). De acuerdo con las investigaciones más recientes, la mortalidad por atropellamiento en mamíferos puede ejercer una presión importante sobre el tamaño de la población y/o las tasas de mortalidad, con efectos directos en los organismos cercanos a dichas vías, así como de manera indirecta en las poblaciones que, aunque alejadas de las vías, ven reducida la posibilidad de realizar una correcta dispersión. Sin embargo, para conocer los efectos a largo plazo en las poblaciones de mamíferos por los atropellamientos se requieren de estudios a largo plazo y que incluyan parámetros demográficos como tasas de mortalidad por sexo y etapa de vida, abundancia y densidad, así como análisis genéticos para conocer la viabilidad de las poblaciones que habitan a un costado de las carreteras (Moore et al., 2023).

El objetivo de esta investigación es analizar la mortalidad y la abundancia de mamíferos de mediano y gran tamaño en dos vías del municipio de San Ignacio, Sinaloa, México.

II. ANTECEDENTES

2.1 Estudios de impactos de la infraestructura vial sobre vertebrados con énfasis mamíferos a nivel mundial

Las carreteras son la segunda mayor causa de muerte por obra del ser humano para los vertebrados terrestres, solo después de la caza legal, con un 6.25% del total de mortalidad en animales adultos en todo el mundo (Dean et al., 2019; Hill et al., 2019). Anualmente existen registros de la mortalidad por atropellamientos en diferentes regiones del mundo y en distintos grupos taxonómicos afectados, por ejemplo: en Estados Unidos las estadísticas reportan que alrededor de 365 millones de vertebrados mueren debido a impactos vehiculares (Lawson, 2018), en los Países Bajos se reportan 159,000 mamíferos y 653,000 aves atropelladas al año, en Bulgaria siete millones de aves al año, en Australia se reportan cinco millones de ranas y reptiles (van der Zande, 1980; Bennett, 1991; Forman, 1995).

En artículos de investigación referentes a impacto de infraestructura carretera en las zonas tropicales y subtropicales del mundo, exceptuando las de Norteamérica y Europa, de 1999 al 2020 se registraron más de 130 mil muertes por colisiones de vehículos con fauna, siendo el grupo de los mamíferos el más perjudicado ($n = 47,260$), seguido de los reptiles ($n = 35,695$), los anfibios ($n = 29,860$) y las aves ($n = 25,770$) (Silva et al., 2021). En este sentido Grilo et al. (2022) concluyeron que los atropellos constituyen un riesgo potencial para 124 especies de mamíferos terrestres, es decir, el 2.7% a nivel mundial, con énfasis a 83 especies amenazadas o casi amenazadas de acuerdo con leyes internacionales.

En un estudio en las selvas del sudeste asiático Clements y colaboradores (2014) reportaron que 16 carreteras existentes y ocho en planificación amenazan potencialmente al 21% de 117

mamíferos en peligro de extinción. Grilo y colaboradores (2020) reportaron que se estima la muerte por atropellamiento de 29 millones de mamíferos en las carreteras de Europa cada año, afectando a al menos 75 especies de este taxón, 10 de las cuales se catalogan como Amenazadas o Casi amenazada por la Lista Roja de la IUCN. Por otro lado, Medrano-Vizcaíno et al. (2022) señalan que las colisiones con vehículos producirían la muerte de más de cinco millones de mamíferos cada año en carreteras primarias y secundarias de Latinoamérica, destacando que las especies con una masa corporal adulta entre 2 y 35 kg, mayor densidad de población, dietas carroñeras, ámbitos hogareños reducidos (<10 km) y hábitos generalistas tienen tasas de mortalidad más altas.

En el grupo de los mamíferos se tienen documentadas varias investigaciones relacionadas al impacto por atropellamientos, por ejemplo, Seiler (2001) menciona que existe una tasa de atropellamiento de 1.5 millones al año en Dinamarca. Taylor y Goldingay (2004) realizaron un muestreo en 48.6 km de la autopista del Pacífico entre Billinudgel y Ballina, Australia, durante ocho semanas, encontrando un total de 356 registros de atropellamientos, con especies como las zarigüeyas (género *Didelphis*), roedores (orden Rodentia), zorros (Tribu Vulpini), murciélagos (orden Chiroptera), koalas (*Phascolarctos cinereus*) y conejos (familia Leporidae) como las más abundantemente atropelladas.

Existe evidencia que pone de manifiesto la posibilidad de extinción en las próximas cinco décadas de poblaciones de mamíferos terrestres a causa de las altas tasas de atropellos en las áreas de estudio, como el lobo de crin (*Chrysocyon brachyurus*) y el gato moteado (*Leopardus tigrinus*) en Brasil; la hiena parda (*Hyaena brunnea*) en África meridional) y el leopardo (*Panthera pardus*) en India septentrional (Grilo et al., 2021).

2.2 Estudios de impactos de la infraestructura vial sobre mamíferos en México

Para México existen reportes como el de Polaco y Guzmán (1993), quienes registraron 174 ejemplares de vertebrados atropellados en una carretera al sur de Nuevo León, la mayoría mamíferos. Por otro lado, Ruiz-Ramírez y colaboradores (2022) compararon los atropellamientos en mamíferos entre tres distintos tipos de vías en función de su jurisdicción al norte de Veracruz, registrando 49 organismos atropellados de cuatro especies de manera sistemática y tres especies más con datos obtenidos de monitoreos no sistematizados, siendo el género *Didelphis* sp. el más afectado.

2.3 Estudios de atropellamientos de mamíferos en Sinaloa

En Sinaloa se tienen en su mayoría registros esporádicos y casuales de colisiones sobre la fauna silvestre. De acuerdo a la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP), en el año 2016 acontecieron un par accidentes vehiculares que derivaron en la muerte de dos jaguares adultos y dos cachorros, en caminos circundantes al Área Natural de Flora y Fauna Meseta de Cacaxtla, localizada en el sur de Sinaloa (Medina, 2021). Por otro lado, González-Gallina e Hidalgo-Mihart (2018) realizaron una revisión histórica de manera sistemática en diversas fuentes de los atropellamientos de felinos en México y obtuvieron tres casos de ocelotes (*Leopardus pardalis*) muertos por esta causa en Sinaloa.

En un primer esfuerzo por registrar *in situ* los atropellamientos de mamíferos en las infraestructuras carreteras de la región, Rubio-Rocha et al. (2022) llevaron a cabo un monitoreo a conveniencia en nueve municipios del centro y sur del estado. Se registraron 45 colisiones correspondientes a 11 especies, entre las cuales el coatí (*Nasua narica*), el tlacuache (*Didelphis virginiana*) y el lince (*Lynx rufus*) tuvieron una mayor incidencia. También se encontraron especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como el ocelote y el jaguar, ambas

clasificadas como "Peligro de extinción", así como el tlalcoyote o tejón (*Taxidea taxus*), catalogado como "Amenazado". Tras estos hallazgos, Rubio-Rocha y colaboradores resaltaron la importancia de abordar la problemática de los impactos que ejercen las carreteras en la fauna de Sinaloa, mediante estrategias y estudios sistemáticos que permitan obtener información precisa y emitir medidas de mitigación.

2.4 Factores que influyen en los atropellamientos en mamíferos

Existen diversas variables que afectan el índice y la frecuencia de atropellamientos, principalmente los relacionados a las características de las carreteras, al paisaje a su alrededor, las condiciones climáticas y los rasgos propios de las especies (Arroyave et al., 2006). La temporalidad en la precipitación ha sido un factor que ha sido evaluado en este sentido (Brichieri-Colombi y Alexander, 2021), y en el que se han encontrado diferencias significativas en la mortalidad por atropellamiento en mamíferos en las distintas temporadas climáticas del año. Estas diferencias podrían estar relacionadas a las épocas reproductivas o la disponibilidad de alimento que influyen al desplazamiento de los mamíferos (Cáceres et al., 2012). En la mayoría de los casos es durante la época de sequía en la cual se ha observado un aumento en la cantidad de organismos colisionados (Bueno y Almeida, 2010; De la Ossa-Nadjar y De la Ossa, 2013; Sánchez-Acuña y Benítez, 2021).

La cobertura vegetal en el paisaje adyacente a las carreteras juega un rol importante en la influencia de especies y el número de individuos atropellados (Seijas et al., 2013). En una reserva en Nueva Gales del Sur, Ramp y colaboradores (2006) encontraron mayor concentración de colisiones en los tramos con cobertura vegetal conservada. Caso similar a un estudio realizado en el Cerrado, Brasil, donde se registró una mayor tasa de colisiones en mamíferos en los intervalos de las carreteras con vegetación nativa dominante, por encima de aquellos

fragmentos en donde la matriz de vegetación contigua a la carretera era de tipo pastizal o vegetación no nativa (da Silva et al., 2018). En este mismo estudio, los investigadores concluyeron que la presencia de las carreteras cerca de sitios bien conservados, como es el caso del bioma Cerrado en ese país, representó un factor más influyente que la temporalidad. En este sentido, cuando la carretera divide sitios como Áreas Naturales Protegidas, incrementa el riesgo de mortalidad en especies que son consideradas raras, amenazadas o en peligro de extinción (Seiler, 2001; Sánchez-Acuña y Benítez, 2021).

Las características de las infraestructuras viales como la sinuosidad, el tipo de carretera, el flujo vehicular y los señalamientos de tránsito pueden ser determinante en los accidentes con fauna (Clavenger et al., 2003). Investigaciones han reportado que las autopistas que presentan un mayor flujo vehicular y velocidad suelen tener mayor número de colisiones con fauna (Crooks 2002; de la Cruz, 2016; Obando, 2022). La sinuosidad, entendiéndose como la cantidad de tramos con curvas de la vía, ha sido estudiado y relacionado con la capacidad de los conductores para reaccionar frente a un obstáculo y la velocidad en la que transitan. En este sentido algunos autores consideran que los tramos rectos son más peligrosos en un encuentro entre el vehículo y la fauna (Barrientos y Bolonio, 2009; de la Cruz, 2016).

La vulnerabilidad de las especies frente a los accidentes de tráfico en carreteras aumenta debido a su biología y su estado de conservación (Taylor y Goldingay, 2004). Se ha descrito que aquellas especies que se sienten atraídas por las carreteras y poseen características generalistas, alta movilidad, baja densidad, alta demanda de recursos variados, baja tasa de reproducción y necesidades de áreas extensas son las más afectadas por este factor (Forman et al., 2003). Los mamíferos de talla mediana presentan estos parámetros, y entre los organismos con mayor tendencia a encontrarse arrollados en los caminos en América son las especies de las familias

Didelphidae (Taylor y Goldingay, 2004; Monroy y Peña, 2005; Ruiz-Ramírez et al., 2022) y
Procyonidae (Smith-Patten y Patten, 2008; Rubio-Rocha et al., 2022).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las infraestructuras viales representan un factor de impacto negativo en los ecosistemas, que incluyen la pérdida y fragmentación de su hábitat, el aislamiento de poblaciones, el cambio en los patrones de comportamiento y la mortalidad por atropellamiento (Forman, 1998; Coffin, 2007), siendo este último el efecto más reconocible y directo sobre la fauna silvestre (Arroyave et al., 2006), sobre todo a aquellos grupos que por sus características son más sensibles, tal es el caso de los mamíferos de mediano y gran tamaño.

De acuerdo con la ecología vial, la tasa de atropellamientos se ve influenciada por diversos factores, tales como las características de las carreteras, las variables intrínsecas de las poblaciones como el tamaño de su población, tasa de reclutamiento, capacidad de desplazamiento y la talla corporal de la especie (Taylor y Goldingay, 2004; Groot-Bruinderink y Hazebroek, 1996); además de factores relacionados al paisaje y a las condiciones ambientales del sitio donde cruza la carretera, como la estacionalidad o temporalidad de precipitación pluvial de la región (Benítez et al., 2021).

En ese sentido se han realizado investigaciones referentes a esta problemática y cómo se asocian estos factores en la tasa de atropellamiento, sobre todo en países de Europa, Estados Unidos y Australia. Sin embargo, en México, un país megadiverso el cual ocupa el tercer lugar en riqueza de mamíferos a nivel mundial, los esfuerzos son en investigaciones sobre este tema son incipientes y para Sinaloa existe un enorme vacío con respecto a los efectos ocasionados por las carreteras a la fauna de esta región.

Por todo lo anterior surgen las siguientes cuestiones: ¿Existe diferencia en la mortalidad por colisión en mamíferos con relación a las temporadas del año, tipo de paisaje, tipo de vía y

tamaño de los individuos en las carreteras del municipio de San Ignacio, Sinaloa, México? Y
¿Cómo se relaciona la abundancia de los mamíferos presentes en el paisaje adyacente de dichas
carreteras con la frecuencia en que son atropellados?

IV. JUSTIFICACIÓN

Mundialmente las carreteras son la mayor causa de muerte por obra del ser humano para los vertebrados terrestres, en conjunto con la cacería ilegal (Hill et al., 2019). La pérdida de poblaciones por dicha mortalidad causa un desequilibrio irreparable en los ecosistemas, poniendo en riesgo los servicios ambientales como la regulación del clima, de la calidad y cantidad del agua, aire y suelo, así como la obtención de recursos para la subsistencia tanto de la vida silvestre como humana (IPBES, 2019).

Las colisiones entre los vehículos y la fauna silvestre constituyen un problema creciente no sólo para la conservación de especies, sino también para la seguridad del tráfico y la economía tanto privada como pública (Harris y Gallagher, 1989). Por ejemplo, en Europa se reportan que al año las colisiones de vehículos con fauna causan un mínimo de 300 muertes humanas, 30,000 heridos y un daño material de más de mil millones de dólares (Groot-Bruinderink y Hazebroek, 1996). Solamente en Gran Bretaña se contabilizaron 550 heridos y 12 fatalidades humanas al año (Langbein et al., 2011). Para el caso de los EUA, se estiman unas 440 muertes humanas y más de 59,000 heridos cada año (Conover et al., 2019). En Lituania se estimaron 0.7 muertes y 13 heridos por cada mil accidentes vehiculares relacionados con fauna silvestre (Balčiauskas et al., 2024). Para México no hay cifras oficiales reportadas respecto a esta temática.

Para Sinaloa, que cuenta con una de las redes carreteras más grandes del país, ocupando la 7ª posición en ese rubro y además es una de las regiones con mayor riqueza de fauna de México (CIT, 2017; Rubio et al., 2010), se desconoce sobre todos los aspectos que implican la relación entre la infraestructura vial y la biodiversidad.

Por todo lo anterior resulta necesario obtener datos certeros y con rigor metodológico acerca de los atropellamientos de fauna silvestre ocurridos en carreteras de la zona sur del estado de Sinaloa, para proponer medidas que eviten, mitiguen o compensen los efectos negativos que impactan de manera directa su biodiversidad y a la población humana.

V. HIPÓTESIS

Existe una correlación entre la abundancia de mamíferos y la tasa de mortalidad por atropellamiento en dos carreteras del municipio de San Ignacio, Sinaloa durante un año.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Analizar la mortalidad por colisión y la abundancia de poblaciones de mamíferos de mediano y gran tamaño en dos carreteras del municipio de San Ignacio, Sinaloa, México.

6.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto del tipo de vegetación y las características de la carretera en la riqueza y abundancia de mamíferos colisionados.
- Comparar el nivel de protección del área (Área Natural Protegida, Corredor Biológico y Sin Protección) en la abundancia relativa de las especies de mamíferos presentes en el paisaje adyacente y de los colisionados.
- Correlacionar la abundancia de los mamíferos colisionados con los mamíferos registrados en el paisaje adyacente a las carreteras.

7.1.1 Infraestructura vial

En cuanto a la red carretera, el municipio de San Ignacio cuenta con un total de 551 km de longitud, lo cual representa el 3.27% de la infraestructura vial de todo Sinaloa y de los cuales 91 km son de tipo troncal federal o primaria, 73 km de carreteras estatales o secundarias y 387 km de caminos rurales (INEGI, 2020).

Los monitoreos se realizaron en dos vías del municipio de San Ignacio, la carretera Federal México 15, que se dividió en dos tramos de 20 km cada uno, y la carretera Estatal Sinaloa 06, con un tramo de 20 km, para recorrer un total de 60 km por cada día de muestreo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tramos muestreados en las dos vías carreteras de San Ignacio, Sinaloa.

Carretera	Núm. Tramo	Tramo	Longitud	Puntos de Inicio/Final del tramo	Coordenadas	
Federal México 15	1	Tramo en Área de Protección de Flora y Fauna Meseta de Cacaxtla (ANP)	20 km.	Inicio	23°47'0.49"N	106°36'18.65"O
				Final	23°37'12.10"N	106°34'21.46"O
	2	Tramo en Área sin Protección (ASP)	20 km.	Inicio	23°47'27.65"N	106°36'42.89"O
				Final	23°55'59.71"N	106°41'22.44"O
Estatal Sinaloa 06	3	Tramo en Corredor Biológico (CB)	20 km.	Inicio	23°47'25.84"N	106°36'41.28"O
				Final	23°51'28.58"N	106°27'55.52"O

A continuación, se describen los tramos a recorrer:

Carretera Federal Mex. 15:

- Tramo #1: 20 km adyacente al Área de Protección de Flora y Fauna Meseta de Cacaxtla (APFFM-Cacaxtla), desde el entronque de la comunidad de “Coyotitán” hasta la comunidad de “Los Chonchitos”;
- Tramo #2: 20 km de un tramo correspondiente a un área sin protección, desde la comunidad de “La Minita” hasta el entronque en la comunidad de “Coyotitán”

Carretera Estatal SIN 06:

- Tramo #3: 20 km desde la comunidad de Coyotitán hasta la comunidad de “El Carmen”. Esta vía atraviesa una porción del Corredor Biológico y Ecoturístico de Jaguar de Sinaloa, es área de influencia al APFFM-Cacaxtla y tiene registros de especies prioritarias como el jaguar y la guacamaya verde, además otras especies de flora y fauna regionales (Figura 2).

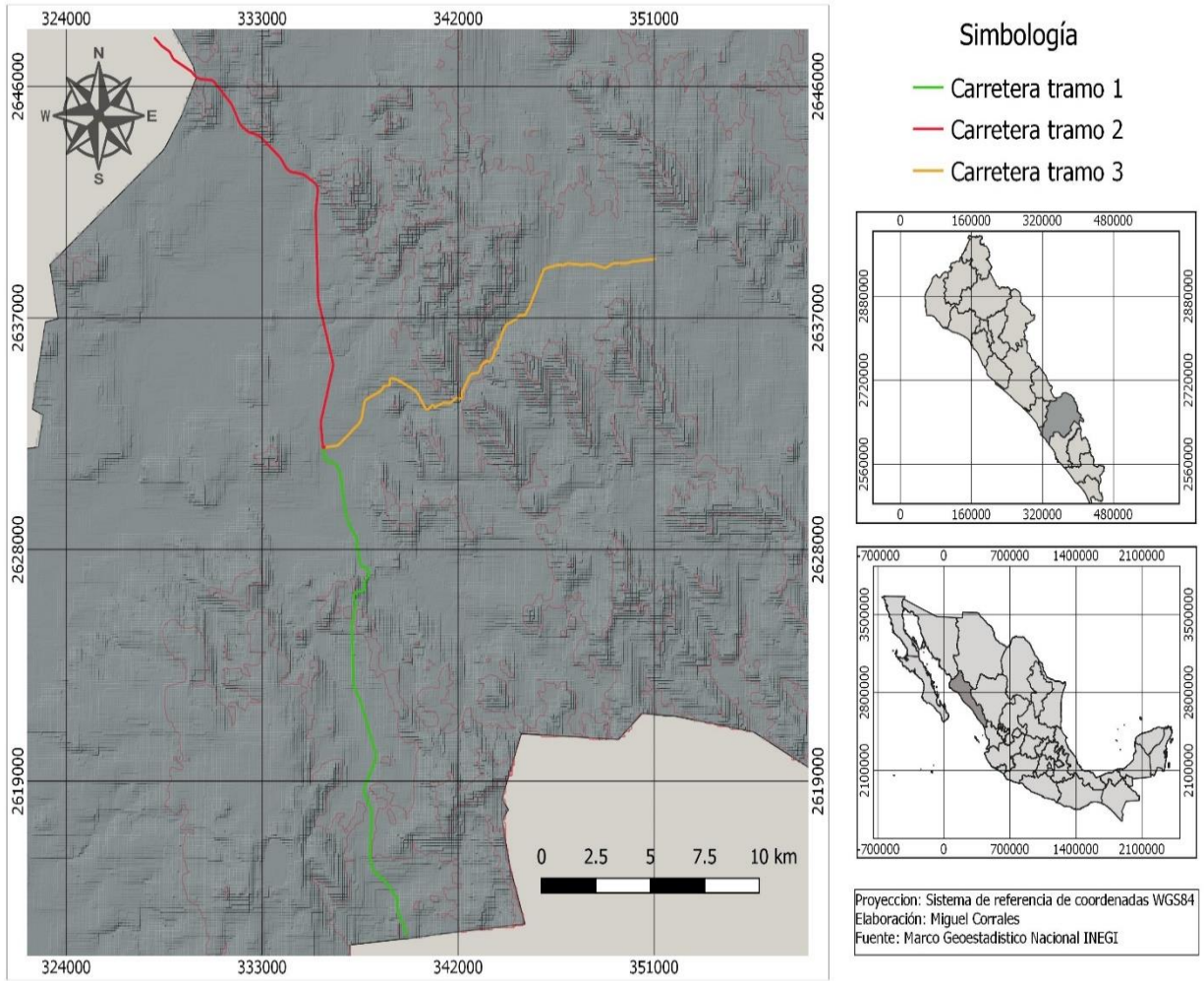


Figura 2. Mapa de los tramos #1 (ANP), #2 (ASP) y #3 (CB) de las carreteras Fed-Mex 15 y SIN 06 del municipio de San Ignacio, Sinaloa.

7.1.2 Clima

El clima en el área es principalmente cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw), la temperatura media anual está entre los 22 y 26 °C y la precipitación media anual oscila entre los 700 y 800 mm (INEGI, 2009). Se presentan dos temporadas climáticas marcadas al año, que se describen a continuación.

- a) Temporada de lluvias: comprende desde junio a octubre, presentando valores en la temperatura altos, con temperatura máxima promedio de 35.3 °C y temperatura mínima promedio de 23.0 °C. Esta etapa se distingue por el aumento en las precipitaciones, con máximos que van desde los 104 mm en junio hasta 260 mm en agosto, con una media acumulada de 620 mm, es decir, más del 80% del total de la precipitación media anual. La evaporación total en esta temporada se registra en 1,060 mm (CONAGUA, 2010).
- b) Temporada de secas: también conocido como estiaje, se presenta entre los meses de noviembre a mayo con temperatura máxima promedio de 33.2 °C y temperatura mínima promedio de 12.3 °C. En este periodo disminuye de manera drástica la precipitación, con valores máximos de 20 mm en mayo y 99 mm en noviembre, mientras que la evaporación registra un total de 1,250 mm (CONAGUA, 2010). Por otro lado, en esta temporada la mayor parte de las especies arbóreas de la región pierden sus hojas como estrategia en respuesta a la baja disponibilidad de agua (Challenger y Soberón, 2008).

7.1.3 Vegetación y uso de suelo

La selva baja caducifolia o bosque tropical caducifolio es la vegetación dominante en el municipio, con alrededor de 41.44% de la superficie total, equivalente a 210,076.10 ha aproximadamente, y que se caracteriza por la marcada estacionalidad entre la temporada de lluvias y secas, en las cuales el 75% las especies vegetales pierden el follaje durante el periodo crítico de la sequía (Rubio et al., 2010). Entre las especies de árboles comunes de este tipo de vegetación están el brasil (*Haematoxylon brasiletto*), la mora (*Maclura tinctoria*), las amapas del género *Handroanthus*, el palo blanco (*Ipomoea arborecens*), el mauto (*Lysiloma divaricatum*), la rosamarilla (*Cochlospermum vitifolium*) y los papelillos del género *Bursera*.

Entre los elementos del bosque subcaducifolio resaltan las higueras o matapalos del género *Ficus*, el haba (*Hura polyandra*), el palo mulato (*Bursera simaruba*) y el apomo (*Brosimum alicastrum*) (Rzedowski, 2006).

Entre las actividades o principales usos de suelo se encuentran la agricultura de temporal y de riego, así como la automatizada o mecanizada la cual cubre un 11.46% del territorio, aproximadamente 58,112.53 ha. Entre los cultivos más importantes para la región se encuentran los pastos para alimentación ganadera, seguido del maíz, el sorgo, frijol, chile y tomate rojo. El área acuícola cubre 367.29 ha (0.07%) de la superficie, localizándose principalmente al suroeste del municipio. Finalmente, los asentamientos humanos y áreas urbanas representan el 0.04% del territorio equivalente a 214.25 ha (SIGPOT, 2014).

7.1.4 Fauna

Se tienen registro de 308 especies de aves, pertenecientes a 58 familias, teniendo especies representativas como el perico frente naranja (*Eupsittula canicularis*), guacamaya verde (*Ara militaris*), paloma aliblanca (*Zenaida asiatica*), urraca cara negra (*Calocitta colliei*), chachalaca vientre castaño (*Ortalis wagleri*), perlita sinaloense (*Polioptila nigriceps*), espátula rosada (*Platalea ajaja*), por mencionar algunas. En la herpetofauna se presentan 22 especies de anfibios y 48 de reptiles, destacando especies en categoría de riesgo como la rana de rayas blancas (*Lithobates pustulosus*), la tortuga de monte pintada (*Rhinoclemmys pulcherrima*), tortuga pecho quebrado mexicana (*Kinosternon integrum*), cascabel de cola larga sinaloense (*Crotalus stejnegeri*), coralillo (*Micruroides euryxanthus*) cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*), lagarto de chaquira o heloderma (*Heloderma horridum*), iguana mexicana de cola espinosa (*Ctenosaura pectinata*) o el huico llanero (*Aspidoscelis costatus*) (CONANP, 2016).

Los mamíferos registrados en el municipio son aproximadamente 49 especies, distribuidos en los órdenes Didelphimorphia, Cingulata, Chiroptera, Lagomorpha, Rodentia, Carnivora y Artiodactyla, representando un 39% del total de la mastofauna del estado (González et al., 2002). De ellas se pueden considerar dentro del grupo de mamíferos de talla mediana y grande a las especies de jaguar, ocelote, tigrillo (*Leopardus wiedii*), puma (*Puma concolor*), lince, onza (*Herpailurus yagouarondi*), coyote (*Canis latrans*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), coatí, mapache (*Procyon lotor*), tejón, zorrillo listado (*Mephitis macroura*), zorrillo de espalda blanca norteño (*Conepatus leuconotus*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), pecarí de collar (*Pecari tajacu*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), liebre del desierto (*Lepus alleni*), conejo de monte (*Sylvilagus cunicularius*) y la nutria de río (*Lontra longicaudis*) (Ceballos y Olivas, 2005; Rubio et al., 2010).

7.2 Metodología

7.2.1 Registro de mamíferos atropellados

Se realizaron recorridos quincenales para cada una de las carreteras, durante los meses de julio a octubre de 2023 durante la temporada de lluvias y de febrero a mayo de 2024 en la temporada de secas, iniciando el monitoreo antes del amanecer, con el objetivo de reducir los sesgos asociados al consumo de los cadáveres por parte de las especies carroñeras (Antworth et al., 2005). Los recorridos se ejecutaron en un vehículo a una velocidad promedio de 40 a 60 km/h, con una persona manejando y otra(s) exclusivamente observando la carretera en búsqueda de individuos atropellados.

Al encontrar un animal colisionado se tomaron los siguientes datos:

- 1) Localización geográfica y altitud con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) modelo Garmin eTrex 10, en coordenadas UTM Datum WGS 84.
- 2) La fecha, hora y temporada del año.
- 3) Registro fotográfico detallado del individuo con una cámara Canon EOS Rebel T7, mediante capturas de frente, costado, vientre y de partes clave del cuerpo que sean características de la especie, acompañado de una regla como sistema de referencia al tamaño del individuo, para su posterior identificación, con el uso de guías especializadas como “Guía de bolsillo de mamíferos de Norteamérica”, “Guía de campo de los mamíferos de la costa de Jalisco, México”, “Mamíferos de las selvas secas de la costa del Pacífico mexicano. Guía de campo”, por mencionar algunas (Herbert, 2015; Ceballos y Miranda, 2000; Ceballos y Saldívar, 2022), así como la opinión de los expertos en mamíferos de la Alianza Nacional para la Conservación del Jaguar (ANCIJ).
- 4) Registro fotográfico del paisaje adyacente al punto de colisión en los cuatro puntos cardinales, comenzando siempre con la foto de frente al individuo y continuando en sentido a las manecillas del reloj.

7.2.2 Registro de mamíferos adyacentes a las carreteras

Para determinar la presencia y la abundancia relativa de los mamíferos se empleó la técnica de fototrampeo, mediante el uso de cámaras trampa, las cuales se activan mediante un sensor de movimiento o calor toman registro fotográfico o de video (Chávez et al., 2013). Estas se localizaron en ubicaciones fijas o estaciones en sitios donde se tienen registros previos de atropellamientos (Rubio-Rocha et al., 2022) y que de acuerdo con la experiencia de los investigadores y habitantes del área son sitios recurrentes de cruce de fauna, a 50-150 m de distancia del margen de la vía, dependiendo de las condiciones del paisaje adyacente. Para el

establecimiento de una estación de muestreo se buscaron indicadores de la presencia de mamíferos medianos o grandes, tales como huellas, excretas, madrigueras, rascaderos, echaderos, señales de ramoneo en la hierba, senderos o restos alimentarios (Rubio y Bárcenas 2010).

Se colocaron 15 estaciones de fototrampeo, cinco correspondientes a los márgenes de del tramo #1 adyacente al Área de Protección de Flora y Fauna Meseta de Cacaxtla (ANP), cinco en el tramo #2 adyacente a un área sin categoría de protección (ASP) y cinco en el tramo #3 correspondiente a la carretera estatal SIN 06, adyacente al Corredor Biológico y Ecoturístico del Jaguar (CB) (Cuadro 1; Figura 3).

Se emplearon cámaras trampa de la marca Cuddeback digital modelos C y E, así como de la marca Bushnell modelo Trophy Cam HD, programándose para tomar dos fotografías y un video cada que se active el sensor de movimiento o de calor, con la fecha y hora del registro. Las estaciones se colocaron a partir del mes de julio de 2023 hasta mayo de 2024, revisándose quincenalmente para su limpieza y chequeo tanto de las memorias SD como de las baterías para corroborar su funcionamiento o de ser necesario su cambio.

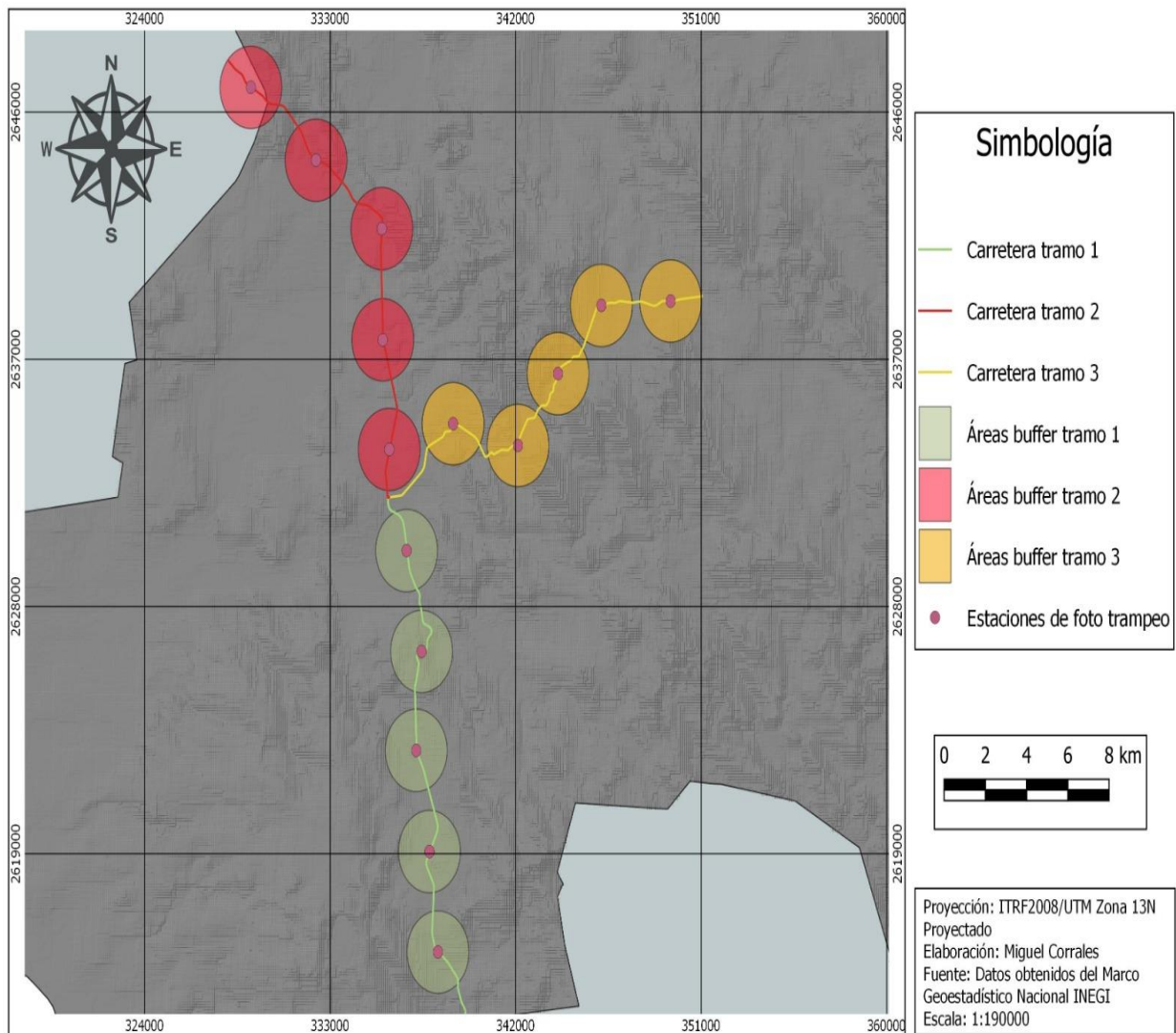


Figura 3. Localización de estaciones de fototrampeo y sus áreas buffer en el área de estudio.

7.3 Muestra

La muestra comprende mamíferos de mediano y gran tamaño atropellados en las carreteras Federal Mex-15 y Estatal Sin-06.

7.3.1 Criterios de Inclusión

Se tomaron ciertos criterios de inclusión de datos, tanto para el monitoreo de atropellamientos como los registros mediante el fototrampeo, los cuales serán los siguientes:

- 1) Registros de animales de la clase Mammalia
- 2) Se tomaron en cuenta solo registros de mamíferos medianos y grandes (talla de un adulto promedio ≥ 1 kg) considerados como medianos (M) aquellos con pesos entre 1 y 10 kg, y de talla grande (L) con pesos mayores a los 10 kg (Nuñez et al., 2000).

7.3.2 Criterios de Exclusión

Para los datos obtenidos de fototrampeo se consideraron los siguientes criterios de exclusión:

- 1) Capturas fotográficas de especies que no pertenezcan a la clase Mammalia.
- 2) Capturas fotográficas de mamíferos de talla pequeña (< 1 kg)
- 3) Capturas fotográficas de mamíferos domésticos.

Para los datos obtenidos del monitoreo de atropellamientos se consideraron los siguientes criterios de exclusión:

- 1) Registros de fauna atropellada no perteneciente a la clase Mammalia.
- 2) Registros de atropellamientos de mamíferos de talla pequeña (< 1 kg).
- 3) Registros de mamíferos domésticos.

7.3.3 Criterios de Eliminación

Para los datos obtenidos del monitoreo de atropellamientos se valoraron los siguientes criterios de eliminación:

- 1) Aquellos registros de individuos que pesar de pertenecer a la clase Mammalia y tener la talla mínima (≥ 1 kg), se encuentre en condiciones de deterioro que no permitan determinar su identificación al menos hasta el taxón de familia.

7.4 Análisis de los datos

Se tomaron en cuenta diferentes variables tanto del paisaje adyacente como de las carreteras para establecer parámetros de comparación en los atropellamientos y en los datos recabados por medio del fototrampeo.

7.4.1 Caracterización del paisaje

Cobertura dominante: En cada estación de fototrampeo se añadió espacialmente un área buffer o parcela de 1,500 m de radio, teniendo cinco áreas o parcelas en forma circular por cada tramo de las carreteras a recorrer (Cuadro 1), para un total de 15 parcelas (Figura 3) en las cuales en cada una de ellas se determinó la cobertura o vegetación dominante, tomando como referencia la cartografía de INEGI (2017) “Mapa de uso de suelo y vegetación-Serie VII.”

7.4.2 Caracterización de la carretera

Sinuosidad: Se refiere a cuanto del trazado de la carretera dispone de curvas. Se midió esta característica en cada uno de los eventos o puntos de colisión, añadiendo espacialmente un área buffer de 50 m a cada lado de dicho punto y determinando si más del 50% del tramo incluido en el tramo del área buffer corresponde a una recta o curva.

Flujo vehicular: Se determinó el Transito Diario Promedio Anual (TDPA) de las carreteras por medio de la información proporcionada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2023) en la base de datos digital de “Datos Viales”.

<http://datosviales2020.routedev.mx/main>

7.4.3 Índice kilométrico de abundancia de mamíferos atropellados

Se calculó el índice kilométrico de abundancia (IKA) (Bager y Rosa, 2010) de los mamíferos atropellados por especie, el cual se obtienen mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IKA} = \text{N.A./K.R.}$$

Donde:

N.A. = Número de individuos atropellados

K.R. = Kilómetros recorridos

Esto se ejecutó para contrastar tanto la abundancia de atropellamientos por temporada (secas y lluvias), así como el número de individuos atropellados por parcelas en los tres tramos carreteros a muestrear, entre el número total de kilómetros recorridos en ese lapso o área en específico (Bauni et al., 2017; Seijas et al., 2013). Dichos datos arrojaron la frecuencia numérica de los atropellamientos para poder realizar los análisis estadísticos correspondientes, asumiendo que los organismos encontrados son atropellados dentro de las 24 h previas a su localización (Seijas et al., 2013).

7.4.4 Riqueza e índice de abundancia relativa de los mamíferos adyacentes a las carreteras

Los registros fotográficos obtenidos de los muestreos por fototrampeo se almacenaron y organizaron por especie y por capturas o eventos fotográficos independientes, es decir, aquellas capturas que tuvieron una separación de al menos 24 h y sean de una misma especie, o que sean registros consecutivos (pudiendo ser menos de 24 h de diferencia) pero de distintas especies.

Para obtener el índice de abundancia relativa por especie (IAR), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{IAR} = \text{C/EM} * 1000 \text{ días/trampa}$$

Dónde: C es el número de eventos fotográficos; EM es el esfuerzo de muestreo (medido como número de cámaras multiplicado por los días de monitoreo) total y 1,000 días trampa como unidad estándar (Maffei et al., 2002; Briones-Salas et al., 2016).

De manera paralela, se estimo el IAR por parcela o área buffer de las 15 estaciones de fototrampeo, en la cual cada una de ellas se nombró como ANP1 a ANP5 para las parcelas dentro del tramo ANP; ASP1 a ASP5 para las cinco parcelas dentro del tramo ASP y CB1 a CB5 para las correspondientes al tramo CB.

7.4.5 Análisis estadísticos

Se realizó una prueba de normalidad de los datos de atropellamientos de mamíferos obtenidos mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Quinn y Keough, 2004) para contrastar si el conjunto de datos se ajusta o no a una distribución normal.

Se aplicó la prueba *U* de Mann-Whitney para determinar diferencias significativas en el IKA por grupo estudiado en cada una de las épocas (lluvias-secas). La prueba *U* de Mann-Whitney es una prueba no paramétrica que se aplica a dos muestras independientes, por lo que es la versión no paramétrica de la prueba *t* de Student (Quinn y Keough, 2004). De la misma forma se aplicó esta prueba para hacer comparación entre los atropellamientos por sinuosidad, flujo vehicular y talla.

En el caso de los atropellamientos por tipo de cobertura vegetal predominante y tipo de protección del tramo se aplicó la prueba Kruskal-Wallis, la cual no asume que los datos provienen de una distribución normal y permite pequeños tamaños de muestra, probando si dos

o más grupos provienen de una misma población y es la contraparte de la prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) para datos no paramétricos (Quinn y Keough, 2004).

Todas las pruebas se consideraron estadísticamente significativas cuando $p < 0.05$ y se realizaron con el programa estadístico Past ver 3.0.

7.5 Lugar de realización

Este estudio de campo se llevó a cabo en las carreteras del Municipio de San Ignacio Sinaloa, teniendo a la Estación Biológica del Jaguar como centro de operaciones. El análisis de datos, trabajo de gabinete y las sesiones de asesoría se llevaron a cabo en las oficinas de la Fundación Sinaloense para la Conservación de la Biodiversidad (FUSCBIO AC) ubicadas en Culiacán, y en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS).

7.6 Financiamiento

El proyecto fue financiado por la M.C. Yamel Gpe. Rubio Rocha perteneciente al Cuerpo Académico de Ecología Molecular y Biotecnología (UAS-CA-298), de la Facultad de Biología de la UAS. Se contó con financiamiento parcial de la Fundación Sinaloense para la Conservación de la Biodiversidad y de la Alianza Nacional para la Conservación del Jaguar.

VIII.RESULTADOS

8.1 Composición y riqueza de mamíferos atropellados

Se recorrieron 320 km de cada tramo de las carreteras, con un esfuerzo de muestreo total de 960 km; 480 km en los meses de julio a octubre del 2023 correspondiente a la temporada de lluvias y 480 km durante la temporada de secas de febrero a mayo de 2024. Se obtuvieron 42 registros de mamíferos atropellados, de los cuales ocho fueron excluidos de los análisis por ser individuos domésticos, por lo tanto, se tomaron en cuenta 34 registros de mamíferos silvestres de mediano y gran tamaño conformados por cuatro ordenes, siete familias, diez géneros con sus especies correspondientes (Cuadro 2; Anexo 1). El tlacuache norteño fue la especie más frecuentemente colisionada, con nueve registros, representando el 26% del total, seguido por el mapache con siete y el conejo de monte con cinco individuos atropellados.

Durante la temporada de lluvias se contabilizaron 22 individuos, es decir el 64.71% del total, con los tlacuaches como la más localizada en las carreteras ($n = 7$), mientras que en la época de secas se observaron 12 individuos atropellados, el 35.29% del total, con el mapache y el conejo de monte como las especies más abundantes en dicha temporada ($n = 3$) (Figura 4). En cuanto a la talla de los animales, ocho de las diez especies registradas pertenecen al grupo de mamíferos medianos (1-10 kg), mientras que las dos restantes corresponden a mamíferos de gran tamaño (>10 kg), como es el caso del lince y el ocelote. Dos especies se encuentran dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, el caso del tejón categorizada como especie “Amenazada” y el ocelote en “Peligro de extinción” (SEMARNAT, 2010).

Cuadro 2. Composición de mamíferos medianos y grandes atropellados en dos vías carreteras de San Ignacio, Sinaloa durante las temporadas de lluvias y secas 2023-2024.

Orden	Familia	Especie (Nombre Común)	Tamaño	Abundancia
Carnivora	Felidae	<i>Leopardus pardalis</i> * (Ocelote)	G	1
		<i>Lynx rufus</i> (Lince)	G	1
	Mephitidae	<i>Conepatus leuconotus</i> (Zorrillo de espalda blanca norteño)	M	2
	Mustelidae	<i>Taxidea taxus</i> * (Tejón)	M	1
	Procyonidae	<i>Nasua narica</i> (Coatí)	M	4
		<i>Procyon lotor</i> (Mapache)	M	7
Cingulata	Dasypodidae	<i>Dasyopus novemcinctus</i> (Armadillo de nueve bandas)	M	3
Didelphimorphia	Didelphidae	<i>Didelphis virginiana</i> (Tlacuache norteño)	M	9
Lagomorpha	Leporidae	<i>Lepus alleni</i> (Liebre antílope)	M	1
		<i>Sylvilagus cunicularius</i> (Conejo de monte)	M	5
TOTAL				34

Talla: M = Mediana, G = Grande. *Especie dentro de una categoría de riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

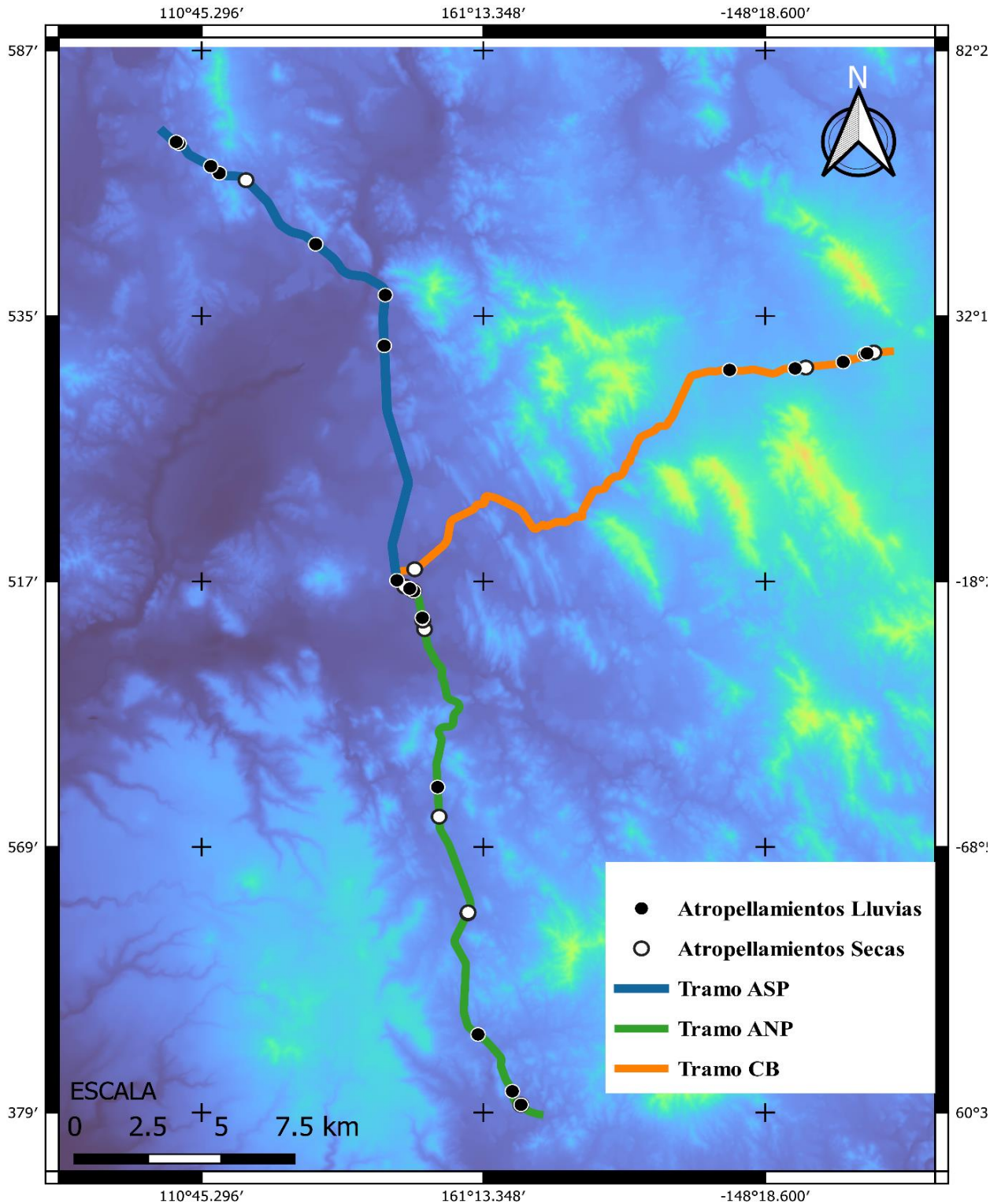


Figura 4. Mapa de atropellamientos por temporada (lluvias 2023 y secas 2024) y tramos APS (Área Sin Protección), ANP (Área Natural Protegida) y CB (Corredor Biológico) en las dos carreteras monitoreadas del municipio de San Ignacio, Sinaloa.

El mayor número de atropellamientos ocurrió en el tramo Área Natural Protegida (ANP) con 17 registros de siete especies, seguido del tramo Corredor Biológico (CB) con nueve colisiones distribuidas en cinco especies y el tramo de Área Sin Protección (ASP) contó con ocho registros de cuatro especies. La especie de tlacuache se observó en los tres tramos, mientras que el lince y el zorrillo de espalda blanca norteño fueron exclusivos para el tramo CB, el ocelote y la liebre del desierto solo se registraron en el tramo ANP y por su parte el tejón o tlacoyote tuvo presencia exclusiva en el tramo ASP (Figura 5).

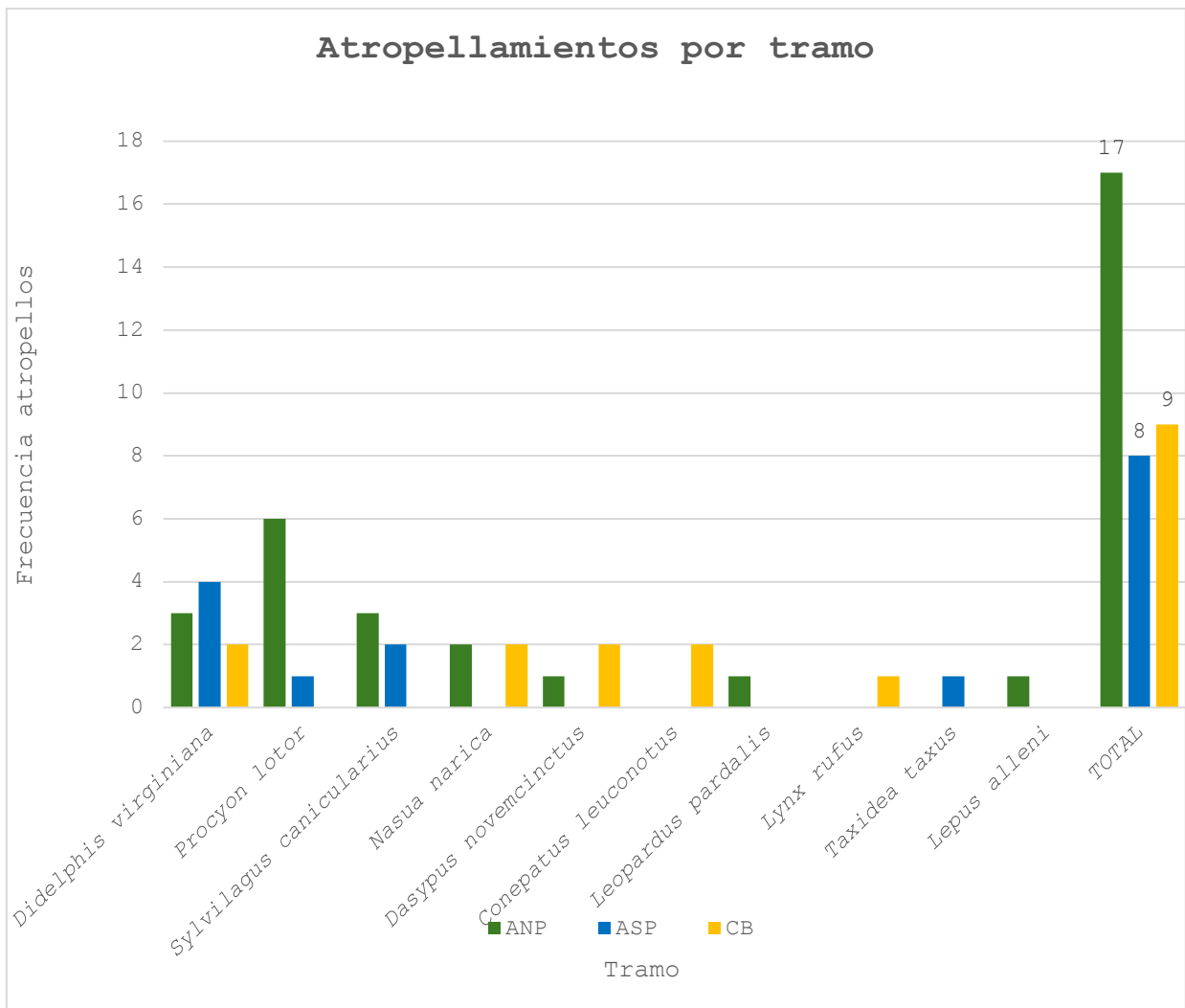


Figura 5. Registros de especies y abundancia de mamíferos de mediano y gran tamaño atropellados por tramo en el municipio de San Ignacio, Sinaloa durante la temporada de lluvias (2023) y secas (2024).

8.2 Índice kilométrico de abundancia (IKA) de los mamíferos atropellados

El IKA global para este estudio en los tres tramos monitoreados fue de 0.035 individuos atropellados/km. El IKA en temporada de lluvias fue de 0.0458 mamíferos atropellados/km, resultado mayor al obtenido en la temporada de secas con un IKA de 0.025 mamíferos atropellados/km. Las pruebas estadísticas no mostraron diferencias significativas entre los atropellamientos por temporada del año ($p = 0.294$).

Al comparar el índice de atropellamientos de mamíferos (IKA) entre los tres sitios monitoreados, el tramo ANP registró el valor más alto con 0.053 mamíferos atropellados por kilómetro. El tramo CB mostró un índice de 0.028 individuos atropellados por kilómetro, mientras que el tramo ASP tuvo un índice de 0.025 individuos atropellados por kilómetro. Aunque la media de atropellamientos en el tramo ANP fue superior a la de los otros tramos, la prueba de Kruskal-Wallis, aplicada a datos no paramétricos, no reveló diferencias significativas entre los registros de atropellamientos según la categoría de protección ($H = 1.748$, $p = 0.371$).

Por otro lado, el IKA de acuerdo con la talla resultó ser mayor para los mamíferos medianos con 0.033 individuos atropellados/km, en comparación con los 0.002 mamíferos de talla grande atropellados/km, con diferencias estadísticamente significativas para estos dos grupos ($p = 0.003$) de acuerdo con la prueba Mann-Whitney.

8.3 Caracterización del paisaje

Se identificaron a la selva baja caducifolia (SBC), vegetación secundaria arbustiva (VSA), agricultura de riego anual (ARA) y agricultura de temporal (AT) como los tipos de vegetación y uso de suelo predominantes en las parcelas o área buffer de 1.5 km de radio alrededor de las 15 estaciones de fototrampeo de acuerdo con el mapa de INEGI “Mapa de uso de suelo y

vegetación-Serie VII” (Figura 6). Para el análisis de los datos se optó por agrupar a la agricultura de temporal y a la de riego anual en “agricultura” (A). En ocho de las parcelas se registró una dominancia de selva baja caducifolia (53.33%), en cuatro la agricultura tuvo mayor cobertura (26.66%) y en las tres parcelas restantes la vegetación secundaria arbustiva presentó mayor área (20%).

El tipo de vegetación en la cual ocurrió mayor frecuencia de atropellamientos fue la agricultura con 47.06% de los casos ($n = 16$), seguido de la selva baja caducifolia con 29.41% eventos ($n = 10$) y finalmente la vegetación secundaria arbustiva con 23.53% de los atropellamientos ($n = 8$). De acuerdo con la prueba Kruskal-Wallis no existe diferencia significativa entre los atropellamientos ocurridos por tipo de vegetación ($H = 0.565$, $p = 0.728$).

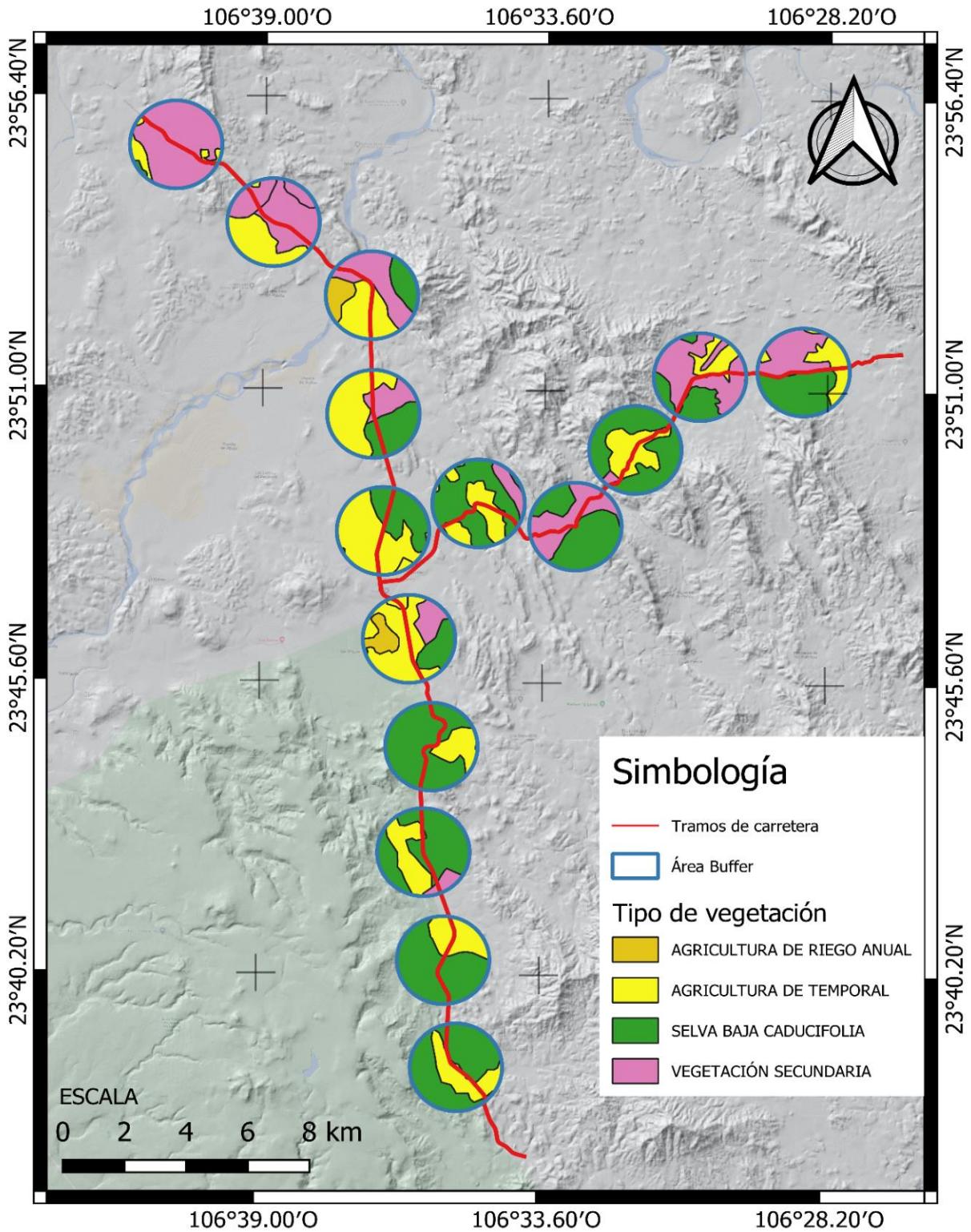


Figura 6. Mapa de caracterización de vegetación dominante por parcela en las dos carreteras monitoreadas en el municipio de San Ignacio, Sinaloa.

8.4 Parámetros de la carretera

8.4.1 Flujo vehicular

El TDPA de la carretera Federal Libre MEX-015 es de 2,851 vehículos, mientras que la carretera Estatal SIN-006 se tiene un TDPA de 1,858 vehículos. En la carretera FED-MEX-015 se registraron el 73.53% de los atropellamientos ($n=25$) con ocho de las diez especies colisionadas, siendo el tlacuache la especie más frecuentemente atropellada. Para la carretera Estatal SIN-006 se registraron nueve individuos atropellados de cinco especies distintas. No se encontraron diferencias significativas entre los atropellamientos en la carretera FED-MEX-015 y la Estatal SIN-006 ($p = 0.2549$).

8.4.2 Sinuosidad

En cada sitio donde se localizó un individuo colisionado se determinó la forma dominante del tramo, ya fuera curva o recta (Figura 7). En este sentido se encontró que el 76.47% de los atropellamientos sucedió en una recta ($n = 26$) y el 23.53% restante en un tramo con dominancia de curva ($n = 8$). El tlacuache fue la más abundante en tramos con curvas ($n = 4$) mientras que en tramos rectos destaca la presencia en mayor cantidad de mapache ($n = 5$). Las especies representantes de los mamíferos grandes, el ocelote y el lince, se localizaron en un tramo recto. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los atropellamientos por tipo de sinuosidad en los tramos de acuerdo con la prueba *U* de Mann-Whitney ($p = 0.0107$).



Figura 7. Determinación de sinuosidad en los sitios con atropellamiento. A) Tramo con dominancia de recta y B) Tramo con dominancia de curva.

8.5 Composición y riqueza de mamíferos adyacentes a las carreteras

Se colocaron 15 estaciones de fototrampeo tanto en la temporada de lluvias de julio a octubre de 2023 como en la temporada de secas de febrero a mayo de 2024, con cada cámara funcionando 173 días en promedio para un esfuerzo de muestreo total de 2,592 días trampa. Se obtuvieron un total de 56,454 registros fotográficos, de los cuales 6,160 pertenecen a capturas de fauna silvestre y específicamente 2,763 a mamíferos de mediano y/o gran tamaño, lo que corresponde a un 4.89% de fotos efectivas. Se identificaron 17 especies de mamíferos medianos y grandes, pertenecientes a cinco órdenes, 10 familias y 17 géneros (Cuadro 3; Figura 8). En el sitio CB se registraron las 17 especies, de las cuales dos fueron exclusivas en este tramo; el zorrillo listado y el puma. En tanto, en el tramo dentro de ANP como el ASP se contabilizaron 14 especies para cada uno. En la temporada de secas se obtuvieron fotografías de las 17 especies,

una más con respecto a la temporada de lluvia, en la cual no se registraron individuos de la liebre antílope.

Entre las 17 especies capturadas mediante las cámaras trampa, 10 se consideraron de talla mediana y las siete restantes de talla grande ($n > 10$ kg), además tres de ellas se encuentran en alguna categoría en riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, tal es el caso del tejón (*T. taxus*), catalogada como especie “Amenazada” (A), así como las especies de felinos como el jaguar y el ocelote, ambas consideradas en “Peligro de extinción” (P).

Cuadro 3. Composición de mamíferos medianos y grandes registrados mediante fototrampeo al margen de las vías carreteras en San Ignacio, Sinaloa.

Orden	Familia	Especie	Nombre común	Sitio
Artiodactyla	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca	ANP, ASP, CB.
	Tayassuidae	<i>Pecari tajacu</i>	Pecarí de collar	ANP, ASP, CB.
Carnivora	Canidae	<i>Canis latrans</i>	Coyote	ANP, ASP, CB.
		<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Zorra gris	ANP, ASP, CB.
	Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote	ANP, ASP, CB.
		<i>Lynx rufus</i>	Lince	ANP, ASP, CB.
		<i>Panthera onca</i>	Jaguar	ANP, ASP, CB.
		<i>Puma concolor</i>	Puma	CB.
	Mephitidae	<i>Conepatus leuconotus</i>	Zorrillo de espalda blanca norteño	ANP, ASP, CB.
		<i>Mephitis macroura</i>	Zorrillo listado	CB.
	Mustelidae	<i>Taxidea taxus</i>	Tejón/Tlalcoyote	ASP, CB.
	Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Coatí	ANP, ASP, CB.
<i>Procyon lotor</i>		Mapache	ANP, ASP, CB.	
Cingulata	Dasypodidae	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Armadillo de nueve bandas	ANP, ASP, CB.
Didelphimorphia	Didelphidae	<i>Didelphis virginiana</i>	Tlacuache	ANP, ASP, CB.
Lagomorpha	Leporidae	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	Conejo montés	ANP, ASP, CB.
		<i>Lepus alleni</i>	Liebre antílope	ANP, CB.

Sitio: ANP = Área de Protección de Flora y Fauna Meseta de Cacaxtla, ASP = Área sin protección, CB = Corredor Biológico y Ecoturístico del Jaguar.



Figura 8. Ejemplos de mamíferos registrados durante la temporada de lluvias 2023 y secas 2024 en los márgenes de las carreteras de San Ignacio, Sinaloa. A) Coyote (*C. latrans*), B) Armadillo nueve bandas (*D. novemcinctus*), C) Jaguar (*P. onca*), D) Mapache (*P. lotor*), E) Lince (*L. rufus*) y F) Venado cola blanca (*O. virginianus*).

8.6 Índice de abundancia relativa de los mamíferos registrados adyacentes a las carreteras

Se obtuvieron 818 registros fotográficos independientes de las 17 especies de mamíferos medianos y grandes en las 15 estaciones de fototrampeo, con un esfuerzo de muestreo de 1,332 días trampa entre los meses de julio a octubre de 2023 correspondiente a la temporada de lluvias y 1,435 días trampa de febrero a mayo de 2024 perteneciente a la temporada de secas, para un total de 2,767 días trampa en todo el monitoreo. Con ello se obtuvo el índice de abundancia relativa (IAR) para cada especie, siendo el venado cola blanca, el ocelote, el coyote, el pecarí de collar y el conejo de monte las especies con mayor IAR en el área de muestreo, mientras que la liebre del desierto y el puma presentaron el menor IAR (Cuadro 4).

Se estimó el IAR de las especies de mamíferos capturadas en las cámaras trampa por el tipo de protección en la que se encuentra la zona adyacente a los tramos monitoreados (Figura 9). El tramo con mayor IAR de mamíferos resultó ser el correspondiente al ANP Meseta de Cacaxtla con 336 eventos fotográficos independientes, (IAR = 121.431) y con las especies de coyote, conejo de monte y ocelote con el 56.55% del total de la abundancia en este tramo. Por otro lado, el tramo ASP presentó un total de 273 registros independientes (IAR = 98.663) con la ocurrencia del pecarí de collar y el venado cola blanca como las especies más abundantes. Finalmente, en el tramo CB se contabilizaron 209 registros independientes (IAR = 75.533) y se mostró al ocelote y al mapache como las de mayor presencia de esta zona.

Cuadro 4. Índice de abundancia relativa (IAR) de los mamíferos de mediano y gran tamaño registrados al margen de las carreteras mediante fototrampeo en el municipio de San Ignacio, Sinaloa.

Especie	Nombre común	Registros Independientes	IAR
<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca	117	42.284
<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote	108	39.031
<i>Canis latrans</i>	Coyote	103	37.224
<i>Pecari tajacu</i>	Pecarí de collar	99	35.779
<i>Sylvilagus cunicularius</i>	Conejo de monte	92	33.249
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Zorra gris	84	30.358
<i>Nasua narica</i>	Coatí	50	18.070
<i>Lynx rufus</i>	Lince	49	17.709
<i>Didelphis virginiana</i>	Tlacuache norteco	40	14.456
<i>Procyon lotor</i>	Mapache	33	11.926
<i>Mephitis macroura</i>	Zorrillo listado	11	3.975
<i>Panthera onca</i>	Jaguar	9	3.253
<i>Dasypus novemcinctus</i>	Armadillo de nueve bandas	7	2.530
<i>Conepatus leuconotus</i>	Zorrillo de espalda blanca norteco	7	2.530
<i>Taxidea taxus</i>	Tejón/Tlalcoyote	5	1.807
<i>Puma concolor</i>	Puma	2	0.723
<i>Lepus alleni</i>	Liebre antílope	2	0.723
TOTAL		818	295.627

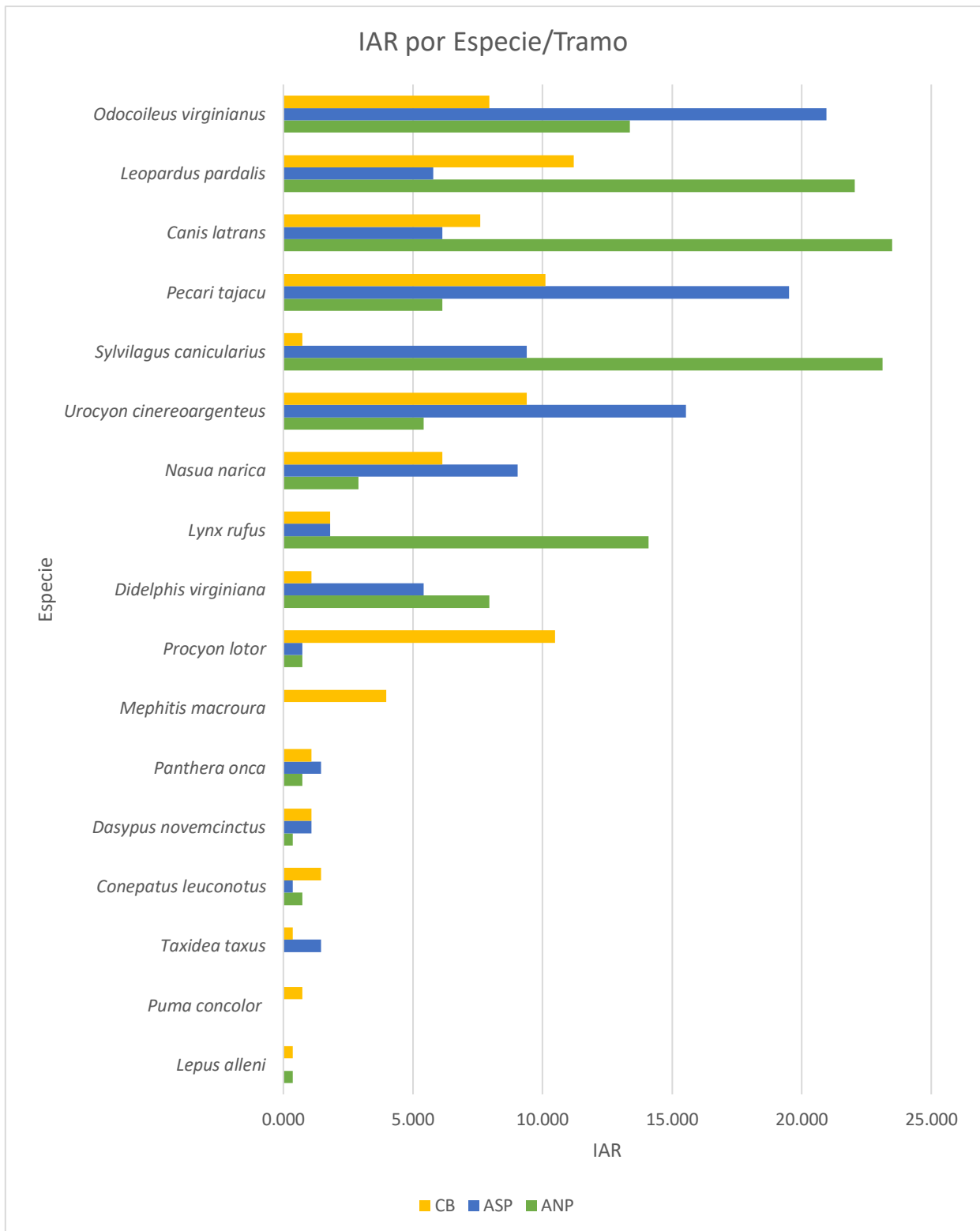


Figura 9. Índice de abundancia relativa de los mamíferos de mediano y gran tamaño monitoreados al margen de las carreteras del municipio de San Ignacio, Sinaloa.

Asimismo, la abundancia relativa de cada especie se comparó entre temporadas del año, con un mayor número de eventos fotográficos independientes en la época de secas y un IAR de 340.767, siendo ocelote y el coyote las especies más abundantes durante ese periodo. En contraparte, en la temporada de lluvias se obtuvo un IAR de 246.997 con el venado cola blanca y el pecarí de collar como las más registradas (Figura 10). Por otro lado, en cuestión de talla, los mamíferos de gran tamaño alcanzaron los 487 registros para un IAR de 176.00, mientras que para los mamíferos de mediano tamaño se recabaron 331 eventos fotográficos para un IAR de 119.624.

De las especies enlistadas en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT se destaca la alta abundancia de ocelote, siendo la segunda en este rubro con respecto a las otras especies en todo el monitoreo (IAR = 39.031), solo por debajo del venado cola blanca (IAR = 42.284). En el caso del jaguar, sus registros aumentaron en la temporada de secas con ocho fotografías independientes y un IAR de 5.575 en comparación de la temporada de lluvia donde se registró solo en una ocasión y un IAR de 0.751. Por el contrario, el tejón se observó en mayor medida durante la temporada lluviosa, en cuatro eventos fotográficos para un IAR de 3.003, y con un registro en la temporada seca.

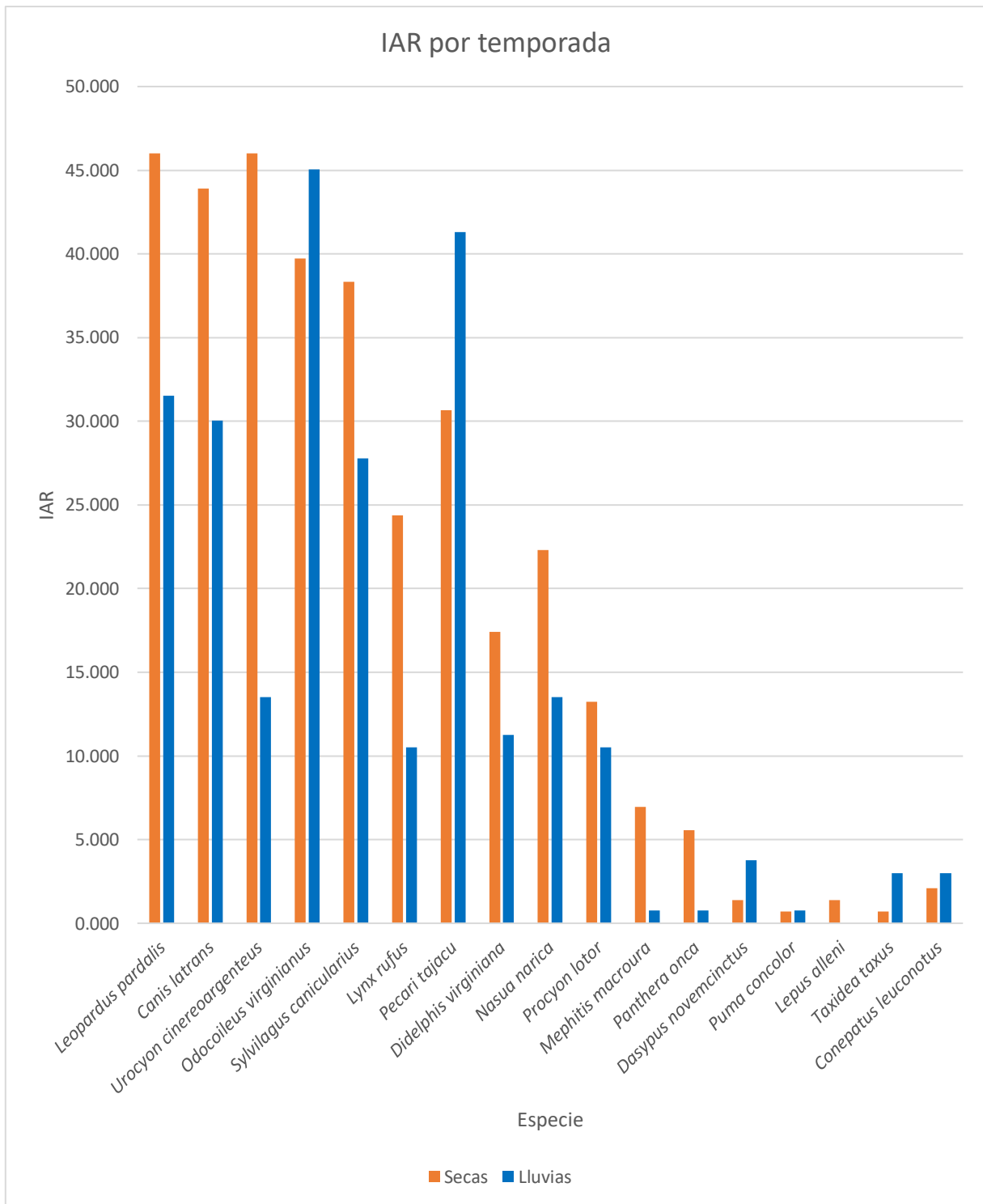


Figura 10. Índice de Abundancia Relativa de los mamíferos de mediano y gran tamaño registrados mediante fototrampeo por temporada al margen de las carreteras del municipio de San Ignacio, Sinaloa.

8.7 Correlación entre mamíferos adyacentes a la carretera y atropellados

Se tomó, por un lado, en cada estación de fototrampeo y en sus respectivas áreas buffer o parcelas de 1.5 km de radio la riqueza y abundancia de los mamíferos registrados, tanto de los atropellados como de aquellos que se registraron adyacentes a las carreteras por medio de las cámaras trampa (Cuadro 5) y, por otro lado, el IAR y los atropellamientos por especie (Cuadro 6). La estación ANP1 fue el sitio donde se observó la mayor cantidad de especies y organismos atropellados, seguido de la estación CB5 y de ASP1. En cuanto a la riqueza obtenida mediante fototrampeo, la estación CB2 tuvo la mayor cantidad de especies capturadas ($n = 11$) seguido de ANP4, ANP5, ASP2 y ASP4 ($n = 10$). Para la abundancia los sitios ANP5, ANP3 y ASP3 se obtuvieron 80 o más registros independientes de mamíferos de mediano y/o gran tamaño.

Se encontró una asociación positiva entre el IAR por sitio y de los individuos atropellados, es decir, en las parcelas con mayor abundancia de mamíferos, hubo también una mayor cantidad de organismos colisionados. Sin embargo, esta correlación no es estadísticamente significativa de acuerdo con la prueba de Spearman ($\rho = 0.184$, $p = 0.512$). En cuanto a la correlación entre la abundancia de los mamíferos atropellados y el IAR por especie, se obtuvo una asociación negativa, siendo las especies más atropelladas las menos abundantes al margen de las carreteras. No obstante, este resultado no es estadísticamente significativo de acuerdo con la prueba de correlación de Spearman ($\rho = -0.140$, $p = 0.592$).

Cuadro 5. Riqueza y abundancia de mamíferos adyacentes a las carreteras y atropellados por estación de fototrampeo durante la temporada de lluvias 2023 y secas 2024 en San Ignacio Sinaloa.

Estación	FOTOTRAMPEO		ATROPELLAMIENTOS	
	Riqueza	Abundancia (Registros independientes)	Riqueza	Abundancia
ANP1	6	30	5	12
ANP2	8	31	0	0
ANP3	8	88	2	2
ANP4	10	78	2	2
ANP5	10	109	1	1
ASP1	9	69	3	5
ASP2	10	41	1	1
ASP3	8	80	1	2
ASP4	10	61	0	0
ASP5	4	22	0	0
CB1	8	26	1	1
CB2	11	67	0	0
CB3	6	30	0	0
CB4	8	60	1	1
CB5	6	26	4	6

Cuadro 6. Abundancia de atropellamientos e IAR por especie registradas en las carreteras de San Ignacio, Sinaloa en la temporada de lluvias 2023 y secas 2024.

Especie	Abundancia de atropellamientos	IAR fototrampeo
Tlacuache	9	14.46
Mapache	7	11.93
Conejo de monte	5	33.25
Coatí	4	18.07
Armadillo	3	2.53
Zorrillo de espalda blanca norteño	2	2.53
Ocelote	1	39.03
Lince	1	17.71
Tejón	1	1.81
Liebre antílope	1	0.72
Coyote	0	37.22
Zorrillo listado	0	3.98
Venado cola blanca	0	42.28
Jaguar	0	3.25
Pecarí de collar	0	35.78
Puma	0	0.72
Zorra gris	0	30.36

IX. DISCUSIÓN

En esta investigación los mamíferos de tallas menores a 10 kg resultaron ser los más frecuentemente atropellados, concordando con varios trabajos realizados en Latinoamérica (Coelho et al., 2008; da Silva Zanzini et al., 2018; Pessanha et al., 2023) y en México (Pacheco-Figueroa et al., 2021; Sánchez-Acuña y Benítez, 2021; Cervantes-Huerta y Durán-Antonio, 2022; Ruiz-Ramírez et al., 2022), así como lo encontrado en el monitoreo de Rubio-Rocha y colaboradores (2022) en las carreteras del centro y sur de Sinaloa, donde se encontraron similitudes en cuanto a la riqueza y abundancia de los organismos registrados, con la marcada diferencia de que en este trabajo se realizó un monitoreo sistematizado en un solo municipio del estado de Sinaloa, mientras que el proyecto antes mencionado se realizó a lo largo de 8 municipios en prácticamente el mismo lapso de tiempo, resaltando la necesidad de realizar monitoreos con rigor metodológico y a largo plazo.

El tlacuache norteño representó la mayor proporción de atropellamientos de todos los registros, lo cual es una constante en los estudios enfocados en mortalidad por esta vía para las distintas especies del grupo Didelphidae en toda su área de distribución (Carvajal y Díaz, 2013; Monroy et al., 2015; Pacheco et al., 2021; Pacheco-Figueroa et al., 2021; Pozo-Montuy et al., 2021; Sánchez-Acuña y Benítez, 2021; García-Sánchez et al., 2023). Esta tendencia se explica por la amplia presencia de los didélfidos en todo el continente, desde Canadá hasta Argentina (Nowak, 1999), además de sus hábitos generalistas y oportunistas (McManus, 1974; Ceballos y Olivas, 2005), con lo cual se han logrado adaptar a diversos ambientes, incluidos los paisajes fragmentados y perturbados por la acción humana (Cruz-Salazar et al., 2016) como el caso de las carreteras, donde pueden encontrar alimento y refugio en la vegetación adyacente a las vías. De igual forma, algunas características en el comportamiento de los tlacuaches los expone a

sufrir atropellamientos, por ejemplo, se caracterizan por tener movimientos lentos y pausados, además, al sentirse amenazados emplean una técnica defensiva conocida como “tanatosis” en la cual el individuo aparenta su muerte al permanecer inmóvil y expeler un olor desagradable, sin embargo esta respuesta ante un vehículo resulta contraproducente y lo expone más a una colisión (Zarza y Medellín, 2005; García-Sánchez et al., 2023).

En el caso del mapache, el coatí y el armadillo nueve bandas, diversos modelos que buscan predecir las variables asociadas a los atropellamientos describen que los mamíferos de pequeño y mediano tamaño corporal, con áreas de distribución limitadas, corta longevidad, alta densidad poblacional, hábitos nocturnos, maduración temprana dietas y hábitats generalistas presentan una mayor probabilidad de sufrir mortalidad relacionada con las carreteras (Grilo et al., 2020; Medrano-Vizcaíno et al., 2022), todas estas características engloban a las especies antes mencionadas (Ceballos y Olivas, 2005), y esta relación podría explicarse también al efecto paralizante, la disminución en la visión que generan en los organismos las luces y el ruido proveniente de los vehículos y en la capacidad de los automovilistas de detectar y evadir animales de tallas grandes (García-Sánchez et al., 2023).

Dos especies atropelladas en este estudio se encuentran enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. La primera de ellas el tejón o tlacoyote, un mustélido carnívoro de tamaño mediano con hábitos nocturnos y evasivos (Jimenez y List, 2005), la cual se considera como “Amenazada” en la NOM-059. En Sinaloa se cuentan con escasos reportes de su presencia confirmada en los municipios de Choix, Ahome y Elota (Bárcenas et al., 2009; Ley-Quiónéz et al., 2023), siendo San Ignacio el cuarto municipio con registro, además de ser el más sureño de todos, por lo que esto contribuye a una posible ampliación en la distribución actual de esta especie (Ceballos y Oliva, 2005).

Por otro lado, el ocelote, el cual se categoriza como “En Peligro de Extinción”, es un carnívoro de entre 11 a 16 kg, como la mayoría de sus congéneres, es solitario, elusivo y un depredador oportunista (Murray y Gardner, 1997; Perez-Irineo y Santos-Moreno, 2015). El caso de atropellamiento aquí registrado ocurrió en el tramo ANP, en un parche dominado por agricultura de temporal con remanentes de selva baja caducifolia, lo cual coincide con algunos modelos espaciales realizados en el sur Estados Unidos, quienes concluyen que la variable de la vegetación es la más relacionada a los atropellamientos en esta especie, destacando que en las carreteras que cruzan áreas con vegetación natural son más frecuentes los atropellamientos en ocelotes (Schmidt et al., 2020; Blackburn et al., 2021). En Sinaloa ya se había reportado la presencia de ocelotes colisionados en las carreteras del estado, tanto en monitoreos (Rubio et al., 2022) como en diversas fuentes históricas y comunicación personal con expertos (González-Gallina e Hidalgo-Mihar, 2018), por lo que resulta fundamental la necesidad de reducir los riesgos de atropellamiento a estas especies vulnerables y aumentar la posibilidad de conservarlos en la región estudiada.

El índice kilométrico de abundancia (IKA) para este estudio resultó de 0.035 mamíferos de mediano y gran tamaño atropellados por kilómetro, una tasa de atropellamientos superior a lo registrado en diversas vías carreteras de Latinoamérica, por ejemplo, dentro de las ANP de Calakmul y Balam-Kú, con un IKA de 0.0207 atropellos/km (Sánchez-Acuña y Benítez, 2021), en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, en Campeche con un IKA de 0.026 atropellos/km (Pozo-Montuy et al., 2021), en el bosque atlántico del Alto Paraná, en Argentina, con 0.025 atropellos/km (Bauni et al., 2017) o en una zona del bioma *Cerrado*, en Brasil con 0.009 mamíferos arrollados por km (da Silva et al., 2018). En contraste con los valores encontrados se contabilizaron mayores tasas en diversos sitios de México, tal es el caso

de Guerrero y Tabasco con IKA de 0.126 y 0.132 individuos atropellados/km, respectivamente (García-Sánchez et al., 2023; Pacheco et al., 2021). Así también en regiones del continente americano, por ejemplo, se detectaron 0.0546 individuos atropellados/km en una vía rodeada de pastizales y sabanas del estado de Portuguesa, Venezuela (Seijas et al., 2013), IKA de 0.04 en zonas de sabana inundable en la región Orinoquia de Colombia (Rojano-Bolaño y Ávila-Avilán, 2021) y 0.052 organismos atropellados/km en una porción del Bosque Atlántico en Brasil (Pessanha et al., 2023). Estas diferencias de valores de índices entre los estudios se pueden explicar, por un lado, en el hecho de que cada monitoreo presenta tramos y distancias recorridas distintas, así como distintos métodos para transitar por las vías, lo que modifica la posibilidad de detección de individuos atropellados (García-Sánchez et al., 2023), y por otra parte en que cada región cuenta con características particulares tanto en la riqueza y abundancia de especies, como de paisajes presente al margen de las carreteras. Por otro lado, las condiciones de las infraestructuras carreteras de cada sitio, las leyes de tránsito e inclusive la educación vial de cada región puede cambiar las tasas de atropellamiento en cada sitio (Pagany, 2020).

En el caso de la temporalidad, si bien durante los meses de lluvias se presentó un mayor número de individuos atropellados con respecto a los de secas, esta diferencia no es estadísticamente significativa, por lo que en ambas temporadas existe la misma probabilidad de encontrar mamíferos colisionados. Este resultado coincide con lo encontrado por otros estudios (da Silva et al., 2018; García-Sánchez et al., 2023), atribuyendo esto a una movilidad constante de los mamíferos durante todo el año en búsqueda de recursos alimenticios, refugio y cumplir con sus ciclos reproductivos (Prado et al., 2006) así como a factores relacionados a la degradación y la depredación por parte de carroñeros a los cadáveres en el asfalto (Santos et al., 2011). En contraste con lo anterior, en otros sitios a lo largo de México y Latinoamérica si se han registrado

diferencias entre la cantidad de mamíferos y otros grupos de vertebrados atropellados por temporada, en los cuales factores como el inicio de la época reproductiva y por ende mayor abundancia en las poblaciones incrementan el riesgo de atropellamiento en los meses lluviosos (Arroyave et al., 2006; Caceres et al., 2012), así como la escasez de recursos durante la sequía, lo cual influye en la necesidad de dispersarse y migrar por parte de los organismos, poniéndolos en un mayor riesgo de ser colisionados (Bueno y Almeida, 2010; Sánchez-Acuña y Benítez, 2021).

A pesar de que en el tramo dentro del APFF Meseta de Cacaxtla se contabilizaron más individuos, el tipo de protección en el paisaje adyacente a las vías monitoreadas no presentó diferencias significativas en la cantidad de organismos arrollados. Estudios previos han asociado un mayor número de atropellamientos, no obstante, en una revisión realizada en zonas áridas y semiáridas de Brasil, Santos et al. (2023), concluyeron que los registros de colisión en mamíferos incrementaban conforme se alejaban de las zonas protegidas, debido posiblemente a que las especies más afectadas son de hábitos generalistas y están mejor adaptadas a sitios alterados que otras especies, lo cual también podría ocurrir en nuestra zona de estudio. En México, Nahuat-Cervera y colaboradores (2021), registraron una abundancia de fauna atropellada del 75% fuera del área natural protegida y el 25% dentro de la reserva de la biosfera Ría Celestún, lo cual pone de manifiesto la importancia de mitigar por igual los posibles efectos de las carreteras en zonas protegidas y fuera de ellas.

La vegetación y uso de suelo dominante a los tramos carreteras monitoreados con más incidentes fue la agricultura, la cual representa una cobertura no natural, representando zonas con alto potencial de siniestros entre vehículos y fauna silvestre (Pacheco et al., 2021) debido a las condiciones favorables para especies con hábitos generalistas y oportunistas, como los

didélfidos o los prociónidos (de la Cruz-López, 2016) los cuales fueron las especies más afectadas en el presente estudio. Diversos estudios a nivel global concluyen que la cobertura vegetal alrededor de las carreteras juega un rol importante en las altas tasas de mortalidad, principalmente en vegetaciones abiertas, como pastizales o tierras de cultivo, aunque también se advierte que esto estaría relacionado a las preferencias de hábitat de cada especie, por lo que consideran evaluar esta relación a un nivel más específico, en especial en el caso de los mamíferos (Ascensão et al., 2019; Medrano-Vizcaíno et al., 2022).

En cuanto a las características de las vías, para el flujo vehicular se reportaron más colisiones en la carretera Federal Mex-15 en contraparte con la carretera estatal SIN-06, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas entre ambas. Sin embargo, en otras publicaciones se ha destacado que los tipos de caminos, el flujo vehicular y la velocidad a la cual transitan son factores clave en la abundancia de atropellamientos (De la Ossa y Galván, 2015; Ruíz-Ramírez et al., 2022). Para el caso de la sinuosidad, se reporta aquí la mayor ocurrencia de atropellos en tramos con dominancia de rectas, concordando con lo encontrado en distintas regiones del mundo (Sáenz et al., 2012; de la Cruz-López, 2016; Medrano-Vizcaíno et al., 2023), quienes consideran que los automovilistas conducen a mayor velocidad en carreteras rectas y por ende son menos propensos a observar y evitar impactos con la fauna silvestre, asimismo, en autopistas con baja sinuosidad y una mayor distancia entre curvas se ha reportado una mayor mortalidad en mamíferos y otros grupos de vertebrados (Pagany, 2020).

El monitoreo de mamíferos de mediano y gran tamaño al margen de las carreteras mediante fototrampeo mostró un total de 17 especies que ocupan o al menos transitan a una distancia de entre los 0 a 150 m de distancia de las carreteras en el área de estudio, lo cual es comparable a la riqueza encontrada en monitoreos realizados en la zona de influencia del APPF Meseta de

Cacaxtla mediante este mismo método, pero en zonas con cobertura vegetal conservada (Rubio y Bárcenas, 2010). Se destaca el registro de especies dentro de la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) como el tejón, el ocelote y el jaguar. Este último juega un rol clave como depredador tope en la cadena trófica y su presencia suele representar evidencia de un ecosistema con suficiente cobertura vegetal, especies que son sus presas y fuentes de agua cercana (Ceballos y Oliva, 2005; Manterola et al., 2011, Ceballos et al., 2022).

Las abundancias relativas encontrada para el venado cola blanca, el ocelote, el coyote, el pecarí de collar, el conejo de monte y de la zorra gris son mayores a lo encontrado en estudios realizados en San Ignacio, Sinaloa dentro del APPF Meseta de Cacaxtla y su área de influencia (Márquez, 2019; Alvarado-Hidalgo, 2021). Estas especies conformadas por herbívoros y mesodepredadores pueden estar más presente en las cercanías a las carreteras debido a la baja actividad de depredadores tope como el jaguar o el puma, los cuales presentaron un IAR bajo y que coincide con lo reportado por Brichieri-Colombi y Shelley (2021) quienes concluyen que los carnívoros evitan las carreteras a partir de 100 metros de distancia. Este proceso concuerda con la hipótesis del síndrome de “El bosque vacío”, (Redford, 1992) la cual explica un proceso de defaunación en las grandes selvas y bosques neotropicales por procesos de pérdida y fragmentación de hábitat donde se registra dominancia en especies herbívoras, como es el caso de el venado cola blanca, de carnívoros de talla chica o mediana, como es el caso del ocelote, coyote o la zorra gris y de roedores, cambiando la dinámica de las redes tróficas y ciclos biogeoquímicos en las comunidades donde este efecto se hace presente, originado principalmente por la ausencia de grandes depredadores (Pires y Galetti, 2023). En adición a esto, se tienen ejemplos en distintas zonas de Brasil, en las cuales las poblaciones de jaguar

sufren un decremento conforme sus hábitats potenciales se acercan o son fragmentadas por infraestructura vial (Espinosa et al., 2018).

Los parámetros de IAR, la riqueza de especies y los registros de especies clave, como el jaguar, pueden ser indicadores que las zonas cercanas a las carreteras son usadas como sitios de paso, corredores o hábitats establecidos para los mamíferos y otros vertebrados que enfrentan una presión por la fragmentación y deforestación de sus entornos originales, algo que ocurre en las selvas secas del sur de Sinaloa (Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez, 2010; Rubio et al., 2010).

Este estudio es pionero en asociar la abundancia y riqueza de mamíferos atropellados con respecto a los hallazgos registrados mediante fototrampeo al margen de las carreteras, donde se destaca que las especies de talla grande presentaron el mayor IAR, contrastando los registros de atropellamientos, los cuales en su mayoría fueron sobre mamíferos medianos. Los análisis arrojaron una asociación positiva entre la abundancia de atropellamientos y el IAR de los mamíferos por estaciones de fototrampeo, sin embargo, no mostró significancia estadística, por lo que no hay evidencia para aseverar que entre mayor sea la abundancia de los individuos cerca de las vías mayor será la posibilidad de que sufran una colisión con vehículos. En este sentido, existen trabajos enfocados en otros grupos como en el caso de reptiles en corredores de Colombia en donde determinaron las especies que utilizan los corredores biológicos cercanos a las carreteras no son especialmente susceptibles a morir atropelladas (López-Herrera et al., 2016). Por otro lado, diversas investigaciones ponen de manifiesto la necesidad de llevar a cabo evaluaciones demográficas de mamíferos a la par con los registros de colisiones en este grupo, como la abundancia analizada en este trabajo, para conocer con mayor veracidad el rol que desempeña esta problemática en la supervivencia a corto y largo plazo de las especies y poblaciones de mamíferos (Moore et al., 2023).

En general, la gran cantidad de mamíferos atropellados en distintas zonas del mundo (Polaco y Guzmán, 1993; Taylor y Goldingay, 2004; Sánchez-Acuña y Benítez, 2021; Silva et al., 2021; Ruiz-Ramírez et al., 2022; Rubio-Rocha et al., 2022) y en particular las especies mostradas en este estudio resalta el impacto negativo de las carreteras hacia este grupo, en especial a aquellas que mostraron ser más vulnerables, que se encuentran en alguna categoría de riesgo y que por lo tanto se requieren estudios constantes en el área de estudio para determinar los posibles efectos en las poblaciones de estos mamíferos silvestres a largo plazo.

X. CONCLUSIONES

Este estudio es el primero en llevar a cabo un monitoreo sistemático de los mamíferos de mediano y gran tamaño, tanto atropellados como de aquellos que habitan o tienen presencia cercana al margen de las infraestructuras viales, analizando los distintos factores relacionados a los atropellamientos como los atributos del paisaje y las características de las carreteras del sur del estado de Sinaloa.

Se registraron 34 mamíferos silvestres de mediano y gran tamaño atropellados en dos vías del municipio de San Ignacio, Sinaloa, México, pertenecientes a 10 especies, lo cual representa el 43% de las especies de este grupo que se distribuyen en todo el estado.

En el presente estudio las especies con mayores registros de atropellos fueron el tlacuache norteño y el mapache, sumando un 47% del total de colisionados.

En las carreteras monitoreadas, los mamíferos de talla mediana sufren significativamente más muertes por colisión, con una proporción de 16:1 en comparación de los mamíferos de talla grande.

No se encontró evidencia significativa de que la probabilidad de registrar eventos de colisión entre la temporada de lluvia y la seca sea diferente.

A pesar de que se observó un mayor número de colisiones en el tramo adyacente al APPF Meseta de Cacaxtla en comparación con los tramos correspondientes al Corredor Biológico y Sin Protección, no se encontraron diferencias estadísticas que evidencien de manera contundente que la mortalidad depende de la categoría de protección en la que se encuentre la carretera.

Tampoco hay evidencia de diferencias estadísticamente significativas que relacione los atropellamientos con el tipo de vegetación dominante ni del flujo vehicular de las carreteras monitoreadas del municipio de San Ignacio.

Se registró una mayor media de atropellamientos estadísticamente significativa en los tramos dominados por rectas en comparación a las curvas.

Se capturaron mediante fototrampeo 17 especies de mamíferos de mediano y gran tamaño al margen de las vías monitoreadas, siendo el 74% del total de especies de mamíferos terrestres que habitan en el estado de Sinaloa.

La relación entre la abundancia y riqueza de los organismos atropellados con respecto a los capturados con fototrampeo no es estadísticamente significativa; es decir que los mamíferos de mediano y gran tamaño con mayor ocurrencia en el margen de las carreteras no son más susceptibles a sufrir una colisión.

XI. PERSPECTIVAS

De acuerdo con lo obtenido en este estudio, se pone de manifiesto la importancia de realizar evaluaciones sistemáticas como las aquí presentadas en distintas vías carreteras del estado de Sinaloa y en diversos grupos taxonómicos, como el caso de reptiles, anfibios y aves, para conocer los posibles efectos de los atropellamientos en sus poblaciones.

De igual manera, se evidencia la necesidad de llevar a cabo evaluaciones demográficas de mamíferos a la par con los registros de colisiones en este grupo a largo plazo, para conocer con mayor profundidad el de esta problemática en la supervivencia a corto y largo plazo de las poblaciones y las especies de mamíferos.

Asimismo, se considera necesario realizar evaluaciones a nivel especie, principalmente en aquellas que resultaron más vulnerables a los eventos de atropellamiento o que su IAR es alto al margen de las carreteras, realizando modelos que permitan conocer a detalle su desplazamiento por estos sitios.

Finalmente, como prioridad de este tipo de estudios, se deben implementar medidas de prevención y mitigación para reducir los atropellamientos en los mamíferos y en la fauna silvestre en general, mediante un estudio sistemático que revele los puntos clave en los tramos carreteros para la ejecución de pasos de fauna, reductores de velocidad, señaléticas y las propuestas que sean pertinentes, de manera conjunta con las dependencias gubernamentales, instituciones educativas privadas y de la sociedad civil.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado-Hidalgo, D. A. (2021). Densidad poblacional del jaguar (*Panthera onca*) y percepción comunitaria en San Ignacio, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Unidad Académica Facultad de Biología. 53 pp.
- Antworth, R. L.; Pike, D. A. y Stevens, E. E. (2005). Hit and run: effects of scavenging on estimates of roadkilled vertebrates. *Southeastern Naturalist*, 4(4), pp. 647-656. [https://doi.org/10.1656/1528-7092\(2005\)004\[0647:HAREOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1656/1528-7092(2005)004[0647:HAREOS]2.0.CO;2).
- Arroyave, M. D. P.; Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C. y Ramos, K. C. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA*. 5: 45-57.
- Ascensão, F., Mata, C., Malo, J. E., Ruiz-Capillas, P., Silva, C., Silva, A. P., Santos-Reis, M. & Fernandes, C. (2016). Disentangle the Causes of the Road Barrier Effect in Small Mammals through Genetic Patterns. *PLOS ONE*, 11, e0151500.
- Ascensão, F., Yogui, D., Alves, M., Medici E. M. y Desbiez, A. (2019). Predicting spatiotemporal patterns of road mortality for medium-large mammals. *Journal of Environmental Management*, Volume 248, 2019, 109320, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109320>
- Bager, A. y Alves da Rosa, C. (2010). Priority ranking of road sites for mitigating wildlife roadkill. *Biota Neotropica*. 10. (6). <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000400020>
- Balčiauskas L., Kučas A. y Balčiauskienė L. (2024). Trends and Characteristics of Human Casualties in Wildlife–Vehicle Accidents in Lithuania, 2002–2022. *Animals*, 14(10):1452. <https://doi.org/10.3390/ani14101452>.

- Balkenhol, N. y Waits, L. P. (2009). Molecular road ecology: exploring the potential of genetics for investigating transportation impacts on wildlife. *Molecular Ecology*, 18, 4151-4164.
- Barcénas, H. V., Rubio-Rocha, Y., Nájera-Solís, E., Damían, L. J. L., & Legorreta, R. M. (2009). Ampliación de la distribución de tres carnívoros en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Epoca)*, 13(1), 115-115. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2009.13.1.41>
- Barrientos, R., y Bolonio, L. (2009). The presence of rabbits adjacent to roads increases polecat road mortality. *Biodiversity and Conservation*. 18 (2): 405-418.
- Bauni, V.; Anfuso, J. y Schivo, F. (2017). Mortalidad de fauna Silvestre por atropellamientos en el bosque Atlántico del Alto Paraná, Argentina. *Ecosistemas. Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 26(3), pp. 54-66.
- Benítez, J., Alexander, S., Pozo-Montuy, G. & Sánchez-Acuña, M. (2021). Vías de comunicación terrestres vs. fauna: La experiencia global. In: Jorge A. Benítez, G. E.-S. (ed.) *Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas: Estudios de caso para el sureste de México*. Campeche, Campeche, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Bennett, A. F. (1991). Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. See Ref. 111, pp. 99–11.
- Blackburn, A., Anderson, C.J., Veals, A.M., Tewes, M. E., Wester D. B., Young Jr J. H., DeYoung R. W., Perotto-Baldivieso H. L. (2021). Landscape patterns of ocelot–vehicle collision sites. *Landscape Ecol* 36, 497–511 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01153-y>
- Brichieri-Colombi, T. A. y Shelley M. A. (2021). Distribución de especies en la zona de efecto de la carretera 186, en la región de Calakmul. En: Jorge A. Benítez, G. E.-S. (ed.)

Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas: Estudios de caso para el sureste de México. Campeche, Campeche, México: El Colegio de la Frontera Sur.

Briones-Salas, M., I. Lira-Torres, R. Carrera-Treviño y G. Sánchez-Rojas. 2016. Abundancia relativa y patrones de actividad de los felinos silvestres en la selva de los Chimalapas, Oaxaca, México. *THERYA*. Vol. 7 (1).

Bruinderink, G. W. T. A. G., & Hazebroek, E. (1996). Ungulate Traffic Collisions in Europe. *Conservation Biology*, 10(4), 1059–1067. doi:10.1046/j.1523-1739.1996.10041059.x

Bueno, C., & Almeida, P. J. A. L. (2010). Sazonalidade de atropelamentos e os padrões de movimentos em mamíferos na BR-040 (Rio de Janeiro-Juiz de Fora). *Revista Brasileira de Zoociências*, 12(3), 219–226.

Cáceres, N. C., Casella, J., & Goulart, C. S. (2012). Variação espacial e sazonal em atropelamentos de mamíferos no bioma cerrado, rodovia BR 262, Sudoeste do Brasil. *Mastozoología Neotropical*, 19(1), 1–12.

Carvajal, A.V. y Díaz, Q. F. (2013). Atropello de Mamíferos Silvestres en la Ruta de acceso al Cantón de Liberia, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Ventana*, 7(1), 12-14.

Ceballos, G. y N. Saldívar. (2022). Mamíferos de las selvas secas de la costa del Pacífico mexicano, guía de campo. UNAM-INECOL-ANCJ-Fundación TELMEX, México.

Ceballos, G., y A. Miranda. (2000). Guía de campo de los mamíferos de la costa de Jalisco. Fundación Ecológica de Cuixmala A.C. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecológica. 502 pp.

Ceballos, G., y G. Olivas (Coords.). (2005). Los mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)/Fondo de Cultura Económica. Distrito Federal, México.

- Ceballos G, Zarza H, González-Maya J.F., de la Torre J.A., Arias-Alzate A., Alcerreca C., et al. (2021) Beyond words: From jaguar population trends to conservation and public policy in Mexico. PLoS ONE 16(10): e0255555. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255555>
- Center for Investment & Trade Sinaloa (CIT). (2017). ¿Por qué Sinaloa? Infraestructura logística. En <https://citsinaloa.gob.mx/infraestructura-logistica/> Consultado el 13 de noviembre de 2022.
- Cervantes-Huerta, R., & Durán-Antonio, J. (2022). Seasonal variation of mammal roadkill hotspots in the Sierra Madre Occidental, México. *Therya Notes*, 3, 70-74. https://doi.org/10.12933/therya_notes-22-73
- Céspedes-Flores, S. E. y Moreno-Sánchez, E. (2010). Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación ambiental*. 2 (2): 5-13.
- Challenger, A. y J. Soberón. (2008). Los ecosistemas terrestres, en *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 87-108.
- Chuquiguanga-Auquilla, M.C. (2024). La infraestructura vial en las teorías y enfoques del desarrollo: una síntesis desde la literatura. *Epistemia Revista Científica*, 8(1), 86-96. <https://doi.org/10.26495/re.v8i1.2703>
- Clements, G., Lynam, A., Gaveau, D., Yap, W., Lhota, S., Goosem, M., y Laurance, W. 2014. Where and How Are Roads Endangering Mammals in Southeast Asia's Forests?. *PloS one*, 9(12): e115376.
- 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* 54:689-699. <https://doi.org/10.1007/s10344-008-0197-4>

- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15, 396-406.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2016). Programa de Manejo. Área de Protección de Flora y Fauna Meseta de Cacaxtla. 249 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2010). En: Información Estadística Climatológica, Mapa Digital. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL25084.TX>
T. Consultado el 04 de Abril de 2023.
- Conover, M. R. (2019) "Numbers of Human Fatalities, Injuries, and Illnesses in the United States Due to Wildlife," *Human–Wildlife Interactions*: Vol. 13: Iss. 2, Article 12. DOI: <https://doi.org/10.26077/r59n-bv76>
- Cruz-Salazar, B., Ruiz-Montoya, L., Navarrete-Gutiérrez, D., & Vázquez, L. B. (2016). Influence of the composition and structure of modified landscapes on abundance of two marsupials during the dry season. *Therya*, 7(3), 393-406. <https://doi.org/10.12933/therya-16-401>
- da Silva Zanzini, A. C., Machado, F. S., de Oliveira, J. E., & de Oliveira, E. C. M. (2018). Roadkills of medium and large-sized mammals on highway Br-242, Midwest Brazil: a proposal of new indexes for evaluating animal roadkill rates. *Oecologia Australis*, 22(03), 248–257. <https://doi.org/10.4257/OECO.2018.2203.04>
- De la Cruz-López, S. (2016). Variables de las carreteras y del paisaje relacionadas con las colisiones de mamíferos terrestres en la planicie tabasqueña. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas.

- De la Ossa, J., y S. Galván. (2015). Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo – Ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colombiana* 16:67-77.
- De la Ossa-Nadjar, O. y De la Ossa, V. J. (2013). Fauna silvestre atropellada en dos vías principales que rodean los montes de María, Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 5(1), pp. 158-164.
- Dean, W. R. J. & Milton, S. J. (2003). The importance of roads and road verges for raptors and crows in the Succulent and Nama-Karoo, South Africa. *Ostrich*, 74, 181-186.
- 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-Basel*, 11, 19.
- Espinosa S, Celis G, Branch LC (2018) When roads appear jaguars decline: Increased access to an Amazonian wilderness area reduces potential for jaguar conservation. *PLOS ONE* 13(1): e0189740. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189740>
- Fahrig, L. & Rytwinski, T. (2009). Effects of Roads on Animal Abundance: an Empirical Review and Synthesis. *Ecology and Society*, 14, 21.
- Forman, R. T. T. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- Forman, R. T. T. (1998). Road ecology: a solution for the giant embracing us. *Landscape Ecology* 13(4): 3-5.
- Forman, R. T. T. y Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, pp. 207-231.
- García-Sánchez, S., Juárez-Agis, A., Alvarez-Alvarez, E. A., Oliver Salome, B., Zeferino Torres, J., Rivas González, M., & Osorio Rodriguez, 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>
- Gaston, K. J., Davies, T. W., Bennie, J. & Hopkins, J. (2012). REVIEW: Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments. *Journal of Applied Ecology*, 49, 1256-1266.
- González, B. M.; I. C. Sapiéns; V. M. Salomón. (2002). Mamíferos terrestres en Sinaloa. En: Atlas de la Biodiversidad de Sinaloa. Ed. Cifuentes, J. L. y Gaxiola J. L. El Colegio de Sinaloa. 429 pp.
- González-Gallina, A. & Hidalgo-Mihart, Mircea 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., Koroleva, E., Andrášik, R., Bíl, M., González-Suárez, M. (2020). Roadkill risk and population vulnerability in European birds and mammals. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(6), 232–328. <https://doi.org/10.1002/fee.2216>
- 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, 2200–2210. <https://doi.org/10.1111/geb.13375>
- Harris, L. D. y Gallagher, P. B. (1989). New initiatives for wildlife conservation. The need for movement corridors. En: Anonymous In defense of wildlife: Preserving communities and corridors (pp. 11-34). *Defenders of Wildlife: Washington D. C.*
- Herbert, C. (2015). Pocket guide to the mammals of North America. *National Geographic*. 182 pp.
- Hill, J. E., Devault, T. L. & Belant, J. L. (2019). Cause-specific mortality of the world's terrestrial vertebrates. *Global Ecology and Biogeography*, 28, 680-689.

Holderegger, R. & Di Giulio, M. (2010). The genetic effects of roads: A review of empirical evidence. *Basic and Applied Ecology*, 11, 522-531.

Instituto Mexicano de Transporte (IMT). (2023). Red Nacional de Caminos. Representación cartográfica en formato digital y georreferenciada de la red nacional de caminos. <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>. Consultado el 10 de septiembre de 2024.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Ignacio, Sinaloa. Clave geoestadística 25016. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/25/25016.pdf. Descargado el 10 de marzo de 2020.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Longitud de la red carretera por municipio según tipo de camino y superficie de rodamiento. https://www.inegi.org.mx/app/cuadroentidad/Sin/2021/22/22_1. Consultado el 13 de noviembre de 2022.

Jiménez, A., & List, R. (2005). *Taxidea taxus* (Shreber, 1777). En G. Ceballos & G. Oliva (Eds.), *Los Mamíferos Silvestres de México* (pp. 384-385). FCE-CONABIO.

Langbein, J., Putman, R., Pokorny, B., (2011). Traffic collisions involving deer and other ungulates in Europe and available measures for mitigation. In Putman R, Apollonio M, Andersen R (eds.). *Ungulate Management in Europe, Problems and Practices*. Cambridge University Press. Chapter 8. pp 215–259.

Lawson, N. (2018). Roadside assistance. Millions of animals die in the road. How can we help? The Humane Society of the United State.

<https://www.humanesociety.org/news/roadside-assistance>. Consultado el 10 de noviembre de 2022.

Ley-Quiñónez, C.P., Meza-González, E., Hart, C.E., Zavala-Norzagaray, A.A. (2023). New distribution records for three mesocarnivores in the state of Sinaloa, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 10, e1508. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1508>

López-Herrera, D. F., León-Yusti, M., Guevara-Molina, S. C. y Vargas-Salinas F. (2016). Reptiles en corredores biológicos y mortalidad por atropellamiento vehicular en Barbas-Bremen, Quindío, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(156):484-493. doi: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.334>

Maffei, L., E. Cuellar, y J. Noss. (2002). Uso de trampas cámara para la evaluación de mamíferos en el ecotono Chaco-Chiquitanía. *Revista Boliviana de ecología y conservación* 11:55-65.

Manterola, C., Conde D., Colchero, F., Rivera-Cisneros, A., Huerta, E., Soler, A. y Pallares, E. (2011). El jaguar como elemento estratégico para la conservación. México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 128 pp.

Márquez, J. (2019). Abundancia relativa y patrones de actividad de mamíferos del “Rancho Las Palomas” en el Área Natural Protegida Meseta de Cacaxtla. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Unidad Académica Facultad de Biología. 62 pp.

McManus, John J. *Didelphis virginiana*. 1974. *Mammalian Species*, Issue 40. Pages 1–6, <https://doi.org/10.2307/3503783>

Medina, M. A. (2021). Webinar Tercer Taller de Ecología de Carreteras.

- Medrano-Vizcaíno, P., Grilo, C., Brito-Zapata, D y González-Suárez, M. (2023). Landscape and road features linked to wildlife mortality in the Amazon. *Biodivers Conserv.* 32, 4337–4352. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02699-4>
- Medrano-Vizcaíno, P., Grilo, C., Silva Pinto, F. A., Carvalho, W. D., Melinski, R. D., Schultz, E. D., y González-Suárez, M. (2022). Roadkill patterns in Latin American birds and mammals. *Global Ecology and Biogeography*, 31, 1756–1783. <https://doi.org/10.1111/geb.13557>
- Monroy, M. C., de la Ossa-Lacayo, A., y de la Ossa-Lacayo, J. (2015). Tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía san Onofre–María la baja, Caribe Colombiano. *Revista de la asociación colombiana de ciencias biológicas*, 1(27): 88-95.
- Monroy-Ata, A. & Peña, J. (2005). Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. 8, 91-98.
- Moore, L.J., Petrovan, S.O., Bates, A.J., Hicks, H.L., Baker, P.J., Perkins, S.E. and Yarnell, R.W. (2023), Demographic effects of road mortality on mammalian populations: a systematic review. *Biol Rev*, 98: 1033-1050. <https://doi.org/10.1111/brv.12942>
- Murray, J.L. y G.L. Gardner. (1997). “*Leopardus pardalis*”, *Mammalian Species* 548:1-10.
- Nahuat-Cervera, P. E., Avilés-Novelo J. R. y Cedeño-Vázquez, J. R. (2021). Atropellamiento de vertebrados en la carretera Kinchil-Celestún, Yucatán. En: Jorge A. Benítez, G. E.-S. (ed.) *Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas: Estudios de caso para el sureste de México*. Campeche, Campeche, México: El Colegio de la Frontera Sur.

- Nowak, R.M. (1999). Walker's mammals of the world, Vol. 1. Johns Hopkins University Press, Baltimore & London. 1, 936 pp.
- Núñez, R.; B. Miller y F. Lindzey. (2000). Food habits of jaguars and pumas in Jalisco, Mexico. *Journal of Zoology* 252, p 373 379.
- Obando, J. M. (2022). Configuración espacial y ecológica del atropellamiento de fauna silvestre en vías periurbanas de los Andes colombianos (Envigado, Valle de Aburrá, Colombia). Tesis de magister. Departamento de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Pacheco-Figueroa, C. J., Luna-Ruiz, R. del C., Valdez-Leal, J. de D., Saenz J. C., Gordillo-Chávez, E. J., Moguel-Ordóñez, E., Gama-Campillo, L. M., Mata-Zayas, E. E., Rangel-Ruiz, L. J., Santiago-Plata, V. M. (2021). Puntos de alta siniestralidad de vertebrados en la carretera costera de Tabasco. En Jorge A. Benítez, G. E.-S. (ed.) Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas: Estudios de caso para el sureste de México. Campeche, Campeche, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Pagany, R. (2020). Wildlife-vehicle collisions - Influencing factors, data collection and research methods. *Biol Conserv* 251:108758. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2020.108758>
- Pérez-Irineo, G. y Santos-Moreno, A. (2015). El ocelote: el que está marcado con manchas. CONABIO. *Biodiversitas*, 117:7-5
- Pessanha, L. A., Ferreira, M. S., Bueno, C., Leandro, F. da S., & Gomes, D. F.. (2023). Danger under wheels: mammal roadkills in the threaten lowland Atlantic Forest in southeast Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, 113, e2023007. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2023007>

Pires, M. y Galetti, M. (2023). Beyond the “empty forest”: The defaunation síndromes of Neotropical forests in the Anthropocene. *Global Ecology and Conservation*, Volume 41, ISSN 2351-9894, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02362>.

Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES). (2019). Resumen para los encargados de la formulación de políticas del informe de la evaluación mundial de la IPBES sobre la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages.

Polaco, O. J. y Guzmán, A. F. (1993). Mortalidad anual de mamíferos en una carretera al sur de Nuevo León. En: Medellín, R. A. y Ceballos, G. (eds.). *Avances en el estudio de los mamíferos mexicanos* (pp. 395-408). Publicaciones Especiales, Asociación Mexicana de Mastozoología: México.

Pozo-Montuy, G., Guzmán-Aguirre, C. C., Téllez-Torres G. y Peralta-Munguía R. (2021). Atropellamiento de fauna silvestre en la carretera Villahermosa-Zacatal, subtramo Atasta, dentro del APFF Laguna de Términos. En Jorge A. Benítez, G. E.-S. (ed.) *Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas: Estudios de caso para el sureste de México*. Campeche, Campeche, México: El Colegio de la Frontera Sur.

- Quinn, G. P. y Keough, M. J. (2004). *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Redford, K.H., 1992. The empty forest. *Bioscience* 42, 412–422.
- Rodrigues do Prado, T., Achtschin Ferreira, A., & Sobrinha Guimarães, Z. F. (2006). Efeito da implantação de rodovias no cerrado brasileiro sobre a fauna de vertebrados. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 28(3),237-241. ISSN: 1679-9283. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=187115765007>
- Rojano-Bolaño, C., & Ávila-Avilán, R. (2021). Mortalidad de vertebrados silvestres por atropellamiento en el departamento de Casanare, Colombia. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(42), 27–40. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss42.4>
- Rubio Rocha Y., S. G. (2022). First records of road-killed mammals in the state of Sinaloa, México. *THERYA NOTES*, Vol. 3 : 53-58.
- Rubio, Y. y H. Bárcenas. (2010). Censo Nacional del Jaguar (*Panthera onca*) y sus presas, San Ignacio Sinaloa, México. Informe técnico, CONANP.
- Rubio, Y., H. Bárcenas y A. Beltrán. (2010). Llanura del Pacífico-Pie de la Sierra de Sinaloa. En Gerardo Ceballos et al. 2010 (Eds.). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. F.C.E. México. pp 405-420.
- 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

- Ruíz-Ramírez, L., González-Gallina, A., Soto, V., Pacheco-Figueroa, C. J., & 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, 82-86. https://doi.org/10.12933/therya_notes-22-75
- Rytwinski, T. y Fahrig, L. (2012). Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. *Biological Conservation*, 147(1): 87–98.
- Rzedowski, J., (2006). *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Sáenz, J., Langen T. y Torres, L. (2012). Atropellamientos de vertebrados y posibles medidas de mitigación en el Área de Conservación Guanacaste. San José, Costa Rica, UNED. 70 p.
- Sánchez-Acuña, M. y Benítez J. A. (2021). Mortalidad de fauna por atropello sobre la carretera 186, en las reservas de Calakmul y Balam-kú, Campeche, México. En Eds. Benítez, J. A. y Escalona-Segura, G. *Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas. Estudios de caso para el sureste de México*. Campeche, México: El Colegio de la Frontera Sur, 2021.
- Sanderson, J. y G. Harris. (2013). Automatic data organization, storage, and analysis of camera trap pictures. *Journal of Indonesian Natural History*. Vol. 1 No. 1. Pp 11-19.
- Santos, S. M., Carvalho, F., & Mira, A. (2011). How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. *PLoS ONE*, 6(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025383>

- 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, 780. <https://doi.org/10.3390/d15060780>
- Schmidt, G.M., Lewison, R.L. y Swarts, H.M. (2020). Identifying landscape predictors of ocelot road mortality. *Landscape Ecol* 35, 1651–1666. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01042-4>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2020). Datos Viales 2023. <http://datosviales2020.routedev.mx/main> Consultado el 20 de septiembre de 2024.
- Seijas, A. E.; Araujo-Quintero, A. y Velásquez, N. (2013). Mortalidad de vertebrados en la carretera Guanare-Guanarito, estado Portuguesa, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 61, pp. 1-18.
- Seiler, A. (2001). *Ecological Effects of Roads: A review*. Introductory Research Essay, Department of Conservation Biology. SLU. 9, 40 pp.
- Silva, I., Crane, M. & Savini, T. 2021. The road less traveled: Addressing reproducibility and conservation priorities of wildlife-vehicle collision studies in tropical and subtropical regions. *Global Ecology and Conservation*, 27, 12.
- Sistemas De Información Geográfica Para La Planeación Y Ordenamiento Del Territorio S.A. De C.V. (2014). *Atlas de riesgos: San Ignacio, Sinaloa*. Tercera Edición. 119 pp.
- Spellerberg, I.F. (1998). Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology & Biogeography Letters*. 7: 317–333.

- Taylor, B. D. y Goldingay, R. L. (2010). Roads and wildlife: impacts, mitigation and implications for wildlife management in Australia. *Wildlife Research*, 37, 320-331.
- Taylor, B. y Goldingay, R. (2004). Wildlife roadkills on three major roads in North-Eastern New South Wales. *Wildlife Research*. 31: 83-91.
- Teixeira, F. Z., Rytwinski, T. & Fahrig, L. (2020). Inference in road ecology research: what we know versus what we think we know. *Biology Letters*, 16, 8.
- van der Ree, R., Jaeger, J. A. G., van der Grift, E. A. & Clevenger, A. P. (2011). Effects of Roads and Traffic on Wildlife Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales. *Ecology and Society*, 16, 9.
- van der Zande, A. N., ter Keurs J., van der Weijden W.J. (1980). The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat—evidence of a long distance effect. *Biol. Conserv.* 18:299–321.
- Zarza, H., y R. A. Medellín. (2005). *Didelphis virginiana* (Kerr 1792) Tlacuache. En: *Los mamíferos silvestres de México* (Ceballos, G., and G. Oliva, eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México, México. Pp. 108-110.

XIII. ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico de las especies atropelladas en el sitio de estudio. a) Lince, b) armadillo nueve bandas, c) liebre antílope, d) conejo de monte e) mapache, f) coatí, g) tejón, h) tlacuache, i) ocelote y j) zorrillo de espalda blanca norteño.



