



# Universidad de Caldas

VERTEBRADOS SILVESTRES ATROPELLADOS EN COLOMBIA: REVISIÓN HISTÓRICA Y EVALUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA EN UN TRANSECTO ALTITUDINAL EN LA CORDILLERA CENTRAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS (COLOMBIA)

TESIS QUE PRESENTA **ANDRÉS FERNANDO TAMAYO ZULUAGA**

PARA OBTENER EL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Manizales, Caldas, Colombia (febrero, 2024)

## AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Héctor E. Ramírez-Chaves por su orientación y apoyo durante este proceso. Al proyecto: Identificación de los vertebrados muertos en vías de transporte en el Área Metropolitana de Manizales, Caldas, Colombia. Proyecto del Semillero de Investigación en Mastozoología SIMAS, financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados de la Universidad de Caldas, código: 0126021. Gracias a la Sociedad Colombiana de Etnobiología y al Zoologische Gesellschaft für Arten und Populationsschutz (ZGAP) por el apoyo brindado en la realización de parte de este proyecto.

## DEDICATORIA

¡Dedicada a todos mis seres amados! Sobre todo, a mis padres, a mi hermana y sobrinos. Dedicado a Tatiana Velásquez Roa por ser mi compañera de vida, por ayudarme a crecer como persona, científico e investigador.

.....A mi padre, madre, hermana, sobrinos y Tati

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Excepto cuando es explícitamente indicado en el texto, el trabajo de investigación contenido en esta tesis fue efectuado por Andrés Fernando Tamayo Zuluaga como estudiante de la Maestría en Ciencias Biológicas entre enero de 2020 y marzo de 2022, bajo la supervisión y orientación de Héctor E. Ramírez-Chaves.

Las investigaciones reportadas en esta tesis no han sido utilizadas anteriormente para obtener otros grados académicos, ni serán utilizadas para tales fines en el futuro.

Candidato(s):	Nombre	Andrés Fernando Tamayo Zuluaga
---------------	--------	--------------------------------

---

Director de tesis:	Nombre	Héctor Emilio Ramírez Chaves
--------------------	--------	------------------------------

---

## RESUMEN

El rápido aumento del crecimiento económico mundial ha provocado un importante deterioro de todos los ecosistemas y un incremento en las interacciones negativas entre el hombre y la fauna. Uno de los principales factores de riesgo sobre las poblaciones de fauna consiste en la expansión de las vías como principal fuente de desarrollo. Esto ha causado graves problemas a la biodiversidad, relacionados con la muerte directa y otras afectaciones secundarias sobre los ensamblajes de fauna silvestre mediados por la construcción y uso de las carreteras. A pesar de los efectos negativos de las carreteras sobre miles de individuos de fauna silvestre a nivel mundial, las especies podrían presentar una variación positiva o negativa como respuesta a la combinación de factores ambientales (e.g. topografía, vegetación circundante, geometría vial), de comportamiento y fisiológicos, sin embargo, no es claro cómo se da esta relación, por lo tanto el objetivo de este trabajo, buscó compilar estudios e investigaciones relacionados con fauna silvestre atropellada, impactos generados por las vías sobre la fauna silvestre en Colombia, y consolidar la información de las principales temáticas evaluadas, los sitios de estudio y una lista con las especies de fauna silvestre atropelladas en Colombia. Además, se realizó el registro de la mortalidad de fauna silvestre atropellada, patrones de abundancia y características de una vía de 46 kilómetros durante 15 meses sobre zonas agrícolas, urbanas, industriales y áreas protegidas en el departamento de Caldas. Encontramos 45 estudios hasta noviembre de 2021 relacionados con las vías y la fauna silvestre en Colombia. Más de la mitad ( $n = 27$ ; 60 %) de estos estudios se limitaron a registrar datos de mortalidad y se desarrollaron en 17 de los 32 departamentos de Colombia. La falta de estudios en determinadas regiones geográficas, la utilización de diferentes metodologías, escasos estudios enfocados en determinar las causas son algunos de las dificultades que poseemos para tener un panorama claro sobre esta problemática. La región Andina cuenta con el mayor número de estudios ( $n = 20$ ). En total se han documentado 191 especies atropelladas en Colombia entre anfibios, aves, mamíferos y reptiles. A partir de los recorridos en campo se registraron 70 individuos aparentemente atropellados por vehículos pertenecientes a 26 especies de vertebrados. Los mamíferos fueron los más atropellados con 33 registros y 11 especies. La zarigüeya común, *Didelphis marsupialis*, fue la especie con mayor número de registros ya que representó el 20 % del total de los eventos de atropellamiento. En curvas de transición y áreas agrícolas ocurrió el mayor número de individuos atropellados. Factores como

la poca visibilidad, la velocidad a la que los vehículos transitan en estas curvas y el recurso alimenticio que proveen las zonas agrícolas, influyen sobre el número de individuos atropellados. Nuestro estudio genera grandes aportes al conocimiento de la fauna silvestre atropellada en Colombia, identificando cuales han sido los especímenes más atropellos e identificamos posibles variables que facilitan la colisión de vehículos con la fauna silvestre.

Palabras Claves: Atropellamiento, Conflicto, Desarrollo, Fauna silvestre, Vías.

## ABSTRACT

The rapid increase in global economic growth has led to a significant deterioration of all ecosystems and an increase in negative human-wildlife interactions. One of the main risk factors for wildlife populations is the expansion of roads as a major source of development. This has caused serious problems to biodiversity, related to the direct death and other secondary effects on wildlife assemblages mediated by the construction and use of roads. Despite the negative effects of roads on thousands of wildlife individuals worldwide, species may exhibit positive or negative variation in response to a combination of environmental factors (e.g., topography, surrounding vegetation, and the presence of roadways). However, it is not clear how this relationship occurs. Therefore, the objective of this work was to compile studies and research related to wildlife roadkill, impacts generated by roads on wildlife in Colombia, and to consolidate the information on the main topics evaluated, the study sites and a list of the species of wildlife roadkill in Colombia. In addition, a record was made of wildlife mortality, abundance patterns and characteristics of a 46-kilometer road during 15 months over agricultural, urban, industrial, and protected areas in the department of Caldas. We found 45 studies until November 2021 related to roads and wildlife in Colombia. More than half ( $n = 27$ ; 60 %) of these studies were limited to recording mortality data and took place in 17 of Colombia's 32 departments. The lack of studies in certain geographic regions, the use of different methodologies, and the scarcity of studies focused on determining the causes are some of the difficulties we have in order to have a clear picture of this problem. The Andean region has the largest number of studies ( $n = 20$ ). A total of 191 species of amphibians, birds, mammals, and reptiles have been documented in Colombia. From the field surveys, 70 individuals apparently roadkill by vehicles belonging to 26 vertebrate species were recorded. Mammals were the most frequently roadkill with 33 records and 11 species. The common opossum, *Didelphis marsupialis*, was the species with the highest number of records, accounting for 20% of the total number of hit-and-run events. The highest number of roadkill events occurred in transition curves and agricultural areas. Factors such as poor visibility, the speed at which vehicles travel in these curves and the food resources provided by agricultural areas influence the number of individuals roadkills. Our study generates great contributions to the knowledge of roadkill wildlife in Colombia, identifying which have been the most roadkill specimens and identifying possible variables that facilitate the collision of vehicles with wildlife.

Keywords: Conflict, Development, Roads, Roadkill, Wildlife.



TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO.....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>23</b>
RESUMEN.....	23
INTRODUCCIÓN .....	26
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
RESULTADOS.....	32
DISCUSIÓN.....	36
LITERATURA CITADA.....	42
<i>FIGURAS</i> .....	54
<i>TABLAS</i> .....	60
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>63</b>
RESUMEN.....	63
INTRODUCCIÓN .....	65
MATERIALES Y MÉTODOS.....	67
RESULTADOS.....	69
DISCUSIÓN.....	71
LITERATURA CITADA.....	76
<i>FIGURAS</i> .....	83
<i>TABLAS</i> .....	89
<b>CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>93</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>95</b>

<b>ANEXOS</b> .....	<b>96</b>
<b>MATERIAL SUPLEMENTARIO</b> .....	<b>99</b>

#### LISTA DE FIGURAS CAPITULO I

<b>FIGURA 1.</b> Tipos de estudios realizados en Colombia que relaciona la fauna silvestre con las vías .....	<b>54</b>
<b>FIGURA 2.</b> Estudios publicados por año, relacionados con la infraestructura vial y la fauna silvestre en Colombia. ....	<b>55</b>
<b>FIGURA 3.</b> Estudios de atropellamiento de fauna silvestre realizados en Colombia de acuerdo con el grupo taxonómico.....	<b>56</b>
<b>FIGURA 4.</b> Registros de fauna silvestre atropellada en Colombia entre el 2006 y el primer semestre de 2022. ....	<b>57</b>
<b>FIGURA 5.</b> Abundancia de especies registradas atropelladas en las diferentes regiones naturales de Colombia. ....	<b>57</b>
<b>FIGURA 6.</b> Abundancia y número de especies registradas atropelladas en Colombia por categoría altitudinal. I = 0-499 m, II = 500-999 m, III = 1000-1499 m, IV = 1500-1999 m, V = > 2000 m ..	<b>58</b>
<b>FIGURA 7.</b> Número de estudios realizados por subtema sobre la relación de la fauna silvestre con las vías en Colombia. ....	<b>59</b>

#### LISTA DE FIGURAS CAPITULO II

<b>FIGURA 1.</b> Mapa de la vía de estudio y sus respectivos usos de la tierra. ....	<b>83</b>
<b>FIGURA 2.</b> Registros de atropellamiento con respecto al rango altitudinal de la vía de estudio...	<b>84</b>

<b>FIGURA 3.</b> Abundancia de individuos atropellados por orden taxonómico en la variable altitudinal. .....	<b>85</b>
<b>FIGURA 4.</b> Número de individuos atropellados en las diferentes formaciones geométricas que conforman la vía de estudio. ....	<b>85</b>
<b>FIGURA 5.</b> Relación del número de individuos atropellados con la geometría de la vía por kilómetro. ....	<b>86</b>
<b>FIGURA 6.</b> Relación del tamaño de las coberturas en la vía con el número de especies atropelladas. .....	<b>87</b>
<b>FIGURA 7.</b> Número de individuos por clase registrados en cada una de las coberturas vegetales, basados en los usos de la tierra.....	<b>88</b>

#### LISTA DE TABLAS CAPITULO I

<b>TABLA 1.</b> Especies de fauna silvestre amenazadas en Colombia registradas como atropelladas en los estudios revisados. ....	<b>60</b>
<b>TABLA 2.</b> Número de estudios relacionados con las vías y fauna silvestre en los departamentos de Colombia .....	<b>61</b>
<b>TABLA 3.</b> Número de estudios realizados en Colombia, por región, subtema e índice calculado de vacío de información.....	<b>62</b>

#### LISTA DE TABLAS CAPITULO II

<b>TABLA 1.</b> Tramos de vía en los que fueron realizados los muestreos (fuente: iNVIAS 2016) .....	<b>89</b>
<b>TABLA 2.</b> Riqueza, abundancia e índice relativo de mortalidad (IRM), de especies atropelladas en la vía de estudio.....	<b>90</b>

<b>TABLA 3.</b> Cobertura vegetal basada en los usos de la tierra y área en un buffer de 400 metros en relación con la vía de estudio y su relación con el número de especies atropelladas. ....	<b>91</b>
<b>TABLA 4.</b> Análisis de varianza ANOVA de un solo factor, relación de los atropellos con las variables geométricas de la vía, rangos altitudinales y usos de la tierra. ....	<b>92</b>

#### MATERIAL SUPLEMENTARIO CAPITULO I

<b>MATERIAL SUPLEMENTARIO 1.</b> Conjunto de datos de los estudios analizados. ....	<b>99</b>
<b>MATERIAL SUPLEMENTARIO 2.</b> Especies de fauna atropelladas registradas en cada estudio analizado.....	<b>99</b>
<b>MATERIAL SUPLEMENTARIO 3.</b> Fauna atropellada no identificada. ....	<b>99</b>
<b>MATERIAL SUPLEMENTARIO 4.</b> Clasificación taxonómica, intervalo altitudinal y abundancia de las especies registradas en los estudios analizados.....	<b>99</b>
<b>MATERIAL Suplementario 5.</b> Estudios realizados en Colombia sobre impacto generados por las vías a la fauna silvestre en Colombia entre el año 2006 y 2022 .....	<b>99</b>

## INTRODUCCIÓN

La construcción de vías puede mejorar la calidad de vida de las personas al proporcionar mayor accesibilidad a los recursos para satisfacer las necesidades sociales y económicas (Lu, 2012; Villanueva et al., 2018). Sin embargo, las vías pueden llegar a ser perjudiciales para el ambiente, ya que ocasionan grandes impactos negativos sobre los recursos ecosistémicos y la biodiversidad (Grilo et al., 2018; Huang et al., 2019). A pesar de esto, no todas las especies y los ecosistemas se ven afectados por igual; los impactos cambian de acuerdo con el tipo de ecosistema y el tipo de especie, produciéndose efectos primarios, secundarios, directos, indirectos y ecológicos (Coffin, 2007).

Entre los impactos negativos de las vías se encuentran, por ejemplo, el actuar como barreras para el movimiento de fauna (Costa et al., 2020), reducir y fragmentar los hábitats, degradar la calidad del paisaje (Saunders et al., 2002; Bennett, 2017) y generar impactos directos sobre los individuos, siendo el más notorio la mortalidad por colisiones con vehículos (Grilo et al., 2018). Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2021), de las 13.716 especies En Peligro o En Peligro Crítico de extinción, 4.383 son directamente afectadas por proyectos de infraestructura urbana y vial (Lawton, 2018). Además, muchos grupos faunísticos se relacionan con estas estructuras de forma diferente, ya que estos pueden evitarlas o ser atraídos hacia esta infraestructura (de Freitas et al., 2015).

La vulnerabilidad de las especies en las vías está relacionada a diferentes factores bióticos y abióticos que actúan a diferentes escalas espaciales y temporales (D'Amico et al., 2015, Valerio et al., 2021). Entre las características abióticas se encuentran la geometría de la vía, el tipo de superficie, y el tráfico (volumen, velocidad) (Van Der Ree et al., 2015; Costa et al., 2020). Por ejemplo, los mayores eventos de atropellos se dan en carreteras rectas en relación con las carreteras curvas, cuando los niveles de tráfico son más altos (Dussault et al., 2006; Tanner et al., 2017).

Entre las características bióticas se encuentran el tipo de especie, el tipo de vegetación, la hidrografía, calidad del hábitat, ecología de las especies y su sensibilidad al impacto (abundancia, movilidad, periodos reproductivos y patrones de dispersión) (Van Der Ree et al., 2015; Costa et al., 2020). Algunas especies son atraídas por las vías, mientras otras las evitan y según las

características del paisaje los atropellamientos se encuentran relacionados con un determinado gremio trófico o con grupos taxonómicos particulares (Červinka et al., 2015). El tipo de vegetación en las carreteras puede proporcionar abundancia de recursos principalmente en áreas agrícolas y pastizales (Medrano-Vizcaíno & Espinosa; 2021), lo que genera un alto número de especies atropelladas en este tipo de vegetación. Con respecto a la hidrografía cercana a las vías, esta se relaciona con el atropellamiento principalmente de anfibios (Seo et al. 2013). La cantidad y el tipo de especies afectadas por la infraestructura vial también varía dependiendo de la región geográfica (Hobday & Minstrell, 2008). En el caso de los países tropicales las especies más atropelladas corresponden a los vertebrados, siendo los anfibios el grupo más afectado seguido de los reptiles, los mamíferos y las aves (Monge-Najera, 2018).

Por otra parte, las especies de fauna silvestre atropelladas pueden proporcionar importante información para el conocimiento de los inventarios de una localidad específica, así como para realizar estimaciones de abundancia relativa (Case 1978; Gottdenker et al., 2001). Monitorear la fauna silvestre atropellada incrementa el conocimiento para la investigación ecológica que contribuyen a reducir los efectos directos e indirectos de las vías en las poblaciones de fauna silvestre (Schwartz, 2020). Este tipo de evidencia puede también ser clave para el desarrollo de investigaciones asociadas a los impactos de las vías sobre la fauna silvestre.

En el caso particular de Colombia, país reconocido por su alta diversidad de vertebrados (Rangel, 2005; Rangel-Ch, 2015), es líder a nivel regional en el estudio de fauna silvestre atropellada (Monge-Nájera, 2018; Pinto, 2020). Su desarrollo vial empezó a consolidarse aproximadamente desde la primera mitad del siglo XX (Montoya, 2013). Así, para 1994 el país contaba con una red vial de aproximadamente 55.000 kilómetros (Pérez, 2005). En consecuencia, la problemática asociada a la expansión vial es una realidad en el país, y sus efectos se han documentado en los últimos 15 años en términos de la mortalidad de fauna silvestre en diferentes sectores (departamentos) del territorio colombiano. Por ejemplo, Delgado-V, (2007) registró la mortalidad de mamíferos en una vía del departamento de Antioquia; Castillo-R et al., (2015) registraron la mortalidad de vertebrados en una vía del departamento del Cauca; De La Ossa & Galván-Guevara, (2015) documentaron la mortalidad de vertebrados en una vía del departamento de Sucre; Astwood-R et al., (2018) registraron la mortalidad de reptiles en una vía del departamento del

Meta; Ramos & Meza-Joya, (2018) registraron la mortalidad en una vía del departamento de Santander; Adárraga-Caballero & Gutiérrez-Moreno, (2019) registraron la mortalidad en una vía del departamento de Magdalena, Mesa-Joya et al., (2016), registraron la mortalidad de mamíferos en una vía entre el departamento de Magdalena y Cesar, y finalmente Zúñiga-Baos & Vera-Pérez, (2020) registraron la mortalidad de reptiles en una vía del departamento de Antioquia.

Además, en la última década, se ha recopilado el total de las especies atropelladas en Colombia a través de una aplicación para teléfonos móviles que permite ubicar los atropellamientos de fauna para las diferentes regiones en el país (Jaramillo et al., 2017). Algunas investigaciones en Colombia han optado por registrar el número de especies de vertebrados atropellados (e.g., Castillo-R et al., 2015; Medina et al., 2017; Astwood-R et al., 2018), mientras otros estudios han relacionado la mortalidad de vertebrados en vías con diferentes patrones espaciales, temporales y ecológicos (Meza-Joya et al., 2019; Holguin, 2019; Rincon-Aranguri et al., 2019), además de identificar las especies de atropelladas se identificaron “hotspots” de atropellamiento relacionados con la conectividad estructural.

Aunque el esfuerzo de los estudios previos sobre la temática en Colombia es considerable, es necesario reconocer la existencia de sesgos geográficos y vacíos de información sobre los factores que afectan los diferentes grupos faunísticos. Por ejemplo, un solo estudio (Lozano & Patiño-Siro 2020), ha buscado evidenciar una relación de las características de la vía y factores ambientales con el atropellamiento de vertebrados y su relación con la geometría de las vías como una causa del atropello de fauna. El estudio de López-Herrera et al. (2016) evaluó la mortalidad de reptiles por atropellamiento vehicular en una carretera que atraviesa corredores biológicos, donde no hubo relación entre el número de atropellos (63 serpientes, nueve especies) y la distancia al corredor biológico más cercano. Similarmente, el atropellamiento de la fauna silvestre por automóviles en vías urbanas del departamento de Antioquia afecta principalmente a aves y mamíferos y factores como el exceso de velocidad, el ancho de la vía y la distancia a las áreas verdes influyen sobre los eventos de atropellamiento (Bedoya-V. et al., 2018).

Por otra parte, Colombia es un país altamente montañoso con una gran variedad de climas (Pabón-Caicedo et al., 2001). Debido a esto se caracteriza por presentar diferentes modificaciones ambientales y cambios en la biodiversidad (Medrano et al., 2017). Sin embargo, se desconoce la relación entre las vías y los eventos de atropellos en los diversos pisos altitudinales del país. Por

esta razón se hace necesario recopilar datos sobre atropellamientos en diferentes elevaciones, que además puedan ser utilizadas para conocer y analizar los patrones y dinámicas de estos eventos.

Por esta razón, consolidar la información disponible sobre la temática es clave para definir lineamientos futuros para investigar y mitigar esta problemática. Además, identificar las respuestas espaciales y temporales entre especies afectadas por atropellamientos, puede ayudar a predecir e informar las áreas identificadas como puntos críticos de muerte vehicular para la fauna. En conjunto, esta información es clave para generar planes de mitigación que ayuden a reducir el impacto de las vías sobre la fauna local (Saranholi et al., 2016; Bravo-Naranjo et al., 2019).

Esta investigación parte de la necesidad de contribuir a fortalecer el conocimiento sobre la fauna silvestre afectada por las vías en Colombia, para esto elaboramos una revisión sobre los estudios realizados en Colombia. Realizamos un estudio en una de las vías del departamento de Caldas, en el que analizamos la relación del entorno de las vías con eventos de atropellamiento de fauna silvestre, bajo las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es el estado actual del conocimiento científico sobre la relación de las carreteras en Colombia con la fauna silvestre, con énfasis en cada región biogeográfica, en términos de metodologías aplicadas y el enfoque de cada estudio, de acuerdo con lo documentado en artículos científicos?, ¿Cuál es el impacto de los factores bióticos y abióticos en un transecto altitudinal (1296-2781 m s.n.m) en una vía en la Cordillera Central del departamento de Caldas sobre la cantidad de vertebrados que son atropellados? La última pregunta parte de la hipótesis de una posible relación entre la frecuencia de atropellamientos de fauna silvestre y variables ambientales del paisaje. Estas variables pueden incluir características bióticas como todos los componentes vivos que interactúan en el entorno de la vía y características abióticas como los elementos físicos del entorno de la vía.

La metodología se desarrolló a través de una revisión exhaustiva de artículos científicos relacionados con las vías y la fauna silvestre en Colombia para obtener un panorama actual del conocimiento sobre el tema y destacar los avances y vacíos identificados. Posteriormente, se llevó a cabo un estudio de campo en una vía del departamento de Caldas, donde se evaluaron factores asociados a la mortalidad de fauna silvestre, incluyendo características de la vía y registros de especies afectadas. Se emplearon técnicas de muestreo y análisis de datos para identificar patrones y variables involucradas. Finalmente, se realizó un análisis cualitativo de la información recopilada



para resaltar las implicaciones de este tipo de estudios y sugerir recomendaciones que contribuyan a la conservación, por medio de la mitigación y prevención de estos eventos.

## LITERATURA CITADA

- Adárraga-Caballero, M., & Gutierrez Moreno, L. (2019). Mortalidad de vertebrados silvestres en la carretera Troncal del Caribe, Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 20, 106–119. <https://doi.org/10.21068/c2019.v20n01a07>
- Astwood-R, J. A., Reyes-D, M. C., Rincón-A, M. T., Pachón-G, J., Eslava-M, P. R., & Parra-S, C. A. (2018). Mortalidad de reptiles en carreteras del piedemonte de los llanos orientales colombianos. *Caldasia*, 40(2), 321–334. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.67578>
- Bedoya-V, M., Arias-Alzate, A., & Delgado V., C. A. (2018). Atropellamientos de fauna silvestre en la red vial urbana de cinco ciudades del Valle de Aburrá (Antioquia, Colombia). *Caldasia*, 40, 335–348.
- Bennett, V. J. (2017). Effects of road density and pattern on the conservation of species and biodiversity. *Current Landscape Ecology Reports*, 2(1), 1–11.
- Bravo-Naranjo, V., Piñones-Cañete, C., Norambuena, H. V., & Zuleta, C. (2019). Puntos calientes y factores asociados al atropello de aves rapaces en una ruta costera de la zona semiárida de Chile central. *Ornitología Neotropical*, 30, 208–216.
- Castillo-R, J. C., Urmendez-M, D., & Zambrano-G, G. (2015). Mortalidad de fauna por atropello vehicular en un sector de la Vía Panamericana entre Popayán y Patía. *Boletín Científico, Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, 19(2), 207–219.
- Červinka, J., Riegert, J., Grill, S., & Šálek, M. (2015). Large-scale evaluation of carnivore road mortality: The effect of landscape and local scale characteristics. *Mammal Research*, 60(3), 233–243. <https://doi.org/10.1007/s13364-015-0226-0>
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396–406.
- Costa, L. L., Secco, H., Arueira, V. F., & Zalmon, I. R. (2020). Mortality of the Atlantic ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) due to vehicle traffic on sandy beaches: A road ecology approach. *Journal of Environmental Management*, 260, 110168.
- D'Amico, M., Roman, J., de los Reyes, L., & Revilla, E. (2015). Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: Who, when and where. *Biological Conservation*, 191, 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.010>

- de Freitas, C. H., Justino, C. S., & Setz, E. Z. (2015). Road-kills of the giant anteater in southeastern Brazil: 10 years monitoring spatial and temporal determinants. *Wildlife Research*, *41*(8), 673–680.
- De La Ossa, J., & Galván-Guevara, S. (2015). Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo–Ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colombiana*, *16*(1), 67–77.
- De La Ossa-Nadjar, O., & De La Ossa V., J. (2015). Atropellamiento de fauna silvestre en las dos vías que circundan Los Montes De María, Sucre, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *18*(2), 503–511.
- Delgado-V, C. A. (2007). Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, *29*(87), 229–233.
- Delgado-V, C. A. (2007). Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, *29*(87), 229–233.
- Delgado-Vélez, C. A. (2014). Adiciones al atropellamiento vehicular de mamíferos en la vía de El Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Revista EIA*, *11*(22), 147–153.
- Durán Galindo, I. (2019). *Atropellamiento Vial de Fauna Silvestre en la Carretera entre los Municipios de Villavicencio - Barranca de Upía (Meta) Colombia*. Villavicencio: Universidad de los Llanos, 2018.
- Dussault, C., Poulin, M., Courtois, R., & Ouellet, J. P. (2006). Temporal and spatial distribution of moose-vehicle accidents in the Laurentides Wildlife Reserve, Quebec, Canada. *Wildlife Biology*, *12*(4), 415–425.
- Grilo, C., Coimbra, M. R., Cerqueira, R. C., Barbosa, P., Dornas, R. A., Gonçalves, L. O., ... & Schuck, G. (2018). Brazil road-kill: a data set of wildlife terrestrial vertebrate road-kills. *Ecology*, *99*(11), 2625–2625.
- Hobday, A. J., & Minstrell, M. L. (2008). Distribution and abundance of roadkill on Tasmanian highways: human management options. *Wildlife Research*, *35*(7), 712–726.
- Holguín, Contreras, O. S. (2019). *Patrones espaciales, temporales y apreciaciones sociales asociados al atropellamiento de hormigueros (Xenarthra: Vermilingua) en la vía Marginal de la Selva, Colombia* [Trabajo de grado]. Pontificia Universidad Javeriana.

- Huang, C., Li, X., Hu, W., & Jiang, X. (2020). Predicting indirect effects of transportation network expansion on Asian elephants: Implications for environmental impact assessments. *Biotropica*, 52(1), 196–202.
- Jaramillo Fayad, J. C., González M, J. L., Velazquez L, M. M., Correa Ayram, C., & Cubides, P.-I. (2017). Los animales atropellados de Colombia. *Instituto Tecnológico Metropolitano; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.
- Lawton, G. (2018). Road kill. *New Scientist*, 239 (3193), 36–41. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(18\)31575-6](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(18)31575-6)
- López-Herrera, D. F., León-Yusti, M., Guevara-Molina, S. C., & Vargas-Salinas, F. (2016). Reptiles en corredores biológicos y mortalidad por atropellamiento vehicular en Barbas-Bremen, departamento del Quindío, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(156), 484–493.
- Lozano, J. A., & Patiño-Siro, D. (2020). Does the geometrical design of roads influence wildlife roadkills? Evidence from a highway in Central Andes of Colombia. *European Journal of Ecology*, 6(1), 58–70.
- Lu, M. L. (2012). Construction Environment and Sustainable Development. *Heihe Journal*, 183(10), 16–17.
- Medina, D. U., Ramos, J. C. C., & González, G. Z. (2017). Mortalidad de vertebrados silvestres por atropello vehicular en 13 kilómetros de la vía Panamericana en el municipio del Patía. *Revista Novedades Colombianas*, 12(1), 57–64.
- Medrano Meraz, M. D. J., Hernández, F. J., Corral Rivas, S., & Nájera Luna, J. A. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(40), 57-68.
- Medrano-Vizcaíno, P., & Espinosa, S. (2021). Geography of roadkills within the Tropical Andes Biodiversity Hotspot: Poorly known vertebrates are part of the toll. *Biotropica*, 53(3), 820-830.
- Meza-Joya, F. L., Ramos Pallares, E., & Cardona Ramírez, D. M. (2016). Assessing Roadkill Events to Reduce Wildlife Mortality in Roads of the Mid-Magdalena Valley, Colombia: Mammals as Study Case. *The Rufford Foundation*, 1–15.
- Meza-Joya, F., Ramos Pallares, E., & Cardona, D. (2019). Spatio-temporal patterns of mammal road mortality in Middle Magdalena Valley, Colombia. *Oecologia Australis*, 23, 575-588.

- Monge-Najera, J. (2018). Road kills in tropical ecosystems: A review with recommendations for mitigation and for new research. *Revista de Biología Tropical*, 66, 722–738.
- Montoya, J. S. (2013). *Ensayos sobre el desarrollo del transporte de carga en Colombia*. Universidad Externado de Colombia.
- Pabón-Caicedo, J. D., Eslava-Ramírez, J. A., & Gómez-Torres, R. E. (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología colombiana*, 4, 47-59.
- Pérez, G. J. (2005). *La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia* (No. 012679). Banco de la República-Economía Regional.
- Quintero-Ángel, A., Osorio-Domínguez, D., Vargas-Salinas, F., & Saavedra-Rodríguez, C. A. (2012). Roadkill rate of snakes in a disturbed landscape of Central Andes of Colombia. *Herpetology Notes*, 5, 99–105.
- Ramos, E., & Meza-Joya, F. L. (2018). Reptile road mortality in a fragmented landscape of the middle Magdalena Valley, Colombia. *Herpetology Notes*, 11, 81–91.
- Rangel - Ch., J. O. (2015). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 39(151), 176–200. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.136>
- Rangel, J. O. (2005). La biodiversidad de Colombia. *Palimpsestvs*, 5, 292–304 <https://revistas.unal.edu.co/index.php/palimpsestvs/article/view/8083>
- Rincon-Aranguri, M., Urbina-Cardona, N., Galeano, S. P., Bock, B. C., & Paez, V. P. (2019). Road kill of snakes on a highway in an Orinoco ecosystem: landscape factors and species traits related to their mortality. *Tropical Conservation Science*, 12, 2–18 <https://doi.org/10.1177/1940082919830832>
- Rivera, J. S. A., Quintero, S. G., & Álvarez, N. (2022). Analysis of Wildlife Roadkill in a Road Circuit. Case study of a Colombian road in the Department of Huila: Neiva-Rivera-Campoalegre. *Boletín Científico. Centro de Museos, Museo de Historia Natural* 26(1), 55–71.
- Saranholi, B. H., Bergel, M. M., Ruffino, P. H. P., Rodríguez-C, K. G., Ramazzotto, L. A., de Freitas, P. D., & Galetti, P. M., Jr. (2016). Roadkill hotspots in a protected area of Cerrado in Brazil: Planning actions to conservation. *Revista MVZ Cordoba*, 21(2), 5441–5448. doi:10.21897/rmvz.609

- Saunders, S. C., Mislivets, M. R., Chen, J., & Cleland, D. T. (2002). Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA. *Biological conservation*, *103*(2), 209–225.
- Schwartz, A. L., Shilling, F. M., & Perkins, S. E. (2020). The value of monitoring wildlife roadkill. *European journal of wildlife research*, *66*(1), 18.
- Tanner, A., Leroux, S., & Saunders, P. (2017). Road Characteristics Best Predict the Probability of Vehicle Collisions with a Non-Native Ungulate. *Écoscience*, *24*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/11956860.2017.1292100>
- Valerio, F., Basile, M., & Balestrieri, R. (2021). The identification of wildlife-vehicle collision hotspots: Citizen science reveals spatial and temporal patterns. *Ecological Processes*, *10*(1), 1–13.
- Van Der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons.
- Villanueva, G., López, R., Nigenda, M., Aguilar, V., & Rios, E. (2018). Las vías de comunicación terrestre y su efecto en la biodiversidad. *Biología y Sociedad 1*, 44–54.
- Zúñiga-Baos, J. A., & Vera-Pérez, L. E. (2020). Mortality of snakes on the road El Valle de Toledo-Toledo, Antioquia, Colombia. *Revista colombiana de ciencia animal RECIA*, *12*(1), 41–49.

## CAPÍTULO I

### ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE LOS EFECTOS DE LA RED VIAL EN LA FAUNA SILVESTRE EN COLOMBIA

#### RESUMEN

Las vías causan impactos a la biodiversidad y el estudio de los impactos es de vital importancia para la generación de estrategias encaminadas a su mitigación. En el caso de Colombia, desde hace aproximadamente 15 años se ha registrado un incremento en los estudios sobre los impactos de las vías en la fauna silvestre. Sin embargo, la información generada no ha sido consolidada y evaluada sistemáticamente. Sin esta información, no es posible evaluar el atropellamiento de fauna silvestre en diferentes condiciones ambientales. El objetivo de esta revisión es recopilar publicaciones científicas disponibles en bases de datos nacionales e internacionales relacionadas con fauna silvestre atropellada o los impactos generados por las vías sobre la fauna silvestre en Colombia. Para cada estudio, recopilamos información relacionada con 1) la ubicación geográfica, 2) la temática o enfoque principal del estudio, 3) la identidad de las especies registradas, y basados en esta información, consolidamos una lista con las especies de fauna silvestre atropelladas en Colombia. Encontramos 45 estudios relacionados con las vías y la fauna silvestre en Colombia. Más de la mitad ( $n = 27$ ; 60 %) de estos estudios se limitaron a registrar datos de mortalidad y se desarrollaron en 16 de los 32 departamentos de Colombia. La región Andina cuenta con el mayor número de estudios ( $n = 19$ ). En total, se han documentado 191 especies atropelladas en Colombia entre anfibios, aves, mamíferos y reptiles. De acuerdo con nuestra revisión, la especie más atropellada en Colombia corresponde al sapo común *Rhinella horribilis* con 906 registros. El mayor número de especies atropelladas tuvieron lugar en alturas inferiores a los 500 m en la región Caribe. La Amazonía es la región con mayores vacíos de información ya que no cuenta con estudios realizados. Cinco de las especies atropelladas en las vías de Colombia se encuentran amenazadas, entre ellas una En Peligro (*Cebus versicolor*), y cinco Vulnerable (*Aotus griseimembra*, *Leopardus tigrinus*, *Myrmecophaga tridactyla*, *Kinosternon scorpioides*, *Trachemys callirostris*). Nuestros resultados evidencian el interés de la comunidad científica en conocer los impactos directos de las vías sobre la fauna silvestre. Sin embargo, existen vacíos de

información como lo es la falta de estudios en determinadas regiones, el desconocimiento de las causas y factores (espaciales y temporales) de los atropellamientos y la utilización de metodologías diferentes, que dificultan comprender la problemática de forma integral y determinar sus relaciones desde diferentes perspectivas. El desarrollo continuo de estudios y la utilización de nuevas estrategias principalmente aquellas que son escasas, podrían ser importantes para los proyectos de conservación en cuanto la prevención y mitigación de los atropellos de fauna silvestre.

**Palabras Clave:** Comportamiento, colisiones, ecología, fauna, mortalidad.

## ABSTRACT

Roads cause impacts on biodiversity and the study of these impacts is of vital importance for the generation of strategies aimed at their mitigation. In the case of Colombia, for approximately 15 years there has been an increase in studies on the impacts of roads on wildlife. However, the information generated has not been systematically evaluated and consolidated. Without this information, it is not possible to evaluate wildlife roadkill in different environmental conditions. The objective of this review is to compile scientific publications available in national and international databases related to wildlife roadkill or the impacts generated by roads on wildlife in Colombia. For each study, we collected information related to 1) the geographic location, 2) the thematic or main focus of the study, 3) the identity of the species recorded, and based on this information, we consolidated a list of the species of wildlife roadkilled in Colombia. We found 45 studies related to roads and wildlife in Colombia. More than half ( $n = 27$ ; 60 %) of these studies were limited to recording mortality data and were conducted in 16 of Colombia's 32 departments. The Andean region has the largest number of studies ( $n = 19$ ). In total, 191 species of amphibians, birds, mammals, and reptiles have been documented in Colombia. According to our review, the species most frequently roadkill in Colombia is the common toad *Rhinella horribilis* with 906 records. The highest number of species trampled occurred at elevations below 500 m in the Caribbean region. The Amazon is the region with the greatest information gaps since no studies have been carried out in this region. Five of the roadkilled species on Colombian roads are threatened, including one Endangered (*Cebus versicolor*), and five Vulnerable (*Aotus griseimembra*, *Leopardus tigrinus*, *Myrmecophaga tridactyla*, *Kinosternon scorpioides*,



*Trachemys callirostris*). Our results demonstrate the interest of the scientific community in knowing the direct impacts of roads on wildlife. However, there are information gaps such as the lack of studies in certain regions, the unknown causes and factors (spatial and temporal) of roadkill event, and the use of different methodologies, which make it difficult to understand the problem in a comprehensive manner and to determine the relationships from different perspectives. The continuous development of studies and the use of new strategies, especially those that are scarce, could be important for conservation projects in terms of prevention and mitigation of wildlife roadkill.

**Key words:** Behaviour, collisions, ecology, fauna, mortality.

## INTRODUCCIÓN

El aumento de la red vial en los trópicos es un ejemplo de cómo la globalización puede ser incompatible con la conservación de los recursos naturales (Laurance & BBVA, 2009). Las vías y toda la actividad relacionada con la red vial son uno de los principales agentes de la disminución de la riqueza biótica (Lawton, 2018). Esta actividad, en la mayoría de los casos, genera graves afectaciones a los ecosistemas, con impactos negativos sobre los organismos (Huang et al., 2019). El impacto más visible sobre la fauna es la mortalidad por colisiones con vehículos (Grilo et al., 2019), que se relaciona con la autoecología de los organismos como el tamaño poblacional, la movilidad, periodos reproductivos, patrones de dispersión, y otras características de la vía, y del paisaje como la geometría y las coberturas vegetales (Costa et al., 2020). De acuerdo con el comportamiento e historias de vida, las especies tienen distintas formas de reaccionar a las vías (Jaeger et al., 2005). Por ejemplo, algunas especies pueden evitarlas ya que es un ambiente hostil, generalmente sin cubierta vegetal, donde pueden llegar a ser más vulnerables a la depredación (Jaeger et al., 2005; Ascensão et al., 2017). Además, algunas especies pueden llegar a evitar las vías debido a las emisiones emitidas por los automotores como el ruido y gases producto de la combustión de hidrocarburos (Jaeger et al., 2005), e incluso ser atraídas hacia ellas en busca de recursos, principalmente alimento (Freitas et al., 2014; Naranjo et al., 2019).

Las vías representan un contraste marcado dentro de los ecosistemas, lo que genera la fragmentación de los distintos tipos de hábitats, y actúa como una barrera que impide o limita el movimiento animal (Ascensão et al., 2017; Costa et al., 2020). En ecología, esta problemática ha sido definida como «efecto barrera» (McGregor et al., 2008), cuyas consecuencias son la formación de metapoblaciones, cambios demográficos, pérdida de variabilidad genética, disminución del flujo de genes, depresión endogámica y extinción local (Forman et al., 1998; Primack, 1998; Saccheri et al., 1998; Esperandio et al., 2019). Por otra parte, si bien la mayoría de los impactos pueden ser negativos en algunos casos pueden ser positivos y favorecer determinados grupos de especies, debido a que los cambios generados a la cobertura vegetal pueden favorecer la presencia de especies de áreas abiertas y especies generalistas, y desfavorecer especialistas o asociadas a sucesiones vegetales avanzadas (Florido, 2015).

En Sudamérica, se han llevado a cabo dos revisiones de literatura que exploran los estudios sobre las vías y sus consecuencias en la fauna silvestre. Uno de estos es el trabajo de Monge-Nájera (2018), quien realizó una revisión centrada en resumir las publicaciones relacionadas con las muertes de fauna silvestre en vías de países tropicales, incluyendo Colombia. Este estudio aportó al conocimiento sobre la importancia de aprovechar especímenes atropellados, incluyen diversas especies y la necesidad de explorar aspectos menos comprendidos como la hora del día, tasas de éxito y fracaso al cruzar la carretera, así como la eficacia comprobada de reducir la velocidad para mitigar el problema. Una segunda revisión fue llevada a cabo por Pinto et al. (2020) en la que evaluaron los trabajos de investigación científica que aborda los impactos de las carreteras en las especies de vertebrados en América Latina. Pinto et al. (2020) encontraron que los efectos de las carreteras sobre el número y tipo de especie, variaron entre los taxones sin un patrón aparente, evidenciaron la necesidad de realizar más investigación y de utilizar herramientas predictivas para especies difíciles de monitorear y la inclusión de áreas de conservación.

No obstante, carecemos de información a nivel local, lo que motiva la necesidad de realizar una revisión de literatura más enfocada en estudios locales. La variabilidad geográfica de países como Colombia refuerza esta necesidad. Por esta razón, se plantea la importancia de abordar de manera consistente, sistemática y extensa el tema de atropellamiento de fauna, lo que facilita el monitoreo de poblaciones, el mapeo de distribuciones de especies nativas e invasoras, el estudio del comportamiento animal, así como la vigilancia de contaminantes y enfermedades (Schwartz et al., 2020).

En Colombia, el desarrollo vial se empezó a consolidar desde la primera mitad del siglo XX, ya que entre 1940 y 1950, se inició la construcción de nuevas vías y el mejoramiento de las existentes (Pérez, 2005). Así, para 1994, el país contaba con una red vial de aproximadamente 55.000 kilómetros (Pérez, 2005). En consecuencia, la gran problemática de expansión vial y sus principales impactos negativos sobre la fauna como la mortalidad directa por colisión de vehículos es una realidad en el país (Vargas-Salinas et al., 2011; Quintero-Ángel et al., 2012; Castillo et al., 2015; Ramos & Meza-Joya, 2018; Arias-Alzate 2018). Si bien se considera a Colombia como uno de los líderes de América Latina en el estudio de mortalidad de fauna por atropellamiento (Monge-Nájera, 2018), los estudios realizados en diferentes regiones del país con características ambientales y especies propias, podrían no representar la realidad de la fauna silvestre con las vías

del país, ya que en su mayoría se limitan en documentar cifras de las especies de fauna silvestre atropellada (ver Astwood-R et al., 2018; Delgado-V., 2007; Rojano et al., 2016; Vargas-Salinas et al., 2011). Además, en el país son escasos los estudios que relacionan las causas y las consecuencias del atropellamiento de vertebrados (Meza-Joya et al., 2019; Rincón-Aranguri et al., 2019) y en muy pocos estudios se calculan tasas de atropellamiento, a pesar de que es fundamental como un método de valoración poblacional (Quintero-Ángel et al., 2012; Monroy et al., 2015; Rojano & Ávila, 2021). Aunque los estudios realizados en el país se enfocan en analizar la relación de un amplio grupo de vertebrados con las vías (Payan et al., 2013; Monroy, 2015; Medina et al., 2017), los análisis de las respuestas ecológicas de un grupo más pequeño de vertebrados o de una sola especie son escasos. Se destacan entre estos los trabajos de Rojano et al. (2016) quienes realizaron aportes a la ecología y amenazas del oso melero (*Tamandua mexicana*) en el Caribe colombiano, y los de López-Herrera et al., (2016) quienes determinaron la mortalidad de reptiles por atropellamiento.

En años recientes, Jaramillo et al., (2017) recopilaron el total de las especies atropelladas en Colombia, a través de ciencia ciudadana por medio de la aplicación RECOFSA, una aplicación para teléfonos móviles que permite ubicar los atropellamientos de fauna para las diferentes regiones en el país. Sin embargo, a la fecha no se han evaluado de manera sistemática, los estudios que abordan esta problemática y es probable que el número de especies afectadas por atropellamiento sea mayor.

El objetivo de esta revisión es recopilar publicaciones científicas disponibles en bases de datos nacionales e internacionales relacionadas con fauna silvestre atropellada o los impactos generados por las vías sobre la fauna silvestre en Colombia. Para cada estudio, recopilamos información relacionada con 1) la ubicación geográfica, 2) la temática (ecológica, registros de mortalidad, causas, estrategias de mitigación, revisiones, etc.), 3) la identidad de las especies registradas, con el objetivo de obtener un acercamiento a los cuestionamientos realizados acerca de ¿Cuál es el estado actual del conocimiento científico sobre la relación de las carreteras en Colombia con la fauna silvestre, con énfasis en cada región biogeográfica, en términos de metodologías aplicadas y el enfoque de cada estudio, de acuerdo con lo documentado en artículos científicos? información de gran valor para conocer los vacíos de información y proponer prioridades de investigación

encaminadas a concretar estrategias de mitigación y conservación de la fauna silvestre afectada por las vías.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Captura de información*

Para la compilación de datos sobre atropellamientos de fauna y efectos de las vías sobre la fauna silvestre en Colombia, realizamos una búsqueda de artículos científicos, tesis, trabajos de grado y notas científicas en bases de datos como: Scopus, Web of Science, Jstor y SciELO, y Google Scholar. Para realizar la búsqueda en cada una de estas bases se usaron la siguiente combinación de palabras clave: Animalia, Aves, Amphibia, collisions, ecology, mammals, mortality, Reptilia, road, vehicles, y Vertebrata. La búsqueda fue repetida utilizando los mismos términos en portugués y en español. El rango de búsqueda se realizó desde el 2006, ya que a partir de este año se empieza a documentar con mayor frecuencia la problemática de las vías en Colombia y se extendió hasta el primer semestre del año 2022. Seleccionamos todos los documentos que incluían fauna silvestre atropelladas o en los que se mencionara por lo menos una especie afectada por las vías, ya sea por medio de la mortalidad directa o por medio de efectos secundarios, dentro la estructura del documento (título, resumen, metodología, resultados y discusión).

En particular, de los trabajos publicados por Ossa-Nadjar & De La Ossa, (2013) y Ossa-Nadjar & De La Ossa, (2015) solo se empleó la información de la publicación más reciente debido a que los datos presentes no varían entre publicaciones.

### *Análisis de datos*

Posterior a la obtención de los documentos que elegimos basados en los criterios de selección, realizamos diferentes clasificaciones con el objetivo de obtener una mayor comprensión y obtención del contenido informativo. Primero los clasificamos de acuerdo con el tipo de publicación: 1. *Publicaciones científicas primarias*: aquellas que contenían resultados originales de investigación. 2. *Registros*: los que hacían parte de proyectos no relacionados con fauna

atropellada, se incluyen los registros novedosos de distribución. 3. *Publicaciones científicas secundarias*: consideradas como revisiones, en las que usaron información de estudios realizados con anterioridad. 4. *Tesis y trabajos de grado*: relacionados con las vías y la fauna silvestre. Luego fueron clasificados por temática de acuerdo con el tipo de investigación: 1. biodiversidad, 2. causas e impactos, 3. mortalidad y 4. Registros. Los criterios tenidos en cuenta para la reclasificación de estos estudios se mencionan a continuación 1. *Biodiversidad*: estudios enfocados en determinar la estructura de la comunidad de las especies de fauna silvestre asociadas a las vías. 2. *Causas e impactos*: estudios en los cuales se determinaron variables asociadas a la mortalidad de fauna silvestre, análisis a los impactos generados por las vías sobre las especies afectadas o sobre el hábitat alrededor de las vías y estudios en los cuales se han evaluado diferentes medidas de manejo o mitigación de los impactos generados por las vías a la fauna silvestre. 3. *Mortalidad*: estudios que tuvieron como objetivo principal registrar datos de mortalidad en determinada vía. 4. *Registros*: estudios en los cuales se menciona un espécimen atropellado, no necesariamente estos estudios hacen parte de una investigación asociadas con las vías o el atropellamiento de fauna silvestre, en esta temática se incluyeron estudios en los que de forma indirecta se menciona al menos un individuo de fauna silvestre relacionado una vía, como lo es el caso de encuentros fortuitos, en algunos casos publicados como nuevos registros y ampliaciones de distribución.

Adicionalmente, los estudios se clasificaron de acuerdo con la región geográfica en donde fueron realizados, basados en las coordenadas de inicio y terminación de la vía de estudio. A partir de esta información creamos cinco categorías de elevación en un intervalo de 500 metros expresados de la siguiente manera: intervalo de elevación (i) 0-499 m; ii) 500-999 m; iii) 1000-1499 m; iv) 1500-2999 m; v) < 2000 m).

Obtuvimos el número de especies atropelladas en las vías de Colombia por medio de los registros realizados en los estudios revisados. Con esta información se realizó una lista taxonómica actualizada de acuerdo con las propuestas de Frost (2021) para anfibios, Uetz et al. (2022) para reptiles, Ramírez-Chaves et al. (2021) y Mammal Diversity Database (2022) para mamíferos y el Handbook of Birds of the World and BirdLife International (2021) para aves. La determinación de las especies amenazadas se realizó de acuerdo con la IUCN (2021) en las que se clasifican las especies como En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN) o Vulnerables (VU), y de acuerdo con la evolución de su estado poblacional, y para Colombia según la Resolución 1912 de 2017 “Por

la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional.

### ***Vacíos de información, especies afectadas por atropellamiento y regiones naturales estudiadas***

Para determinar los vacíos de información, se siguió la metodología propuesta por Andrade-Ponce et al. (2016). Analizamos las cinco regiones geográficas de Colombia (Andina, Amazonia, Caribe, Insular, Orinoquía, Pacífica). Cada región natural recibió un valor entre cero y uno con base a la cantidad de subtemas abordados en cada región: mortalidad, biodiversidad, registros y causas e impactos. El máximo puntaje fue de uno y a cada región se le asignó un valor de  $\frac{1}{4}$ ; por cada región en que se desarrolló un subtema se restó  $\frac{1}{4}$  del valor máximo de la categoría. Para las regiones sin ningún estudio el puntaje es uno y regiones en las cuales se desarrollaron todos los subtemas el puntaje es cero.

## RESULTADOS

Encontramos 45 documentos relacionados con los impactos de las vías sobre la fauna silvestre en Colombia realizados entre el año 2006 y el primer semestre del 2022 (Material Suplementario 1). Más de la mitad de los estudios correspondieron a publicaciones científicas primarias ( $n = 28$ ), registros ( $n = 9$ ), publicaciones científicas secundarias ( $n = 4$ ), trabajos de grado y tesis ( $n = 3$ ) (Figura 1, Material Suplementario 1). En las últimas dos décadas se han realizado al menos un estudio por año, y hacia el año 2015 hubo un notable incremento en el número de estudios, en promedio cuatro por año. 2015 y 2020 fueron los años con mayor número ( $n = 7$ ) de estudios (Figura 2).

Los documentos revisados ofrecen una perspectiva del problema y proporcionan datos valiosos para aumentar el entendimiento de esta problemática. Los autores resaltan aspectos clave, desde los grupos taxonómicos más afectados hasta los lugares donde estos incidentes son más propensos



a ocurrir (Figura 3). La mayoría de los estudios incluyeron todos los vertebrados silvestres (n = 17), o grupos puntuales como los mamíferos (n = 13), reptiles (n = 9), anfibios y reptiles combinados (n = 2), aves (n = 1), anfibios (n = 1) y decápodos (n = 1).

Se encontraron 5193 eventos de atropellamientos en los estudios revisados. Los mamíferos presentaron el mayor número de individuos atropellados (n = 1867), seguido por los reptiles (n = 1302), anfibios (n = 1206), y aves (n = 818) (Figura 4). La mayoría de los registros se identificaron a nivel de especie (n = 4336) (Material Suplementario 2), sin embargo, algunos de los registros no pudieron ser identificados a este nivel (n = 857), por lo que se incluyó información a nivel de género (n = 376), familia (n = 31) orden (n = 36), o clase (n = 414) (Material Suplementario 3). De los registros identificados se contabilizaron 191 especies, siendo las aves las que presentaron el mayor número de especies atropelladas (n = 72), seguido de los reptiles (n = 70), mamíferos (n = 43) y anfibios (n = 6). La especie más atropellada en Colombia en los últimos 15 años de acuerdo con las fuentes consultadas corresponde al sapo común *Rhinella horribilis* (n = 906) (Figura 4, Material Suplementario 4).

No se han realizado estudios que relacionen directamente la fauna doméstica con las vías. Sin embargo, un estudio (Castillo-R et al., 2015) incluyó especímenes domésticos atropellados entre los que están el perro doméstico *Canis lupus familiaris*, gallinas y pollos de engorde *Gallus gallus*, el gato doméstico *Felis catus* y bovinos *Bos indicus*. Además, un único estudio (Baine et al., 2007), relacionó los invertebrados con las vías mediante un enfoque participativo para definir el manejo del cangrejo negro *Gecarcinus ruricola*, en la Isla de San Andrés.

De las especies atropelladas en Colombia se encuentran seis amenazadas, cuatro corresponden a mamíferos y dos a reptiles. *Cebus versicolor* es la especie con mayor estado de amenaza encontrándose En Peligro (EN), mientras que *Aotus griseimembra*, *Leopardus tigrinus*, *Myrmecophaga tridactyla* se encuentran como Vulnerable (VU) según la IUCN (2023). Por su parte, las especies de reptiles *Kinosternon scorpioides* y *Trachemys callirostris* se encuentran en estado Vulnerable (VU) solo para Colombia (Tabla 1).

Los estudios se realizaron en 17 departamentos de Colombia; seis de los estudios se realizaron incluyendo todo el territorio nacional (Tabla 2). El mayor número de estudios se han realizado en

la región Andina ( $n = 19$ ). El departamento Antioquia es el departamento con el mayor número de estudios con un total de seis.

A pesar de los avances en la investigación sobre vertebrados atropellados en Colombia (Rincon-Aranguri et al 2019; Cabrera-Casas et al., 2020; Lozano & Patiño-Siro 2020), aún persisten vacíos de información ya que los mayores esfuerzos se han desarrollado en vías localizadas en elevaciones bajas (inferiores a los 1000 m) (Payan et al., 2013; Ramos & Meza-Joya, 2018; Durán Galindo, 2019), y en unas pocas regiones de Colombia, siendo la región Andina la que cuenta con el mayor número de estudios (Delgado-V, 2007; Quintero-Ángel et al., 2012; Castillo-R et al., 2015; Ramos & Meza-Joya, 2018). En contraste, otras regiones como la región Pacífica y Orinoquía cuentan con un menor número de estudios (Astwood-R et al., 2018; Durán Galindo, 2019; Vargas-Salinas & Baca, 2009; Vargas-Salinas & Amézquita, 2013).

De acuerdo con los valores calculados para analizar los vacíos de información, se encontró que la región de Colombia con mayor vacío de información corresponde a la Amazonía. En esta región no se han realizado estudios, por lo tanto, el valor calculado de vacío de información es de 1. Teniendo en cuenta las regiones en las que sí se han realizado al menos un estudio, las que presentan mayores vacíos de información corresponde a la región Insular y la Orinoquía, con un el valor calculado de 0.75 para cada una. Ninguna región obtuvo un valor de 0, aunque cuentan con mayor número de estudios en comparación con las otras regiones; sin embargo, la región Andina y la región Pacífica se acercaron a este valor (0.25) (Tabla 3, Figura 5).

El intervalo altitudinal con mayor número de eventos de atropellamiento fue la categoría I correspondiente a elevaciones entre 0 y 499 m, con un total de 2589 registros, e incluyó el mayor número de especies atropelladas ( $n = 127$ ) (Figura 6).

### ***Mortalidad***

Los estudios realizados en Colombia, en su mayoría registran datos de mortalidad, con un total de 25 trabajos clasificados en este subtema (Figura 7). En tres de estos estudios se desarrollaron, además otros subtemas como la evaluación de las posibles causas de atropellamientos por medio

de análisis espaciales (Meza-Joya et al., 2019; Holguín, 2019; Rojano & Ávila, 2021), identificación de “hotspots” de atropellamiento relacionados con la conectividad estructural y la relación de las estrategias alimentarias de las especies con los atropellos (Rincon-Aranguri et al., 2019). Los estudios de mortalidad se realizaron en zonas periurbanas (44 estudios) y urbanas (1 estudio).

### ***Registros***

Para este subtema se encontraron siete estudios (Figura 7), correspondientes a registros novedosos de distribución (Gutiérrez-Cifuentes et al., 2013; Arias-Alzate et al., 2014; Ramírez-Chaves & Pérez, 2015; Rojas-Morales et al., 2018; Zúñiga-Baos, 2021; Torres-Mejía et al., 2020; Ramírez-Chaves et al., 2020; Fernández-Rodríguez et al., 2020; Ramírez-Chaves et al., 2022).

### ***Biodiversidad***

Los estudios clasificados en este subtema fueron en total tres (Figura 7) y se enfocaron en la biodiversidad de fauna relacionada a las vías, como lo fue la herpetofauna asociada a la vegetación de bordes de vías (Vargas-Salinas & Baca, 2009), y la variación en la composición de las especies en áreas cercanas a las vías (Vargas-Salinas et al., 2011).

### ***Causas e Impactos***

Se clasificaron en este subtema 13 estudios (Figura 7), donde se analizaron las posibles causas de los atropellamientos de fauna silvestre o de los impactos que las vías generan sobre la fauna silvestre (Arroyave et al., 2006; de la Ossa et al., 2015; Toro-Garay et al., 2021; Vargas-Salinas & López-Aranda, 2012; Vargas-Salinas & Amézquita, 2014; Cabrera-Casas et al., 2020; Arroyave

et al., 2006; Morantes-Hernández, 2017; Toro-Garay et al., 2021; Lozano & Patiño-Siro, 2020; Meza-Joya et al., 2019; Rincón-Araguari et al., 2019; Bedoya-V et al., 2018).

## DISCUSIÓN

En nuestra revisión encontramos y revisamos 45 documentos relacionados con las consecuencias directas e indirectas en de las vías en Colombia con la fauna silvestre en un periodo de 15 años. Se resalta que, a partir del año 2016 se empieza a documentar con mayor frecuencia estudios que relacionan la fauna silvestre con las vías, y que en años previos a las fechas de contempladas en esta revisión aparentemente sólo existen tres estudios de impacto ambiental sobre la temática (Ramos-Gutiérrez, 1996; Acevedo, 1996; Arroyave et al., 2006). Posterior a la creación del Ministerio de Medio Ambiente en el año 1993, se presta una mayor atención a los estudios de impacto ambiental, por lo que se cree que desde entonces empezó a documentar de forma más objetiva los impactos de las vías sobre la fauna silvestre (Hernández, 1994). Sin embargo, los métodos para evaluar impactos ambientales se caracterizan por un alto nivel de incertidumbre y sesgo (Calderón & Loyo 2013), por lo que el primer paso para la comprensión de la problemática es compilar la información disponible para la correcta toma de decisiones y manejo de impactos.

Si comparamos estos resultados con los estudios realizados en otros países megadiversos como Brasil, que cuenta con mayor número de estudios en Sudamérica con un total de 102 en 32 años (Pinto et al., 2020), se evidencia que Colombia tiene un proceso más corto en la investigación de los efectos de las vías sobre la fauna silvestre, pero que ha avanzado de manera relevante en la última década. En otros países como Venezuela, la documentación de los efectos de las carreteras sobre la vida silvestre lleva cerca de 32 años (ver registros de atropello de *Iguana iguana* en los llanos de Venezuela; Rodda, 1990), pero no hay compilaciones recientes que permitan contrastar el avance del conocimiento en estas temáticas, con respecto al estado actual de la temática en el país.

Aunque Colombia es líder en estos temas de investigación (Monge-Nájera, 2018), se requiere de esfuerzos adicionales para tener un panorama más claro de la ecología de carreteras o cómo se relaciona la fauna silvestre con las vías. Para esto es necesario suplir la investigación con un

sistema estándar de metodologías que nos permitan la obtención de datos más confiables y que puedan ser comparables. También se hace necesario desarrollar igual número de estudios en lo posible en cada región, ya que muchos de los estudios se concentraron en unas pocas regiones como lo fue la Andina. Colombia es un país líder en el estudio de la ecología de carreteras fundamentado en evaluaciones de mortalidad en vías, así mismo se evidencia en la presente revisión, siendo esta la temática más estudiada en Colombia (24 estudios), lo que probablemente se deba a que es uno de los impactos más visibles que las carreteras ejercen sobre los animales (Da Silva et al., 2022). Aunque los datos de mortalidad son útiles para conocer la magnitud del problema y la fauna silvestre vulnerable, no son adecuados para entender la relación entre las carreteras y la fauna silvestre (Clevenger et al., 2003). Por ende, es necesario la inclusión de nuevos estudios con otras temáticas, que conlleven a encontrar relaciones positivas y negativas entre las carreteras y la fauna silvestre, como lo son la exploración de los patrones espaciales y temporales, los cuales pueden diferir entre grupo taxonómico y factores ambientales (Garriga., et al 2017; Carvalho-Roel et al., 2023). Por su parte, las estrategias de mitigación de los efectos causados por las vías sobre la fauna silvestre contribuyen a una comprensión más profunda de las áreas de restauración y su importancia en la conservación de especies (Godet et al., 2023). Sin embargo, este tipo de estudios son escasos a pesar de que estos sistemas pueden implementarse para proteger un grupo faunístico determinado (Bager & Fontoura 2013)

Nuestros resultados muestran que existe un gran sesgo en la distribución de los estudios sobre efectos de las vías en poblaciones de fauna en Colombia. En casi la mitad de los departamentos que componen Colombia no se han realizado estudios, aunque cuentan con una gran infraestructura vial según los kilómetros pavimentados. Tal es el caso de Boyacá (674.92 km) y Caquetá (389.18 km) (INVIAS 2022), que cuentan con un importante número de centros urbanos y productivos (Pérez 2005; Portocarrero-Aya et al., 2015). Por ello, la mayor cantidad de estudios en la región Andina fue incentivada por los avances urbanísticos, mientras en la región de la Amazonía el déficit de estudios podría estar relacionado con la limitada red vial que presenta (Torres, 2018). Por su parte, los intervalos altitudinales entre 0 y 500 m son más susceptibles a los eventos de atropellamientos (Macias et al., 2021), quizás por la mayor diversidad que se encuentra en dichas elevaciones. Sin embargo, debemos de tener en cuenta que en estas elevaciones se ha realizado el mayor número de estudios con respecto a los otros intervalos de elevación ( $n = 15$ ), lo que estaría representando un mayor esfuerzo de muestreo en zonas de elevaciones inferiores o igual a 500 m.

Del total de individuos registrados ( $n = 5136$ ) se identificaron 191 especies de fauna silvestre afectadas por las vías en Colombia entre el año 2006 y el primer semestre del 2022. A nivel mundial, el número de especies de vertebrados vulnerables a ser atropelladas en las vías es cercano a las 2485 (Silva et al., 2021). Las 191 especies reportadas como atropelladas en Colombia equivalen al 7.73 % de las especies de fauna afectadas por esta problemática en el mundo, lo que podría estar relacionado con la alta diversidad y densidad de poblaciones naturales en de las regiones tropicales, que llevan a un alto riesgo de pérdida de biodiversidad (Pinto et al. 2020; Cirino et al., 2022).

Las aves corresponden al grupo de vertebrados con más especies atropelladas en el país ( $n = 72$ ), aunque presentaron el menor número de registros ( $n = 818$ ). El alto número de especies atropelladas se relaciona con que son el grupo de vertebrados con más especies en Colombia ( $n = 1954$ ) (Asociación Colombiana de Ornitología, 2020). Después de las aves, los reptiles son el grupo de vertebrados con más especies atropelladas ( $n = 70$ ; 1302 eventos de atropellamiento), que equivale a que el 12.18 % de los reptiles de Colombia son afectadas por las vías (632 especies reportadas en Colombia; Moreno et al., 2019), y podría estar relacionado con la atracción hacia las vías por los microclimas que en estas se forman (Heigl et al., 2017). Los mamíferos son el tercer grupo con especies más atropelladas ( $n = 43$ ), pero entre los vertebrados presentó el mayor número de registros por atropellamiento vehicular ( $n = 1866$ ). De acuerdo con la diversidad de mamíferos de Colombia ( $n = 543$ ) (Ramírez-Chaves et al., 2021), 7.55 % de la mastofauna de Colombia es vulnerable a morir atropelladas en las vías del territorio nacional. Los anfibios corresponden al grupo de vertebrados con el menor número de especies atropelladas ( $n = 6$ ), sin embargo, *Rhinella horribilis* presentó el mayor número registros por atropellamiento ( $n = 906$ ). Los anfibios son el grupo de vertebrados que más individuos aportan a las estadísticas de atropellamiento no solo en Colombia (Glista et al., 2008; Monge-Velazquez et al., 2022). La lentitud de desplazamiento y la incapacidad para evitar las vías son posibles causas del elevado número de atropellos (Bouchard, et al 2009). De acuerdo con las 864 especies de anfibios que se encuentran en Colombia (Acosta Galvis, 2022), el 0.69 % son directamente afectadas por las vías en el país. Los estudios realizados en Colombia enfocados en evaluar determinado grupo de vertebrados son pocos, un solo estudio relaciona las vías con los anfibios (Vargas-Salinas & Amézquita, 2013). Además, hay pocos estudios de los efectos de las vías en las poblaciones de anfibios y reptiles, a pesar de que tienen mayor número de especies en riesgo que los mamíferos y aves (Rytwinski & Fahrig 2015).

Para el caso de los invertebrados evidenciamos un déficit de estudios en este grupo taxonómico, aunque parece ser una tendencia generalizada en otros países. De acuerdo con Riffell, (1999) los datos de atropellamiento de invertebrados son escasos, a pesar de la evidencia de que un número extremadamente alto de invertebrados pueden morir en las carreteras. No se realizaron estudios con fauna doméstica, aunque dentro de los vertebrados la fauna doméstica es uno de los grupos más atropellados (Esperandio, 2011).

La lista de especies atropelladas en Colombia que obtuvimos en esta revisión nos ayuda a identificar los grupos taxonómicos que necesitan tener mayor prioridad al generar estrategias de conservación. Sin embargo, cabe aclarar que estos números deben ser manejados con cautela ya que es posible que no contengan una estimación real de la tasa de atropellamientos, la cual podría ser entre 12 y 16 veces mayor a la observada, especialmente en los casos en los que el conteo se realiza desde un vehículo en movimiento. Además, estos valores podrían variar conforme la presencia de depredadores, topografía, tráfico y condiciones meteorológicas (Slater, 2002).

Uno de los estudios realizados en Colombia en el que se trata de identificar las especies atropelladas y dar un panorama general de los grupos faunísticos afectados en la vías de Colombia, fue el realizado por medio de la aplicación móvil de la Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada (Recosfa). , A partir de ciencia ciudadana, Jaramillo et al., (2017) lograron identificar 206 especies atropelladas, en un total de 3500 eventos de atropellamiento entre los años 2014 y 2017, y encontraron las siguientes especies como las más atropelladas: *Didelphis pernigra* (63.1 %) *Syntheosciurus granatensis* (6.9 %), *Tamandua mexicana* (3.2 %), *Coragyps atratus* (2.6 %) y *Cerdocyon thous* (1.9 %). Sin embargo, en nuestro estudio reportamos un mayor número de registros identificados (n = 4336) correspondientes a 191 especies de fauna silvestre que han sido atropelladas en las vías de Colombia y reportamos una especie de anfibio *Rhinella horribilis* como la más atropellada. La diferencia en los resultados de estos dos estudios se justifica a través de la utilización de diferentes métodos para la obtención de los datos. En nuestra revisión utilizamos resultados de otros estudios recopilados en al menos 15 años, mientras la metodología usada por Jaramillo et al., (2017) evaluó datos a lo largo de un período de aproximadamente tres años a través de un proyecto de ciencia participativa. Queda en evidencia que las dos metodologías funcionan para tener un primer acercamiento al conocimiento de la fauna atropellada, aunque en muchos casos, los datos obtenidos a través de ciencia ciudadana pueden ser insuficientes y sesgados hacia

especies más grandes y raras (Dickinson et al., 2010; Gardiner, 2012; Monge-Nájera & Seas, 2018; Swinnen et al., 2022). Sin embargo, estos datos ayudan a identificar especies afectadas y abarcar más regiones, pero pueden proporcionar datos diferentes a los generados por científicos profesionales en cuanto a las especies más afectadas (Monge-Nájera, 2018).

De acuerdo con Klippel et al., (2015) los atropellos de fauna silvestre aumentan el declive de las poblaciones en proceso de recuperación, lo que pondría en riesgos los planes de conservación de las especies amenazadas. Por medio de nuestra revisión, se pueden generar estrategias para la disminución de los impactos generados por las vías (Foster & Humphrey, 1995). Así, la lista de las especies atropelladas proporciona valiosa información para el estudio de la ecología y la conservación de las especies afectadas (Case 1978). De las 191 especies de fauna silvestre atropelladas en Colombia, seis se encuentran amenazadas. En este sentido las especies amenazadas necesitan mayor atención al momento de realizar estudios de mitigación, y se debe proporcionar actividades efectivas de conservación que compensen el riesgo de exposición y muerte en vías (Hoffmann et al., 2010., Alfonsín & Bucetto, 2019).

El número de especies afectadas por las vías en Colombia probablemente sea mayor al que reportamos en esta revisión, ya que 857 registros no se identificaron a la categoría taxonómica de especie, en muchos de los casos por el daño sufrido en la colisión con vehículos, llantas de vehículos, daño por carroñero o descomposición (Vargas-Salinas et al., 2011; Payan et al., 2013; Castillo-R et al 2015; De La Ossa & Galvan-Guevara 2015; Monroy et al 2015; López-Herrera et al 2016; Astwood-R et al 2018; Adárraga-Caballero et al 2019). Según Cabrera-Casas et al. (2020), el tránsito vehicular degrada rápidamente los especímenes atropellados lo que podría dificultar su correcta identificación. Por esta razón se hace necesario implementar otras técnicas de identificación para los especímenes que no pueden ser identificados por medio de caracteres diagnósticos. Para ello, los códigos de barras de ADN se pueden utilizar con bastante éxito como método complementario a la identificación de especies atropelladas (Klippel et al., 2015; Rodríguez-Castro et al., 2017). No realizar una correcta identificación de los especímenes podría representar un alto sesgo en la información (Santos & Ascensão, 2019), y si estos sesgos no se consideran adecuadamente, pueden dar lugar a estimaciones erróneas del impacto de las vías sobre la fauna silvestre.



### ***Implicaciones***

La presente revisión de literatura relacionada con los impactos de las vías sobre la fauna silvestre en Colombia corresponde a un área de estudio crucial para entender y tomar medidas sobre los impactos negativos que causan las vías a la fauna. Proporcionamos un acercamiento sobre los grupos taxonómicos y las regiones más vulnerables, alertamos sobre una posible pérdida de biodiversidad relacionada con los atropellamientos de fauna silvestre. Al realizar una indagación a los estudios previos es posible identificar patrones que favorezcan la toma de decisiones en la implementación de medidas de mitigación y prevención. Por esta razón, el compendio de la información existente se convierte en una herramienta clave para la elaboración de planes de conservación y mitigación de los efectos de las carreteras sobre la fauna silvestre.

### **Agradecimientos**

Al proyecto: Identificación de los vertebrados muertos en vías de transporte en el Área Metropolitana de Manizales, Caldas, Colombia. Proyecto del Semillero de Investigación en Mastozoología SIMAS con la participación de los estudiantes, Andrés Fernando Tamayo Zuluaga, Angélica Castellanos Gutiérrez, Ingrith Yuliany Mejía Fontecha, Jose Jaime Henao Osorio, Sofía Terán Sánchez, Yuliana Escobar Aguirre. Financiador: Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas. Fechas: 01/03/2021 a 01/03/2022. Financiador: Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados de la Universidad de Caldas, código: 0126021.

## LITERATURA CITADA

- Acevedo, J. L. (1996). Conexión vial Aburrá-Cauca: Estudio de impacto ambiental. Medellín. 244 p.
- Acosta Galvis, A. R. (2022). Lista de los Anfibios de Colombia: Referencia en línea V.12.2022 (Fecha de acceso). Página web accesible en <http://www.batrachia.com>; Batrachia, Villa de Leyva, Boyacá, Colombia.
- Alfonsín, M., & Bucetto, M. S. (2019). Las especies en peligro de extinción y los mecanismos para la recuperación y conservación de la biodiversidad: Un estudio sobre la viabilidad de los mecanismos y las trabas burocráticas. *LEX*, 17, 297–324. <https://doi.org/10.21503/lex.v17i23.1680>
- Andrade Ponce, G. P., Montaña-Salazar, S. M., Riveros-Loaiza, L. M., Ramírez-Cháves, H. E., & Suárez-Castro, A. F. (2016). Estado del conocimiento y prioridades de investigación sobre las familias Canidae, Mephitidae y Procyonidae (Mammalia: Carnivora) en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(156), 500–513. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.327>
- Arias-Alzate, A., Sánchez-Londoño, J. D., Botero-Cañola, S., & González-Maya, J. F. (2014). Recent confirmed records of the Oncilla (*Leopardus tigrinus*) in the department of Antioquia, Colombia. *Mammalogy Notes*, 1(2), 4–5.
- Arroyave, M., Gómez, C., Gutiérrez, M., Múnera, D., Zapata, P., Vergara, I., ... Ramos, K. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA*, (5), 45–57. <https://doi.org/10.24050/reia.v3i5.146>
- Ascensão, F., Lucas, P. S., Costa, A., & Bager, A. (2017). The effect of roads on edge permeability and movement patterns for small mammals: A case study with Montane Akodont. *Landscape Ecology*, 32(4), 781–790. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0485-z>
- Asociación Colombiana de Ornitología (2020): Lista de referencia de especies de aves de Colombia - 2020. v2. Asociación Colombiana de Ornitología. Dataset/Checklist. <http://doi.org/10.15472/qhsz0p>
- Astwood-R, J. A., Reyes-D, M. C., Rincón-A, M. T., Pachón-G, J., Eslava-M, P. R., & Parra-S,

- C. A. (2018). Reptile mortality on roads in the Colombian eastern llanos foothill | Mortalidad de reptiles en carreteras del piedemonte de los llanos orientales colombianos. *Caldasia*, 40(2), 321–334. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.67578>
- Bager, A., & Fontoura, V. (2013). Evaluation of the effectiveness of a wildlife roadkill mitigation system in wetland habitat. *Ecological Engineering*, 53, 31-38.
- Baine, M., Howard, M., Taylor, E., James, J., Velasco, A., Grandas, Y., & Hartnoll, R. (2007). The development of management options for the black land crab (*Gecarcinus ruricola*) catchery in the San Andres Archipelago, Colombia. *Ocean and Coastal Management*, 50(7), 564–589. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.02.007>
- Bedoya-V, M. M., Arias-Alzate, A., & Delgado-V, C. A. (2018). Roadkills in the urban road network of five cities in the Aburrá valley (Antioquia, Colombia). *Caldasia*, 40(2), 335–348. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.68297>
- Bouchard, J., Ford, A. T., Eigenbrod, F. E., & Fahrig, L. (2009). Behavioral responses of northern leopard frogs (*Rana pipiens*) to roads and traffic: implications for population persistence. *Ecology and Society*, 14(2), 23. <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art23/>
- Cabrera-Casas, L. X., Robayo-Palacio, L. M., & Vargas-Salinas, F. (2020). Persistence of snake carcasses on roads and its potential effect on estimating roadkills in a megadiverse country. *Amphibian & Reptile Conservation*, 14(1), 163–173.
- Calderón, J. T., Prada, R. M., & Loyo, G. A. (2013). Métodos de evaluación de impacto ambiental en Colombia. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 43–53. <https://doi.org/10.22490/21456453.990>
- Case, R. M. (1978). Interstate Highway Road-Killed Animals: A Data Source for Biologists. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 6(1), 8–13. <http://www.jstor.org/stable/3781058>
- Castillo-R, J. C., Urmendez-M, D., & Zambrano-G, G. (2015). Mortalidad de fauna por atropello Vehicular en un sector de la Vía Panamericana entre Popayán y Patía. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 19(2), 207–219.
- Cirino, D. W., Lupinetti-Cunha, A., Freitas, C. H., & de Freitas, S. R. (2022). Do the roadkills of

different mammal species respond the same way to habitat and matrix? *Nature Conservation*, 47, 65–85.

Clevenger, A. P., Chruszcz, B., & Gunson, K. E. (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological conservation*, 109(1), 15-26.

Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>

Costa, L. L., Secco, H., Arueira, V. F., & Zalmon, I. R. (2020). Mortality of the Atlantic ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) due to vehicle traffic on sandy beaches: A road ecology approach. *Journal of Environmental Management*, 260, 110168. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110168>

Da Silva, A. C. F. B., De Menezes, J. F. S., & Santos, L. G. R. O. (2022). Roadkill risk for capybaras in an urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 222, 104398. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104398>

de la Ossa Nadjar, O., & 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 - RECIA*, 5(1), 158–164. <https://doi.org/10.24188/recia.v5.n1.2013.481>

de la Ossa, V., j., De la Ossa-Nadjar, O., & Medina-Bohórquez, E. (2015). Atropellamiento de fauna silvestre. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 7(1), 109–116. <https://doi.org/10.24188/recia.v7.n1.2015.430>

Delgado-V., C. A. (2007). Muerte De Mamíferos Por Vehículos En La Vía Del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia Roadway Mortality of Mammals on the El Escobero Road, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 29(87), 229–233. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-35842007000200007&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842007000200007&lang=es)

Dickinson, J. L., Zuckerberg, B., & Bonter, D. N. (2010). Citizen science as an ecological research tool: Challenges and benefits. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 41(1), 149–172. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636>

- Esperandio, I. B. (2011). *Padrões espaciais de mortalidade de mamíferos silvestres e domésticos na Rodovia Rota do Sol* [Tesinas de grado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/35348>
- Esperandio, I. B., Ascensão, F., Kindel, A., Tchaicka, L., & de Freitas, T. R. O. (2019). Do roads act as a barrier to gene flow of subterranean small mammals? A case study with *Ctenomys minutus*. *Conservation Genetics*, 20(2), 385–393. <https://doi.org/10.1007/s10592-018-01139-z>
- Fernández-Rodríguez, C., Racero, J., & Calvano-Zúñiga, A. (2020). New records of Jaguar (*Panthera onca*) in the department of Cesar, Colombia. *Mammalogy Notes*, 6(1), 119–119. <https://doi.org/10.47603/manovol6n1.mn0119>
- Florido Cuellar, B. A. (2015). *Evaluación del impacto ambiental en la construcción de la doble calzada Girardot-Ibagué sobre la avifauna en el Municipio de Ibagué Tolima* [Tesis, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.17968>
- Forman, R. T. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), 207–231. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>
- Foster, M. L., & Humphrey, S. R. (1995). Use of Highway Underpasses by Florida Panthers and Other Wildlife. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 23(1), 95–100. <http://www.jstor.org/stable/3783202>
- Freitas, S., Oliveira, A., Ciocheti, G., Vieira, M., & Silva Matos, D. (2014). How landscape patterns influence road-kill of three species of mammals in the Brazilian savanna. *Oecologia Australis*, 18(1), 35–45. <https://doi.org/10.4257/oeco.2014.1801.02>
- Gardiner, M. M., Allee, L. L., Brown, P. M., Losey, J. E., Roy, H. E., & Smyth, R. R. (2012). Lessons from lady beetles: Accuracy of monitoring data from US and UK citizen-science programs. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(9), 471–476. <https://doi.org/10.1890/110185>
- Glista, D. J., DeVault, T. L., & DeWoody, J. A. (2008). Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. *Herpetological conservation and Biology*, 3(1), 77–87.

[https://www.herpconbio.org/Volume\\_3/Issue\\_1/Glista\\_etal\\_2008.pdf](https://www.herpconbio.org/Volume_3/Issue_1/Glista_etal_2008.pdf)

- Godet, C., Tarabon, S., Coskun, T., & Clauzel, C. (2023). Is there a spatial match between roadkill and mitigation measures identified by functional connectivity modeling? *Journal for Nature Conservation*, 76, 126491.
- Gottdenker, N., Wallace, R. B., & Gómez, H. (2001). La importancia de los atropellos para la ecología y conservación: *Dinomys branickii* un ejemplo de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 35, 61–67. <https://ecologiaenbolivia.com/documents/Gottdenker-35.pdf>
- Grilo, C., Coimbra, M. R., Cerqueira, R. C., Barbosa, P., Dornas, R. A. P., Gonçalves, L. O., Teixeira, F. Z., Coelho, I. P., Schmidt, B. R., Pacheco, D. L. K., Schuck, G., Esperando, I. B., Anza, J. A., Beduschi, J., Oliveira, N. R., Pinheiro, P. F., Bager, A., Secco, H., Guerreiro, M., ... Kindel, A. (2019). Brazil Road-Kill: A Dataset of Wildlife Terrestrial Vertebrate Road-Kills. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 100(1), e01449. <https://doi.org/10.1002/bes2.1449>
- Gutiérrez-Cifuentes, D. F., Brand-Alape, A., & Mantilla-Meluk, H. (2013). Primer espécimen de la Colección de Mamíferos de la Universidad del Quindío (CMUQ): registro de *Eptesicus chiriquinus* (Chiroptera: Vespertilionidae) por atropellamiento en la Autopista del Café, Quindío, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 3(2), 131–136.
- HBW and BirdLife International. (2021). Handbook of the Birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the world. Version 6.0 (December 2021). Available at: [http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/Taxonomy/HBW-BirdLife\\_Checklist\\_v6\\_Dec21.zip](http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/Taxonomy/HBW-BirdLife_Checklist_v6_Dec21.zip)
- Heigl, F., Horvath, K., Laaha, G., & Zaller, J. G. (2017). Amphibian and reptile road-kills on tertiary roads in relation to landscape structure: using a citizen science approach with open-access land cover data. *BMC ecology*, 17(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12898-017-0134-z>
- Hernández, L. A. (1994). Estudios de impacto ambiental y sus tendencias en Colombia. *Agronomía colombiana*, 11(2), 219–227.
- Hoffmann, M., Hilton-Taylor, C., Angulo, A., Böhm, M., Brooks, T., Butchart, S., Carpenter, K.,

- Chanson, J., Collen, B., Cox, N., Darwall, W., Dulvy, N., Harrison, L., Katariya, V., Pollock, C., Quader, S., Dewhurst-Richman, N., Rodrigues, A., Tognelli, M., & Stuart, S. (2010). The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *Science*, 330, 1503-1509. <https://doi.org/10.1126/science.1194442>
- Holguín, Contreras, O. S. (2019). *Patrones espaciales, temporales y apreciaciones sociales asociados al atropellamiento de hormigueros (Xenarthra: Vermilingua) en la vía Marginal de la Selva, Colombia* [Trabajo de grado]. Pontificia Universidad Javeriana.
- INVIAS. (2022). Estado de la red vial. Segundo semestre 2021. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>
- IUCN. (2021). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021–3. <https://www.iucnredlist.org>. Accessed on [31 05 2022].
- Jaeger, J. A., Bowman, J., Brennan, J., Fahrig, L., Bert, D., Bouchard, J., ... & von Toschanowitz, K. T. (2005). Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological modelling*, 185(2-4), 329–348.
- Jaramillo Fayad, J. C., González M, J. L., Velazquez L, M. M., Correa Ayram, C., & Cubides, P.-I. (2017). Los animales atropellados de Colombia. *Instituto Tecnológico Metropolitano; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2017/cap2/206/#seccion11>
- Klippel, A. H., Oliveira, P. V., Britto, K. B., Freire, B. F., Moreno, M. R., Dos Santos, A. R., ... & Paneto, G. G. (2015). Using DNA barcodes to identify road-killed animals in two Atlantic Forest nature reserves, Brazil. *PloS one*, 10(8), e0134877. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134877>
- Laurance, W., & BBVA. (2009). Carretera a la ruina: la expansión de las redes de transporte pone en peligro la biodiversidad global. *Las múltiples caras de la globalización*.
- Lawton, G. (2018). Road kill. *New Scientist*, 239 (3193), 36–41. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(18\)31575-6](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(18)31575-6)
- López-Herrera, D. F., León-Yusti, M., Guevara-Molina, S. C., & Vargas-Salinas, F. (2016).

- Reptiles en corredores biológicos y mortalidad por atropellamiento vehicular en Barbas-Bremen, departamento del Quindío, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(156), 484. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.334>
- Lozano, J. A., & Patiño-Siro, D. (2020). Does the shape of the road influences wildlife roadkills? Evidence from a highway in Central Andes of Colombia. *European Journal of Ecology*, 6(1), 58–70. <https://doi.org/10.17161/eurojecol.v6i1.13688>
- Macias, D., Shin, Y., & Borzée, A. (2021). An update on the conservation status and ecology of Korean terrestrial squamates. *Journal for Nature Conservation*, 60, 125971. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.125971>
- Mammal Diversity Database. (2022). Mammal Diversity Database (1.9) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6407053>.
- McGregor, R. L., Bender, D. J., & Fahrig, L. (2008). Do small mammals avoid roads because of the traffic? *Journal of Applied Ecology*, 45(1), 117–123. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01403.x>
- Meza-Joya, F. L., Ramos, E., & Cardona, D. (2019). Spatio-temporal patterns of mammal road mortality in middle magdalena valley, Colombia. *Oecologia Australis*, 23(3), 575–588. <https://doi.org/10.4257/oeco.2019.2303.15>
- Monge-Nájera, J. (2018). Road kills in tropical ecosystems: A review with recommendations for mitigation and for new research. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 722–738. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33404>
- Monge-Velázquez, M., Langen, T., & Saenz, J. (2022). Seasonal High Road Mortality of *Incilius luetkenii* (Anura: Bufonidae) Along the Pan-American Highway Crossing the Guanacaste Conservation Area, Costa Rica. *Herpetological Conservation and Biology*, 17(1), 14–21. <http://hdl.handle.net/11606/1553>
- Monroy, M. C. (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. <https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i27.106>
- Morantes, P. J. (2017). *Caracterización de las iniciativas encaminadas a reducir la mortalidad de*



*fauna silvestre en carretera: panorama Colombia.* Recuperado de:  
<http://hdl.handle.net/10654/16945>

- Moreno, L. A., Andrade, G. I. y Gómez, M. F. (Eds.). (2019). Biodiversidad 2018. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 82 p.  
<http://hdl.handle.net/20.500.11761/35365>
- Naranjo, V. B., Cañete, C. P., Norambuena, H., & Zuleta, C. (2019). Puntos calientes y factores asociados al atropello de aves rapaces en una ruta costera de la zona semiárida de Chile central. *Ornitología Neotropical*, 30, 208–216. <https://doi.org/10.58843/ornneo.v30i0.387>
- Pérez, G. J. (2005). *La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia* (No. 012679). Banco de la República-Economía Regional.  
<https://doi.org/10.32468/dtseru.64>
- Pinto, F. A. S., Clevenger, A. P., & Grilo, C. (2020). Effects of roads on terrestrial vertebrate species in Latin America. *Environmental Impact Assessment Review*, 81, 106337.  
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106337>
- Portocarrero-Aya, M., Corzo, G., & Chaves, M. E. (2015). Catálogo de biodiversidad para las regiones andina, pacífica y piedemonte amazónico. Nivel regional, 2, 175.  
<http://hdl.handle.net/20.500.11761/9308>
- Primack, R. B. 1998. *Essentials of conservation biology*. 2nd ed. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, USA. 659 p
- Quintero-Ángel, A., Osorio-Dominguez, D., Vargas-Salinas, F., & Saavedra-Rodríguez, C. A. (2012). Roadkill rate of snakes in a disturbed landscape of Central Andes of Colombia. *Herpetology Notes*, 5, 99–105.
- Ramírez-Chaves H E, Suárez Castro A F, Morales-Martínez D M, Rodríguez-Posada M E, Zurc D, Concha Osbahr D C, Trujillo A, Noguera Urbano E A, Pantoja Peña G E, González Maya J F, Pérez Torres J, Mantilla Meluk H, López Castañeda C, Velásquez Valencia A, Zárrate Charry D (2021): Mamíferos de Colombia. v1.12. Sociedad Colombiana de Mastozoología. Dataset/Checklist.

- Ramírez-Chaves, H. E., López-Ordóñez, J. P., Aya-Cuero, C. A., Velásquez-Guarín, D., Cardona-Giraldo, A., Atuesta-Dimian, N., Morales-Martínez, D. M., & Rodríguez-Posada, M. E. (2020). Filling distribution gaps: new records of the Brazilian Porcupine, *Coendou prehensilis* (Linnaeus, 1758) (Mammalia, Rodentia), in 10 departments of Colombia. *Check List* 16(4), 927–932. <https://doi.org/10.15560/16.4.927>
- Ramírez-Chaves, H. E., Torres-Martínez, M. M., Henao-Osorio, J. J., Osbahr, K., Concha-Osbahr, C., Passos, F. C., & Noguera-Urbano, E. (2022). Distribution update, male genitalia, natural history, and conservation of the stump-tailed porcupine *Coendou rufescens* in South America. *Mammalia*, 86(2), 160–170. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2021-0025>
- Ramírez-Chaves, H., & Pérez, W. A. (2015). New record of crab-eating fox *Cerdocyon thous* in southwestern Colombia with comments on its distribution in Colombia and Ecuador. *Canid Biology & Conservation*, 18, 6–9.
- Ramos Pallares, E., & Meza-Joya, F. (2018). Reptile road mortality in a fragmented landscape of the middle Magdalena Valley, Colombia. *Herpetology Notes*, 11, 81–91.
- Ramos-Gutiérrez, C. R. (1996). Carretera al mar, vereda Tunal-Santa Fe de Antioquia. 105p. [citado en: Arroyave et al. 2006]
- Riffell, S. K. (1999). Road mortality of dragonflies (Odonata) in a great lakes coastal wetland. *The Great Lakes Entomologist*, 32(1 & 2), 9. <https://scholar.valpo.edu/tgle/vol32/iss1/9>
- Rincón-Aranguri, M., Urbina-Cardona, N., Galeano, S. P., Bock, B. C., & Páez, V. P. (2019). Road Kill of Snakes on a Highway in an Orinoco Ecosystem: Landscape Factors and Species Traits Related to Their Mortality. *Tropical Conservation Science*, 12, 194008291983083. <https://doi.org/10.1177/1940082919830832>
- Rodda, G. H. (1990). Highway madness revisited: roadkilled *Iguana iguana* in the llanos of Venezuela. *Journal of Herpetology*, 24(2), 209–211. <https://doi.org/10.2307/1564234>
- Rodríguez-Castro, K. G., Ciocheti, G., Ribeiro, J. W., Ribeiro, M. C., & Galetti, P. M. (2017). Using DNA barcode to relate landscape attributes to small vertebrate roadkill. *Biodiversity and Conservation*, 26(5), 1161–1178. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1291-2>

- 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>
- Rojano, C., Chacón Pacheco, J., & Polo, A. (2016). El oso melero (*Tamandua mexicana*) en el Caribe colombiano: Aportes sobre su ecología y amenazas. *Edentata*, 17, 17–24.
- Rojas-Morales, J. A., Marín-Martínez, M., & Zuluaga-Isaza, J. C. (2018). Taxonomic and ecogeographical aspects of some snakes (Reptilia: Colubridae) from the influence area of the Miel I hydroelectric project, Caldas, Colombia. *Biota colombiana*, 19(2), 73–91.
- Rudas, G., Marcelo, D., Armenteras, D., Rodríguez, N., Morales, M., Delgado, L. C., & Sarmiento, A. (2007). Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia. *Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.
- Rytwinski, T., & Fahrig, L. (2015). The impacts of roads and traffic on terrestrial animal populations. *Handbook of road ecology*, 237–246.
- Saccheri, I., Kuussaari, M., Kankare, M., Vikman, P., Fortelius, W., & Hanski, I. (1998). Inbreeding and extinction in a butterfly metapopulation. *Nature*, 392(6675), 491–494.
- Santos, R. A. L., & Ascensão, F. (2019). Assessing the effects of road type and position on the road on small mammal carcass persistence time. *European Journal of Wildlife Research*, 65(1), 8.
- Santos, R. A. L., & Ascensão, F. (2019). Assessing the effects of road type and position on the road on small mammal carcass persistence time. *European Journal of Wildlife Research*, 65(1), 1–5.
- Schwartz, A. L. W., Shilling, F. M., & Perkins, S. E. (2020). The value of monitoring wildlife roadkill. *European Journal of Wildlife Research*, 66(1), 18. <https://doi.org/10.1007/s10344-019-1357-4>
- 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, e01584. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01584>

- Slater, F. M. (2002). An assessment of wildlife road casualties—the potential discrepancy between numbers counted and numbers killed. *Web Ecology*, 3(1), 33-42.
- Swinnen, K. R., Jacobs, A., Claus, K., Ruyts, S., Vercayie, D., Lambrechts, J., & Herremans, M. (2022). ‘Animals under wheels’: Wildlife roadkill data collection by citizen scientists as a part of their nature recording activities. *Nature Conservation*, 47, 121–153. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.47.72970>
- Taylor, B. D., & Goldingay, R. L. (2010). Roads and wildlife: impacts, mitigation and implications for wildlife management in Australia. *Wildlife Research*, 37(4), 320–331. <https://doi.org/10.1071/WR09171>
- Toro-Garay, G. H., Otero, M. P., Valderrama-Ardila, C., & Escobedo, F. J. (2021). Panthera Onca Corridors: A Spatially Explicit Analysis of Habitat Change Drivers and Potential Conservation Areas in the Bajo Magdalena, Colombia (Corredores de *Panthera onca*: Un análisis espacialmente explícito de los impulsores del cambio de hábitat y las posibles áreas de conservación en el Bajo Magdalena, Colombia). *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 13(24), 89–107. <https://doi.org/10.22430/21457778.1641>
- Torres, V. (2018). El Desarrollo vial en la Amazonia Colombiana. <https://www.ambienteysociedad.org.co/wp-content/uploads/2018/04/El-desarrollo-vial-en-la-amazonia-colombiana.pdf>
- Torres-Mejía, R. M., Rodríguez, L. L. J., & Lozano-Florez, A. J. (2020). New records of *Leopardus tigrinus* (Carnivora: Felidae) in the Department of Santander, Colombia. *Mammalogy Notes*, 6(2), 142. <https://doi.org/10.47603/mano.v6n2.142>
- Uetz, P., Freed, P., Aguilar, R. & Hošek, J. (2022). *The Reptile Database*. <http://reptile-database.org/>
- Vargas-Salinas, F., & Amézquita, A. (2013). Traffic noise correlates with calling time but not spatial distribution in the threatened poison frog *Andinobates bombetes*. *Behaviour* (150)6, 569–584. <https://doi.org/10.1163/1568539x-00003068>
- Vargas-Salinas, F., Cunnington, G. M., Amézquita, A., & Fahrig, L. (2014). Does traffic noise alter calling time in frogs and toads? A case study of anurans in Eastern Ontario, Canada.

*Urban Ecosystems*, 17(4), 945–953. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0374-z>

- Vargas-Salinas, Fernando, & Baca, H. B. (2009). Herpetofauna asociada a la vegetación de borde de carretera en la región de Anchicayá, Valle del Cauca, pacífico de Colombia. *Revista Novedades Colombianas*, 9(1). 28–37.
- Vargas-Salinas, Fernando, & López-Aranda, F. (2012). ¿Las carreteras pueden restringir el movimiento de pequeños mamíferos en Bosques andinos de Colombia? Estudio de caso en el Bosque de Yotoco, Valle del Cauca. *Caldasia*, 34(2), 409–420.
- Vargas-Salinas, Fernando, Delgado-Ospina, I., & López-Aranda, F. (2011). Mortalidad por atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia. *Caldasia*, 33(1), 121–138.
- Zúñiga-Baos, J. A., & Vera-Pérez, L. E. (2020). Mortalidad de serpientes en la vía El valle de Toledo-Toledo, Antioquia–Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 745–745. <https://doi.org/10.24188/recia.v12.n1.2020.745>

*Figuras*

Figura 1. Tipos de estudios realizados en Colombia que relaciona la fauna silvestre con las vías

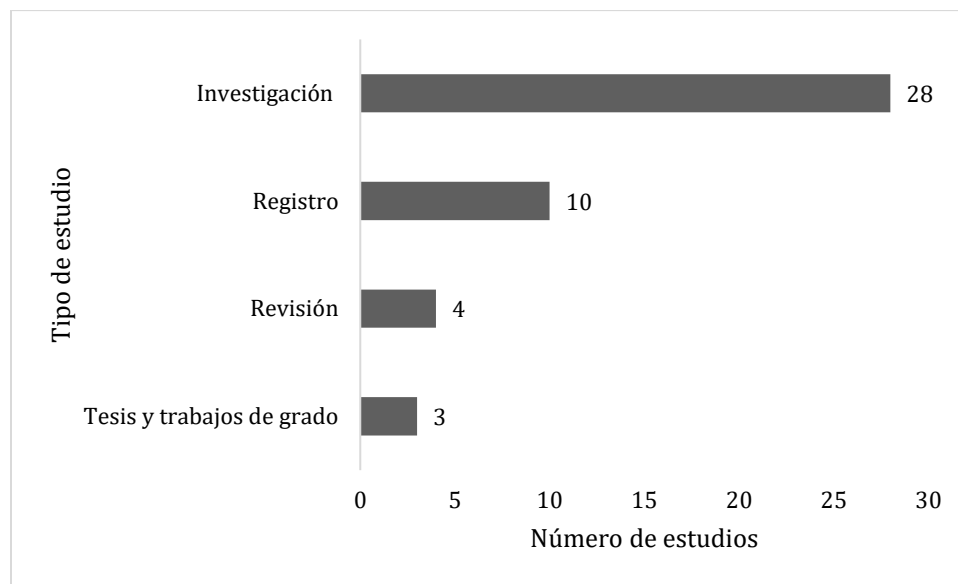


Figura 2. Estudios publicados por año, relacionados con la infraestructura vial y la fauna silvestre en Colombia.

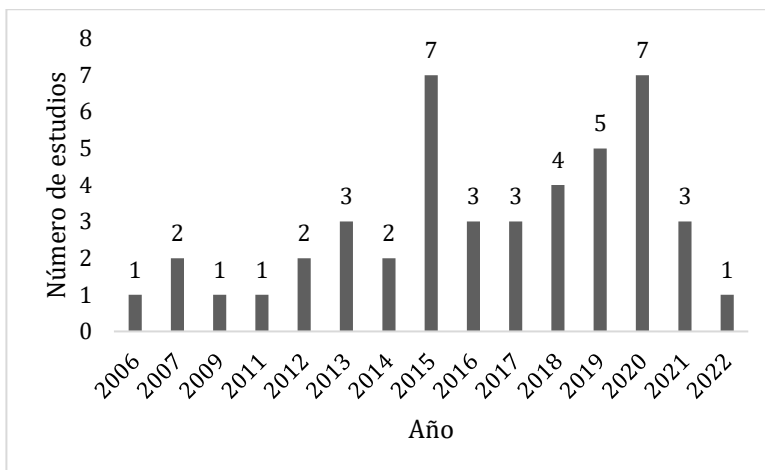


Figura 3. Estudios de atropellamiento de fauna silvestre realizados en Colombia de acuerdo con el grupo taxonómico.

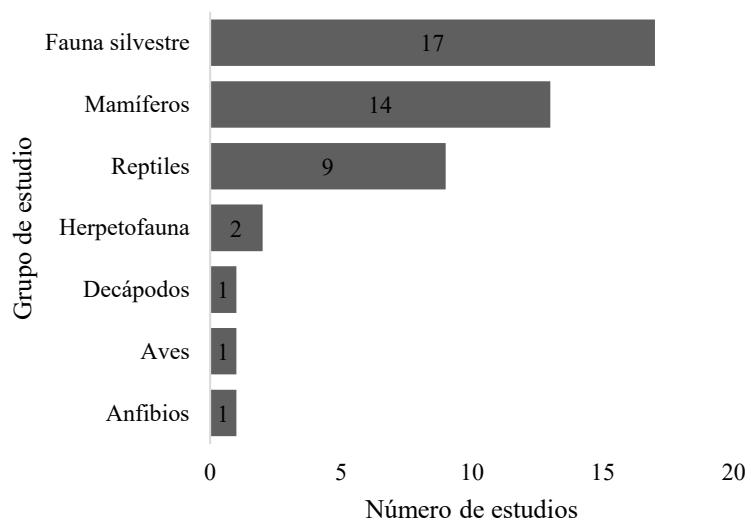




Figura 4. Registros de fauna silvestre atropellada en Colombia entre el 2006 y el primer semestre de 2022.

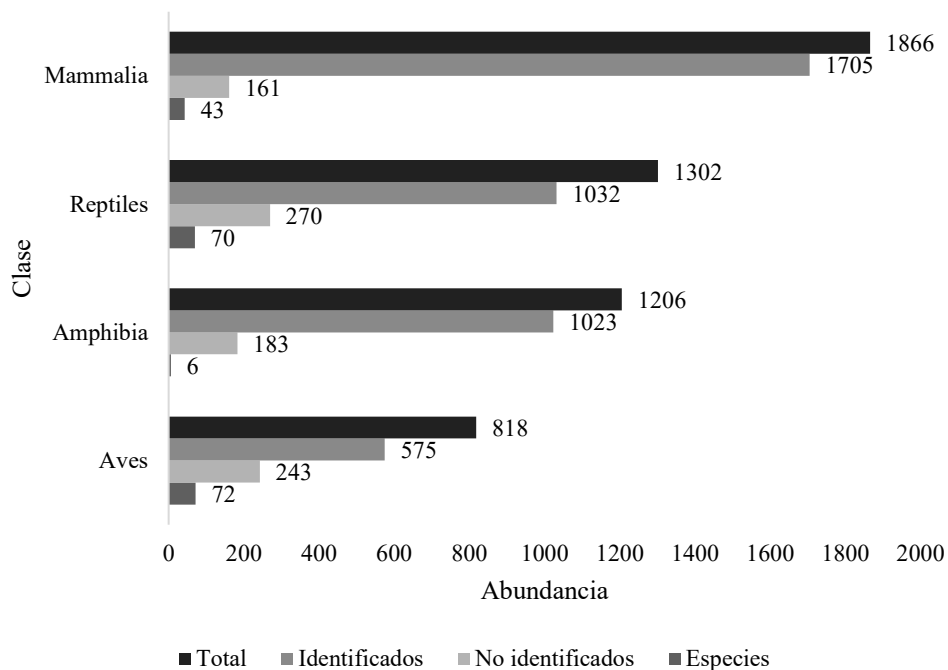


Figura 5. Abundancia de especies registradas atropelladas en las diferentes regiones naturales de Colombia.

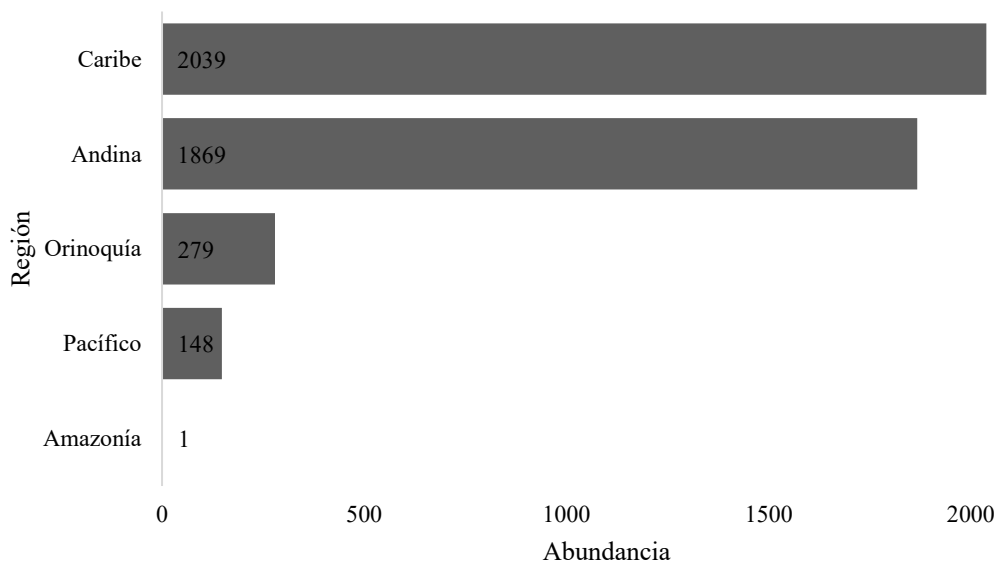


Figura 6. Abundancia y número de especies registradas atropelladas en Colombia por categoría altitudinal. I = 0-499 m, II = 500-999 m, III = 1000-1499 m, IV = 1500-1999 m, V = > 2000 m

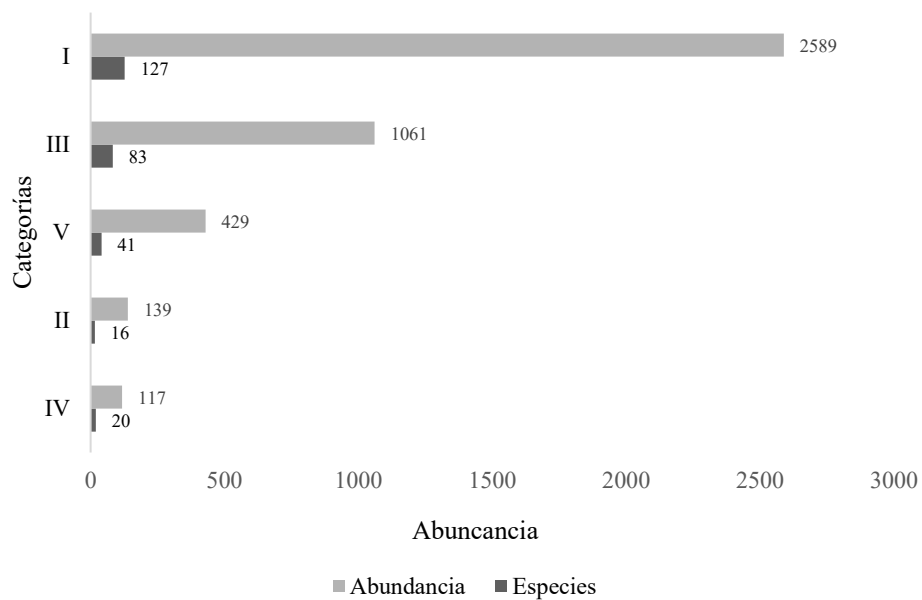
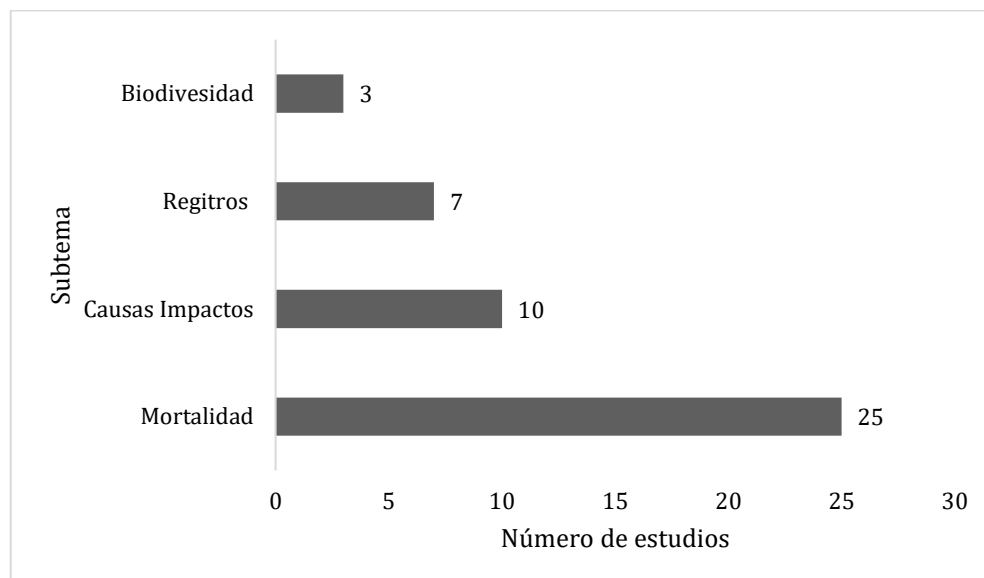


Figura 7. Número de estudios realizados por subtema sobre la relación de la fauna silvestre con las vías en Colombia.



**Tablas**

Tabla 1. Especies de fauna silvestre amenazadas en Colombia registradas como atropelladas en los estudios revisados.

Clase	Especie	(IUCN)	Resolución 1912	Número de registros	Referencia
Mamíferos	<i>Cebus versicolor</i>	EN	NE	1	Mesa-Joya et al., 2016
Mamíferos	<i>Aotus griseimembra</i>	VU	VU	1	Mesa-Joya et al 2016
Mamíferos	<i>Leopardus tigrinus</i>	VU	VU	8	Delgado-Vélez, 2014 Castillo-R et al., 2015 Medina et al., 2017 Delgado-V, 2007
Mamíferos	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	VU	VU	1	Duran, 2019
Reptiles	<i>Kinosternon scorpioides</i>	NE	VU	1	De la Ossa-Nadjar et al., 2015
Reptiles	<i>Trachemys callirostris</i>	NE	VU	2	Ramos & Mesa-Joya 2018 De la Ossa-Nadjar et al., 2015

Tabla 2. Número de estudios relacionados con las vías y fauna silvestre en los departamentos de Colombia

<b>Departamento</b>	<b>Número de estudios</b>
(Incluye varios departamentos)	6
Antioquia	6
Valle del Cauca	5
Quindío	4
Meta	4
Santander	3
Sucre	2
Cesar	2
Cauca	2
Magdalena	2
Caldas	1
Sucre-Bolívar	1
Atlántico-Magdalena	1
San Andrés y Providencia	1
Tolima	1
Cundinamarca	1
Casanare	1
Nariño	1
Santander-Cesar	1
<b>Total, general</b>	<b>45</b>

Tabla 3. Número de estudios realizados en Colombia, por región, subtema e índice calculado de vacío de información.

<b>Región</b>	<b>Número de estudios</b>	<b>Vacíos de información</b>
<b>Andina</b>	<b>19</b>	0.25
Mortalidad	11	
Registros	5	
Causas e impactos	4	
<b>Caribe</b>	<b>8</b>	0.5
Mortalidad	6	
Registros	2	
<b>Insular</b>	<b>1</b>	0.75
Causas e impactos	1	
<b>Orinoquía</b>	<b>5</b>	0.75
Mortalidad	5	
<b>Pacífico</b>	<b>5</b>	0.25
Causas e impactos	2	
Mortalidad	2	
Biodiversidad	1	
<b>Amazonía</b>	<b>0</b>	0.00
<b>Colombia</b>	<b>6</b>	N/A
Causas e impactos	3	
Mortalidad	1	
Biodiversidad	2	

## CAPÍTULO II

### VERTEBRADOS ATROPELLADOS EN UN TRANSECTO ALTITUDINAL EN LA CORDILLERA CENTRAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS (COLOMBIA) Y SU RELACIÓN CON LOS FACTORES AMBIENTALES

#### RESUMEN

El aumento de la urbanización y la expansión de las infraestructuras viales, ligado al crecimiento poblacional han generado preocupación, sobre el impacto negativo que generan las vías a la fauna silvestre, como lo es la mortalidad por colisión con vehículos. Esta problemática se ha venido estudiando en Colombia de forma sistemática y mostrando sus resultados a la comunidad científica desde el año 2006. La mayoría de estos estudios han documentado los registros de fauna atropellada registrando al menos 191 especies vulnerables a morir en las vías de Colombia, sin embargo, existen grandes vacíos de información como lo es la falta de estudios en determinadas áreas geográficas, y la falta de estudios enfocados en conocer las causas y relaciones que facilitan estos eventos. El objetivo de esta investigación es comprender los factores ambientales que contribuyen a esta problemática, con especial énfasis en una vía de la región Andina, compuesta de un gradiente altitudinal, con variada geometría de la vía y diferentes usos de la tierra. Para lograr este objetivo, se llevaron a cabo recorridos a lo largo de la vía, registrando la ubicación y especie de los individuos atropellados. Se emplearon técnicas de análisis de patrones espaciales para identificar la relación entre la distribución de los eventos de atropello y factores bióticos y abióticos encontrados en la vía de estudio. Registramos la mortalidad de fauna silvestre atropellada por vehículos durante 15 meses a lo largo de 46 kilómetros de vía pavimentada sobre zonas agrícolas, urbanas, industriales y áreas protegidas en el departamento de Caldas. Encontramos 70 individuos sobre la vía, aparentemente atropellados por vehículos; los individuos encontrados corresponden a 26 especies. Los mamíferos fueron los más atropellados ( $n = 36$ ) con un total de 11 especies, seguido de aves ( $n = 21$ ) representadas por 10 especies, Reptilia ( $n = 11$ ) representada con al menos 4 especies y Amphibia ( $n = 2$ ) con una especie. La zarigüeya común *Didelphis marsupialis* fue la especie con mayor número de registros y representó el 20 % del total de los eventos de atropellamiento, En segundo lugar, *Nasua olivacea* contó con 4 registros, y *Rattus rattus*,

*Chamaepetes goudotii*, *Coendou rufescens* y *Myotis keaysi* con 3 registros. En curvas de transición encontramos el mayor número de individuos atropellados ( $n = 55$ ) al igual que en las áreas agrícolas ( $n = 26$ ). La poca visibilidad, la velocidad a la que los vehículos transitan en estas curvas y el recurso alimenticio que proveen las zonas agrícolas, son los principales factores que influyen sobre el número de individuos atropellados. Continuar realizando este tipo de estudios en el que se incluyan diferentes variables ambientales y temporales además que se abarquen todas las regiones de Colombia por igual, empleando metodologías comparables como la longitud y frecuencia de los recorridos, es fundamental para obtener estimaciones más precisas de la riqueza de especies afectadas por las vías y mejoraría la comprensión de las causas que determinan estos eventos, ayudando a identificar patrones con respecto a diferentes variables, de esta forma podríamos generar estrategias efectivas en la mitigación de las consecuencias.

**Palabras Clave:** agricultura, fauna silvestre, geometría vial, usos de la tierra, vías, urbanización.

#### ABSTRACT

The increase in urbanization and the expansion of road infrastructures, linked to population growth, have generated concern about the negative impact of roads on wildlife, such as mortality due to collision with vehicles. This problem has been systematically studied in Colombia and its results have been presented to the scientific community since 2006. Most of these studies have documented the records of fauna that have been roadkill, registering at least 191 species vulnerable to roadkills on Colombian roads; however, there are large gaps in information such as the lack of studies in certain geographic areas, and the lack of studies focused on the causes and relationships that facilitate these events. The aim of this research is to understand the environmental factors that contribute to this problem, with special emphasis on a road in the Andean region, composed of an altitudinal gradient, varied road geometry and different land uses. To achieve this objective, we carried out walks along the road, recording the location and species of the individuals that were roadkill. Spatial pattern analysis techniques were used to identify the relationship between the distribution of roadkill events and biotic and abiotic factors found along the study road. We recorded the mortality of roadkilled wildlife during 15 months along 46 kilometres of paved road



over agricultural, urban, industrial, and protected areas in the department of Caldas. We found 70 individuals on the road, apparently roadkill by vehicles; the individuals found correspond to 26 species. Mammals were the most frequently roadkill ( $n = 36$ ) with a total of 11 species, followed by birds ( $n = 21$ ) represented by 10 species, Reptilia ( $n = 11$ ) represented with at least 4 species and Amphibia ( $n = 2$ ) with one species. The common opossum, *Didelphis marsupialis*, was the species with the highest number of records and represented 20 % of the total number of roadkill events. In second place, *Nasua olivacea* had 4 records, and *Rattus rattus*, *Chamaepetes goudotii*, *Coendou rufescens* and *Myotis keaysi* with 3 records. In transition curves we found the highest number of roadkilled individuals ( $n = 55$ ) as well as in agricultural areas ( $n = 26$ ). The low visibility, the speed at which vehicles travel in these curves and the food resources provided by the agricultural areas are the main factors that influence the number of roadkilled individuals. Continuing this type of studies that include different environmental and temporal variables and that cover equally all regions of Colombia, using comparable methodologies such as the length and frequency of the routes, is essential to obtain more accurate estimates of the species richness affected by the roads and would improve the understanding of the causes that determine these events, helping to identify patterns with respect to different variables, and in this way we could generate effective strategies to mitigate the consequences.

**Key words:** agriculture, land use, roadways, road geometry, urbanization, wildlife.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico y demográfico en países en desarrollo, impulsados por la construcción de vías, genera alteraciones significativas en los ecosistemas. Estas modificaciones afectan tanto a los componentes bióticos como a los abióticos y generan una pérdida de biodiversidad, por la mortalidad directa, la degradación y la fragmentación del hábitat (Coffin, 2007; Van Der Ree et al., 2015; Lin, 2016; Ibisch et al., 2016; Silva et al., 2019).

Países como China proyectan a futuro su infraestructura vial a la vanguardia de las redes de transporte ecológicas y sostenibles (Wang et al., 2022). En contraste, países como Colombia presentan una red vial inferior a la de países desarrollados, sin embargo, se prevé que a futuro posean tasas más altas de nuevas vías a nivel mundial (Meijer et al., 2018). En regiones tropicales con una alta biodiversidad como Colombia y principalmente los Andes (Rahbek et al 2019), se proyecta un inminente crecimiento de la infraestructura vial, por lo que se hace necesario evaluar cómo afectan las vías la fauna silvestre y el alto riesgo de eventos de atropellamiento principalmente los puntos críticos donde se concentran el mayor número de individuos atropellados, para facilitar el desarrollo de redes de transporte más ecológicas y sostenibles (Lin et al., 2019; Medrano-Vizcaíno et al., 2022).

Los factores que explican la mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento en las vías son múltiples y varían entre taxones. La principal característica que se asocia con los atropellamientos está relacionada con la ecología de cada especie. Patrones estacionales, períodos de actividad, temporada reproductiva, termorregulación, densidad de cada especie y preferencia de hábitat han sido relacionados por algunos autores como factores que influyen en el atropellamiento de fauna silvestre (Clevenger et al. 2003b; Bullock et al., 2011; Canova & Balestrieri, 2019; Arca-Rubio et al., 2023). De acuerdo con Arca-Rubio et al., (2023), la mortalidad por atropellos cambia a través del año, evidenciándose diferentes patrones para cada grupo taxonómico, según las condiciones ambientales adecuadas para cada grupo. Los patrones de atropellamientos en determinados puntos, demuestra que estos se agrupan espacialmente en hábitats específicos o en sitios con diferentes usos de la tierra que los cuales proporcionan determinados recursos, por lo tanto, es posible que la fauna silvestre muere atropellada mientras intentan alcanzar estos recursos (Hu et al., 2005; Clevenger, 2003a). De acuerdo con Lombardi et al., (2023), quienes determinaron por medio de sitios de atropellamiento y sitios de cruce teledados de *Leopardus pardalis pardalis*, que estos eran más atropellados en sitios con parches de bosque más pequeños con relación a los parches con cruce exitoso. Así, parches de bosque más grandes podrían evitar que las especies de fauna silvestre tengan un mayor desplazamiento. La topografía, geometría vial, el paisaje adyacente, el volumen del tráfico, la velocidad y el estado de las carreteras, son factores que también están involucrados el atropellamiento de fauna silvestre (Ospina, 2002; Clevenger, 2003a; Lin, 2016). Sin embargo, las variables relacionadas con las carreteras y el paisaje han sido poco estudiadas. En este estudio nuestro objetivo fue evaluar la relación de los factores ambientales, espaciales,

bióticos, abióticos y ecológicos con las ubicaciones de los eventos de atropellamientos de fauna silvestre a lo largo de una vía que atraviesa ecosistemas andinos y subandinos en la cordillera Central de Colombia (departamento de Caldas), mediante observaciones en campo, con el fin de predecir el riesgo de atropellamientos por medio el conocimiento las especies afectadas y los factores implicados. Sin esta información, el diseño e implementación de estrategias de mitigación es limitado ya que no se puede evaluar las acciones y su eficacia en responder a la mortalidad de fauna silvestre y los problemas que esto conlleva (Cuesta & Becerra., 2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Área de estudio*

El estudio se llevó a cabo en la antigua vía que conecta el municipio de Chinchiná con el municipio de Manizales en el departamento de Caldas (4°59'39"N, 75°36'7"W, 1295 m), hasta la Reserva Forestal Torre 4 (5°01'31.2"N 75°22'06.7"W, 3152 m) en el municipio de Manizales. La vía está compuesta por tres tramos de primer orden (Figura 1; Tabla 1). En total analizamos 45.7 km de vía pavimentada, con un gradiente altitudinal entre 1295 m a 3152 m, dividida en los siguientes tramos: i) una carretera de dos carriles (CC) mayormente delimitada por mosaicos de cultivos, como café, plátano, maíz y frijol. ii) Una vía multicarril (MC) rodeada principalmente por tejido urbano continuo. iii) Una vía multicarril (MC) rodeada por zonas industriales y que presenta pequeños fragmentos de bosques riparios y pastos limpios, sin zonas cultivadas (Figura 1).

### *Obtención de datos de la vía de estudio y especies afectadas*

La búsqueda de especímenes atropellados se realizó entre mayo de 2019 y agosto de 2020, dos veces por semana; para un total de 35 recorridos. Los recorridos se realizaron en automóvil a una velocidad constante de 30 km/h, con dos ocupantes, en horas de la mañana entre las 06:30 y las 08:30 horas. Se registraron todos los individuos de fauna atropellada incluyendo fauna doméstica.

En cada evento de atropellamiento se registró la coordenada del sitio, registro fotográfico y la identificación de la especie afectada. En algunos casos se procedió a recolectar el espécimen o solo una muestra de tejido para posteriores análisis moleculares. Los especímenes recolectados se depositaron en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas (MHN-UCa). Con estos registros, estimamos la riqueza de especies (S) y el índice relativo de mortalidad (IRM), este valor se determinó dividiendo el número de especímenes atropellados de cada especie, entre el número total de especies registradas atropelladas (Meza-Joya et al., 2019).

Los registros fueron organizados en una lista taxonómica actualizada de acuerdo con las propuestas de Frost (2021) para anfibios, Uetz et al. (2022) para reptiles, Ramírez-Chaves et al. (2021) y Mammal Diversity Database (2022) para mamíferos y el Handbook of Birds of the World and BirdLife International (2021) para aves. La determinación de las especies amenazadas se realizó de acuerdo con la IUCN (2021) en las que se clasifican las especies como En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN) o Vulnerables (VU), y de acuerdo con la evolución de su estado poblacional, y para Colombia según la Resolución 1912 de 2017 “Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional.

### ***Geometría de la vía y usos de la tierra y su relación con los especímenes atropellados***

La geometría de la vía se determinó teniendo en cuenta el manual de diseño geométrico de carreteras (INVIAS 2008). Para ello se cuantifican las curvas como cerradas o de transición y rectas. Para determinar los usos de la tierra y cuantificar el número de curvas y rectas en la vía, se usó el software ArcGis 10.8 con el mapa de coberturas de la tierra, metodología Corine Land Cover escala 1:100.000, periodo 2018 con tres niveles de agregación jerárquica y una capa de la Red Vial Nacional de Carreteras, y se usaron herramientas básicas de geoprocésamiento. Para determinar las coberturas de uso de la tierra alrededor de la vía se utilizó un radio de 400 metros ya que esta distancia abarca un amplio número de usos de la tierra, y con base a este se determinó el área de los usos de la tierra en metros cuadrados y hectáreas. Las coberturas encontradas fueron las siguientes: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpn), Mosaico de pastos y cultivos (Mpc), Zonas industriales o comerciales (Zic), Bosque de galería y ripario (Bgr), Mosaico de

pastos con espacios naturales (Mpn), Tejido urbano discontinuo (Tud), Vegetación secundaria o en transición (Vst), Tejido urbano continuo (Tuc), Pastos enmalezados (Pe), Pastos limpios (Pl), Bosque denso (Bd). Por medio de las diferentes elevaciones a las que fueron encontrados los especímenes atropellados se realizaron tablas y graficas para visualizar patrones.

### *Análisis de datos*

Para obtener una mejor representación del área de muestreo se agruparon las coberturas vegetales en niveles más amplios (Mosaico de cultivos, Pastos, Bosque de galería, Tejido urbano, Vegetación secundaria y Bosque denso) los cuales fueron usados para análisis posteriores.

Se realizó análisis de varianza ANOVA de un solo factor, para evaluar la relación de los atropellos con las variables geométricas de la vía (Curvas cerradas, curvas de transición y rectas), rangos altitudinales (1000-1312 m; 1312-1625 m; 1625-1937 m; 1937-2250 m; 2250-2562 m; 2562-2875 m; 2875-3187 m) y las coberturas vegetales agrupadas anteriormente mencionadas.

## RESULTADOS

Registramos 70 individuos muertos sobre la vía aparentemente atropellados por vehículos. 58 fueron identificados a la categoría taxonómica especie, para un total de 26 especies ( $S = 26$ ). 17 de estos registros no se identificaron correctamente debido a la pérdida de caracteres diagnósticos, como consecuencia del daño causado por vehículos, carroñeros y descomposición (Tabla 2).

Los diferentes grupos de vertebrados se documentaron atropellados en diferentes proporciones. Los anfibios fueron el grupo de vertebrados con el menor número de registros ( $n = 2$ ) de una especie, *Rhinella horribilis*. Para las aves se obtuvo un total de 23 registros correspondientes a 10 especies de las cuales siete no se identificaron, ya que solo se encontraron plumas asociadas con el resto del cuerpo en alto grado de deterioro. Entre las aves se registró un individuo de fauna doméstica, *Gallus gallus* (Tabla 2). Los mamíferos corresponden al grupo con el mayor número de registros ( $n = 36$ ) y especies atropelladas ( $n = 11$ ), de los cuales, la zarigüeya común, *Didelphis*

*marsupialis*, superó en número a las demás especies de vertebrados atropelladas identificadas, representando el 20 % de los individuos y el 38 % de los mamíferos atropellados en la vía de estudio, y presentó el mayor índice relativo de mortalidad (IRM = 0.2). Entre los mamíferos dos de los registros no pudieron ser identificados ya que el alto grado de descomposición y el daño causado por los vehículos dificultó su correcta identificación por lo que solo pudieron ser identificados a nivel de clase (Mammalia). Para los reptiles, se registraron en la vía en 10 individuos de tres especies, cuatro de los registros se identificaron a género y uno de los registros no fue posible identificar por la pérdida de caracteres diagnósticos producto de la descomposición y la colisión con los vehículos. La mayoría de las especies registradas se encuentran en categoría de amenaza Preocupación menor (LC) a excepción de *Nasua olivacea* que se encuentra Casi amenazada (NT) según la IUCN.

La vía de estudio se encuentra entre un intervalo altitudinal comprendido entre los 1295 m y los 3152 m y con diferentes usos de la tierra (Tabla 3). A mayor elevación, el número de eventos de atropellamiento fue menor (Figura 2). En el caso de mamíferos y aves, se observó que los intervalos altitudinales de atropellamiento son más amplios y similares entre sí, pero fueron los mamíferos los que presentaron atropellamientos en un intervalo más amplio. En los reptiles se evidenció que los atropellamientos se dan en un intervalo altitudinal más estable (1728-2302 m). Para el caso de los anfibios no fue posible obtener una visualización más profunda de la tendencia de atropellamientos a través del gradiente altitudinal ya que solo registramos dos individuos en sitios similares de la vía (Figura 3). En general para todos los registros obtenidos se observó una tendencia a concentrarse en determinadas altitudes presentándose la mayor cantidad de registros entre 1300 y 1600 m. De acuerdo con el análisis de varianza ANOVA de un solo factor (Tabla 4), se encontró que hay una diferencia significativa entre el número de atropellamientos en los rangos altitudinales analizados ( $F = 7.875$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.015$ ).

### ***Geometría de la vía, análisis de los usos de la tierra y su relación con los especímenes atropellados***

En total la vía de estudio se encuentra compuesta por 46 kilómetros, 238 curvas de transición, 43 rectas y 25 curvas cerradas, el mayor número de atropellos se presentaron en curvas de transición ( $n = 55$ ), seguido de rectas ( $n = 11$ ) y curvas cerradas ( $n = 4$ ) (Figura 4). Al analizar la vía de estudio por cada kilómetro, se evidenció que los dos picos con mayor número de especies atropelladas corresponden a fragmentos de la vía donde se encuentran más curvas de transición (Figura 5). De acuerdo con los resultados obtenidos por medio del análisis de varianza ANOVA de un solo factor (Tabla 4), se encontró que no hay una diferencia entre el número de atropellamientos en la geometría de la vía de estudio ( $F = 1.78$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.252$ ).

De acuerdo con el número de atropellos por cobertura vegetal basada en los usos de la tierra, se encontró que la cobertura “Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales” presentó el mayor número de especies atropelladas ( $n = 15$ ) (Tabla 3) siendo los mamíferos el grupo más registros ( $n = 6$ ), seguido de Aves ( $n = 5$ ) y reptiles ( $n = 4$ ). Cabe resaltar que esta cobertura es la que tiene mayor número de hectáreas en la vía de estudio (748.6 ha) (Figura 6). En la cobertura vegetal “Mosaico de pastos y cultivos” se registraron 11 individuos atropellados con una extensión de tierra inferior a la anterior (291.7 ha). La cobertura vegetal con menos hectáreas correspondió a “Pastos enmalezados”, en esta cobertura registramos solo tres individuos. En la cobertura vegetal “Bosque denso” registramos un evento de atropellamiento, este no pudo ser identificado ya que presentaba un alto grado de descomposición. Los mamíferos se registraron en todas las coberturas vegetales, teniendo el mayor número de registros en “Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales” y “Bosques de galería y riparios” con seis individuos en cada una (Figura 7). De acuerdo con los resultados obtenidos por medio del análisis de varianza ANOVA de un solo factor (Tabla 4), con las coberturas vegetales agrupadas, se encontró que nuestros datos están cerca a la significancia ( $F = 4.62$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.0570$ ) por lo que se podría decir que las coberturas vegetales a través de un punto dado en la vía pueden llegar a ser decisivo en cuanto al número de individuos atropellados.

## DISCUSIÓN

Encontramos que las variables asociadas a la geometría de la vía están relacionadas con el número de individuos atropellados, siendo las curvas de transición en las que se presentaron mayor número de eventos (55 registros en nuestro estudio). Estudios similares (e.g., Nguyen et al., 2022) encontraron una tendencia similar, a lo largo de secciones curvas de las vías localizaron mayor número de registros, lo que podría estar relacionado con la visión limitada en las curvas generando un tiempo de respuesta insuficiente para evadir la colisión tanto para los conductores como para los animales (Lin, 2016). En otros estudios (Bravo-Naranjo et al., 2019; Lozano & Patiño-Siro, 2020; Llagostera et al., 2022; Santos et al., 2022) se encontró que, por el contrario, en los tramos rectos asociados con altas velocidades hay mayor probabilidad de eventos de atropellamientos, sin embargo, en nuestro estudio el mayor número de individuos atropellados acaece en curvas. De acuerdo con García et al., (2016) algunas curvas podrían comportarse como rectas, principalmente las curvas que presentan un mayor radio, al igual que las curvas de transición, donde los vehículos transitan a una mayor velocidad. El aumento de la velocidad de los vehículos y la visión limitada en las curvas de transición podrían estar provocando el aumento de la mortalidad de fauna en la vía de estudio. Pese a esto los resultados obtenidos por el ANOVA dejan en evidencia que no existe una diferencia significativa entre la geometría de la vía y el número de individuos atropellados. Sin embargo, como ya se mencionó las observaciones realizadas en la fase de muestreo denotan una clara tendencia entre la relación de estas variables. Por lo tanto, es importante que se realicen más estudios teniendo en cuenta la geometría vial para determinar su verdadera relevancia sobre los eventos de atropellamiento.

De acuerdo con los usos de la tierra determinados con Corin Land Cover, las áreas con mayor número de registros fueron aquellas en las que se contaba con áreas agrícolas “Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales” (n = 15) y “Mosaico de pastos y cultivos” (n = 9). Si bien la cobertura “Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales” corresponde al área mejor representada en la vía de estudio, podría entenderse que, a mayor porcentaje de área de cobertura, mayor es el número de eventos de mortalidad, aunque este no es el caso para la cobertura “Mosaico de pastos y cultivos” que apenas cubre el 9.49 % del total de las coberturas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que ambas coberturas proporcionan un recurso alimenticio para la fauna, a pesar de que son áreas modificadas, ya que suelen presentar estructuras de redes ecológicas similares a las zonas boscosas, en la que se reconfiguran nuevas interacciones principalmente relacionadas con el recurso alimenticio (Castaño & Carranza-Quiceno, 2020). La segunda cobertura con mayor



porcentaje correspondió a “Tejido urbano continuo”. Sin embargo, se registraron únicamente tres eventos en estas zonas, lo cual puede atribuirse a las bajas densidades poblacionales de fauna silvestre presentes en estas áreas. De acuerdo con McKinney, (2002); McKinney, (2006) esto se podría explicar por la dificultad que algunas especies tienen para adaptarse a las áreas modificadas por la actividad humana.

En las coberturas vegetales correspondientes a “Bosque de galería y ripario” registramos nueve eventos de atropellamiento, siendo esta una de las coberturas en las que se encontraron mayor número de registros. En este tipo de coberturas se encuentra una alta diversidad de especies y hábitats, al ser pequeños fragmentos de bosque presentes en la región Andina podrían estar funcionando como corredores biológicos (Nores et al., 2005; Herrera et al., 2018), por lo que es posible que en estas zonas sea más frecuente el cruce de fauna silvestre. En cuanto a la cobertura vegetal “Bosque denso”, solo se encontró un registro a pesar de que estas áreas al borde de la carretera representan un alto riesgo para la fauna silvestre (Nguyen et al., 2022). Sin embargo, en nuestro estudio, esta cobertura fue baja, representada con apenas el 2.56 % del total de las coberturas. Por esta razón es posible que no se hayan encontrado más registros de atropellamiento en dicha cobertura, sin embargo, concordando con lo dicho por Lombardi et al., (2023), estas áreas podrían ofrecer mayor calidad de recursos, por lo tanto, las especies no necesitan tener grandes desplazamientos, evitando de esta forma ser atropelladas.

Lo anterior es justificado teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el ANOVA. Donde se evidencia una tendencia a la significancia estadística entre las coberturas vegetales y los atropellamientos ( $p$  valor = 0.057). Esto indica que las coberturas vegetales podrían tener un rol fundamental sobre el número de individuos atropellados en una vía determinada. Los resultados concuerdan con lo reportado por Main & Allen (2002), quienes determinaron que los atropellamientos varían con el uso de la tierra.

Los resultados obtenidos mediante el análisis del gradiente altitudinal en relación con la cantidad de individuos atropellados en la vía de estudio, señalan patrones con respecto a esta variable y se soportan con los resultados del ANOVA, ya que evidenciaron que existen diferencias significativas en el número de individuos atropellados entre los rangos altitudinales evaluados. Si bien los atropellos ocurrieron a lo largo de toda la vía, se observó una concentración notable en ciertos puntos, particularmente a partir de los 1300 metros de altitud. Se sugiere una posible relación entre

la altitud y la incidencia de atropellos, lo que podría estar relacionado con una mayor actividad biológica y biodiversidad en altitudes medias, determinados por factores climáticos y ambientales. Por esta razón la elevación podría estar influyendo en la distribución de la fauna y, seguidamente, en la frecuencia de atropellos. Esta interpretación concuerda con investigaciones previas que han sugerido una relación entre la biodiversidad y la elevación (Nor, 2001; Kattan & Franco, 2004; McCain & Grytnes, 2010).

Como potenciales medidas de manejo y mitigación de casos de atropellamiento, proponemos la reducción de la velocidad en sitios con alta tasa de atropellamientos, mejorar la conectividad del paisaje, y continua educación tanto a conductores sobre la problemática y los problemas que estos acarrearán a la biodiversidad, aunque también se hace necesario la realización continua de estudios que determinen completamente causas que influyen sobre la mortalidad de fauna silvestre en las vías de Colombia. A través de estos se hace más fácil la toma de decisiones para la prevención y mitigación de esta problemática y las correspondientes medidas de manejo. Resaltamos la importancia de considerar factores geográficos en la implementación de medidas de conservación relacionada con la biodiversidad en las vías.

Este tipo de estudio puede ser significativamente mejorado con una medición de las variables del paisaje, la introducción de nuevas variables relacionadas con el ancho de la vía, la velocidad media de los vehículos que transitan y la frecuencia. Adicionalmente, se propone la aplicación de modelos estadísticos que tengan en cuenta todas las variables ya mencionadas.

### ***Especies afectadas***

El grupo de vertebrados más atropellado correspondió a los mamíferos, seguido de aves, reptiles y anfibios; esta misma tendencia fue registrada en el estudio realizado por Campos & da Silva (2023) desarrollado en el sur de Brasil. Para el caso de los mamíferos registramos 11 especies en 33 eventos presentes en todas las coberturas vegetales. De acuerdo con Hill et al., (2021) el desplazamiento, la búsqueda de alimento y el refugio hace que este grupo de vertebrados hagan uso más frecuente de las vías y el entorno de estas por tal razón son más vulnerables a ser

atropellados por vehículos. La zarigüeya común, *D. marsupialis*, fue la especie más atropellada, el 20 % del total de los registros corresponden a esta especie. Otros estudios realizados en Colombia también han encontrado a *D. marsupialis* como la especie más atropellada (Delgado-V 2007; Medina et al., 2017; Meza-Joya et al., 2019; Stasiukynas et al., 2021), lo que podría estar relacionado con las grandes poblaciones, altas tasas de reproducción y la amplia variedad de hábitats que llegan colonizar incluyendo las vías (Cordero 2000; Gaston et al., 2000; Cruz-Salazar et al., 2014).

### ***Limitaciones***

Registramos 70 individuos atropellados correspondientes a 26 especies de vertebrados, en 46 kilómetros de una vía en la región Andina. Estudios realizados en otras regiones de Colombia, constatan una problemática similar, aunque el número de especies afectadas varía, lo que podría estar relacionado con los métodos utilizados para documentar los eventos, Durán (2019) registró al menos 47 especies de vertebrados en 262 registros, Stasiukynas et al., (2020) registraron al igual que en nuestro estudio 26 especies afectadas en una vía de mayor longitud a la de nuestro estudio. En contraste, De La Ossa & Galvan-Guevara, (2015) en una vía de menor longitud, registraron 29 especies y uno de los estudios con resultados similares fue el realizado por Monroy et al., (2015) en una vía de 48 km registraron 28 especies. En lo anterior se evidencia cómo pueden variar el número de especies atropelladas de acuerdo con los diferentes métodos utilizados, por lo tanto, no podríamos asegurar que nuestra vía de estudio se ven representadas tendencias similares a las de otras regiones del país.

Al no contar con una metodología estándar, la comparación entre estudios dificulta la comparación de resultados entre regiones, lo que puede ser relevante en regiones de alta diversidad (Collinson et al., 2014). Nuestro estudio contó con una duración de 15 meses en los que registramos 26 especies de vertebrados, sin embargo, estudios con menor duración, han llegado a registrar mayor número de especies. Por ejemplo, Adárraga-Caballero et al., (2019) registraron 38 especies en cinco meses, Duran (2019) registró 47 especies en cuatro meses. Las diferencias, nuevamente, pueden estar asociadas con la ubicación espacial de los estudios y los diferentes métodos

utilizados, incluyendo la frecuencia de los recorridos. Para obtener mejores estimaciones y un acercamiento a la realidad de la problemática del atropellamiento de fauna silvestre en las vías, se hace necesario la estandarización de métodos de estudio para facilitar la obtención de patrones que evidencien las variables que más influyen sobre el atropellamiento de la fauna silvestre. La estandarización puede sugerirse y estabilizarse independiente para cada una de las regiones e intervalos altitudinales del país.

### **Agradecimientos**

Al proyecto: Identificación de los vertebrados muertos en vías de transporte en el Área Metropolitana de Manizales, Caldas, Colombia. Proyecto del Semillero de Investigación en Mastozoología SIMAS con la participación de los estudiantes, Andrés Fernando Tamayo Zuluaga, Angélica Castellanos Gutiérrez, Ingrith Yuliany Mejía Fontecha, Jose Jaime Henao Osorio, Sofia Terán Sánchez, Yuliana Escobar Aguirre. Financiador: Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas. Fechas: 01/03/2021 a 01/03/2022. Financiador: Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados de la Universidad de Caldas, código: 0126021. A la Sociedad Colombiana de Etnobiología y al Zoologische Gesellschaft für Arten und Populationsschutz (ZGAP) y a Karin Osbahr por el apoyo brindado en la realización de parte de este proyecto.

### LITERATURA CITADA

Arca-Rubio, J., Moreno-Rueda, G., & Ortega, Z. (2023). The distribution of vertebrate roadkill varies by season, surrounding environment, and animal class. *European Journal of Wildlife Research*, 69(3), 42. <https://doi.org/10.1007/s10344-023-01669-z>

- Bravo-Naranjo, V., Pinones-Canete, C., Norambuena, H., & Zuleta, C. (2019). Roadkill hotspots and factors associated to death of raptors on a road in central Chile. *Ornitología Neotropical*, 30, 208–216. <https://doi.org/10.58843/ornneo.v30i0.387>
- Bullock, K. L., Malan, G., & Pretorius, M. D. (2011). Mammal and bird road mortalities on the Upington to Twee Rivieren main road in the southern Kalahari, South Africa. *African Zoology*, 46(1), 60–71. <https://doi.org/10.3377/004.046.0118>
- Canal, D., Camacho, C., Martín, B., de Lucas, M., & Ferrer, M. (2019). Fine-scale determinants of vertebrate roadkills across a biodiversity hotspot in Southern Spain. *Biodiversity and Conservation*, 28(12), 3239–3256. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01817-5>
- Canova, L., & Balestrieri, A. (2019). Long-term monitoring by roadkill counts of mammal populations living in intensively cultivated landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 28(1), 97–113. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1638-3>
- Castaño, J. H., & Carranza-Quiceno, J. A. (2020). Bat-fruit networks structure resist habitat modification but species roles change in the most transformed habitats. *Acta oecologica*, 105, 103550. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103550>
- Chauvet, P., & Baptiste, A. (2019). Road transport in Latin America: evolution of its infrastructure and impact between 2007 and 2015, (367), 1–14. <https://hdl.handle.net/11362/44459>
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B., & Gunson, K. E. (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological conservation*, 109(1), 15–26.
- Clevenger, A.P., Chruszcz, B. & Gunson, K.E. (2003). Highway mitigation fencing reduces wildlife–vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, 29(2), 646–653. <http://www.jstor.org/stable/3784191>
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography*, 15(5), 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>

- Collinson, W. J., Parker, D. M., Bernard, R. T., Reilly, B. K., & Davies-Mostert, H. T. (2014). Wildlife road traffic accidents: a standardized protocol for counting flattened fauna. *Ecology and evolution*, 4(15), 3060–3071. <https://doi.org/10.1002/ece3.1097>
- Cordero, R. G. (2000). The biology of the opossum (*Didelphis marsupialis*) in urbanized environments from Northern Venezuela. *Acta Biologica Venezuelica*, 20(2), 13–28.
- Cruz-Salazar, B., Ruiz-Montoya, L., Navarrete-Gutiérrez, D., Espinoza-Medinilla, E. E., Vázquez-Domínguez, E., & Vázquez, L. B. (2014). Diversidad genética y abundancia relativa de *Didelphis marsupialis* y *Didelphis virginiana* en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1), 251–261. <https://doi.org/10.7550/rmb.36116>
- Cuesta, F., & Becerra, M. T. (2012). Biodiversidad y Cambio climático en los Andes: Importancia del monitoreo y el trabajo regional. *Revista Virtual*, 6, 1.
- de Campos, A., & da Silva, A. G. C. (2023). Análise da Fauna Silvestre Atropelada e da Efetividade das Estruturas de Proteção da Fauna na BR-487 ao Lado da Reserva Biológica das Perobas, no Sul do Brasil. *Biodiversidade Brasileira (BioBrasil)*, 13(1). <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v13i1.2059>
- Forman, R. T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., ... & Winter, T. C. (2003). *Road ecology: science and solutions*. Island press.
- García Jiménez, M. E., Pérez Zuriaga, A. M., Camacho Torregrosa, F. J., Llopis Castelló, D., & García, A. (2016, June). Velocidad de operación de vehículos ligeros en curvas de carreteras convencionales. In XII Congreso de ingeniería del transporte. 7, 8 y 9 de junio, Valencia (España) (pp. 1305–1318). Editorial Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/CIT2016.2016.4112>
- Gaston, K. J., Blackburn, T. M., Greenwood, J. J., Gregory, R. D., Quinn, R. M., & Lawton, J. H. (2000). Abundance–occupancy relationships. *Journal of Applied Ecology*, 37(1), 39–59. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00485.x>
- Herrera, W. J. H., Rodríguez, J. T. U., & Mateo, S. S. (2018). El ancho del bosque ripario en la diversidad herbácea, avifauna, y arbórea, microcuenca Santa Cruz, Subcuenca río viejo

- Estelí Nicaragua. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 4(1). <https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/article/view/335343>
- Hill, J. E., DeVault, T. L., & Belant, J. L. (2021). A review of ecological factors promoting road use by mammals. *Mammal Review*, 51(2), 214–227. <https://doi.org/10.1111/mam.12222>
- Ibisch, P. L., Hoffmann, M. T., Kreft, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., ... & Selva, N. (2016). A global map of roadless areas and their conservation status. *Science*, 354(6318), 1423–1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>
- INVIAS. (2016). Por la cual se expide parcialmente la categorización de las vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras o Red Vial Nacional correspondiente al Instituto Nacional De Vías — INVIAS. [0005133 - 2016 Imprenta.pdf](#)
- Kattan, G. H., & Franco, P. (2004). Bird diversity along elevational gradients in the Andes of Colombia: Area and mass effects. *Global Ecology and Biogeography*, 13(5), 451–458. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00117.x>
- Lin, S. C. (2016). Landscape and traffic factors affecting animal road mortality. *Journal of environmental engineering and landscape management*, 24(1), 10–20. <https://doi.org/10.3846/16486897.2015.1098652>
- Lin, S. C. (2016). Landscape and traffic factors affecting animal road mortality. *Journal of environmental engineering and landscape management*, 24(1), 10–20. <https://doi.org/10.3846/16486897.2015.1098652>
- Lin, Y. P., Anthony, J., Lin, W. C., Lien, W. Y., Petway, J. R., & Lin, T. E. (2019). Spatiotemporal identification of roadkill probability and systematic conservation planning. *Landscape Ecology*, 34(4), 717–735. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00807-w>
- Llagostera, P., Comas, C., & López, N. (2022). Modeling road traffic safety based on point patterns of wildlife-vehicle collisions. *Science of the total environment*, 846, 157237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157237>
- Lombardi, J. V., Yamashita, T. J., Blackburn, A. M., Young, J. H., Tewes, M. E., & Anderson, C. J. (2023). Examining the Spatial Structure of Woody Cover Within a Highway Road Effect

- Zone for Ocelots in Texas. *Urban Ecosystems*, 26(4), 1057-1069  
<https://doi.org/10.1007/s11252-023-01350-y>
- Lozano, J. A., & Patiño-Siro, D. (2020). Does the geometrical design of roads influence wildlife roadkills? Evidence from a highway in Central Andes of Colombia. *European Journal of Ecology*, 6(1), 58–70. <https://doi.org/10.17161/eurojecol.v6i1.13688>
- McCain, C. M., & Grytnes, J.-A. (2010). Elevational Gradients in Species Richness. En *Encyclopedia of Life Sciences*. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0022548>
- McKinney, M. L. (2002). Urbanization, Biodiversity, and Conservation The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *Bioscience*, 52(10), 883–890. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0883:UBAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0883:UBAC]2.0.CO;2)
- McKinney, M. L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological conservation*, 127(3), 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
- Medrano-Vizcaíno, P., Grilo, C., Silva Pinto, F. A., Carvalho, W. D., Melinski, R. D., Schultz, E. D., & González-Suárez, M. (2022). Roadkill patterns in Latin American birds and mammals. *Global Ecology and Biogeography*, 31(9), 1756–1783. <https://doi.org/10.1111/geb.13557>
- Meijer, J. R., Huijbregts, M. A., Schotten, K. C., & Schipper, A. M. (2018). Global patterns of current and future road infrastructure. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabd42>
- Nguyen, H. K. D., Fielding, M. W., Buettel, J. C., & Brook, B. W. (2022). Predicting spatial and seasonal patterns of wildlife–vehicle collisions in high-risk areas. *Wildlife Research* 49(5), 428–437. <https://doi.org/10.1071/wr21018>
- Nor, S. M. D. (2001). Elevational diversity patterns of small mammals on Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. *Global Ecology and Biogeography*, 10(1), 41-62. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2001.00231.x>



- Nores, M., Cerana, M. M., & Serra, D. A. (2005). Dispersal of forest birds and trees along the Uruguay River in southern South America. *Diversity and distributions*, *11*(3), 205–217. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00141.x>
- Ospina, J. J. A. (2002). *Diseño geométrico de vías* [Trabajo de grado]. Universidad Nacional de Colombia.
- Rahbek, C., Borregaard, M. K., Colwell, R. K., Dalsgaard, B. O., Holt, B. G., Morueta-Holme, N., ... & Fjeldså, J. (2019). Humboldt's enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity? *Science*, *365*(6458), 1108–1113. <https://doi.org/10.1126/science.aax0149>
- Santos, E., Cordova, M., Rosa, C., & Rodrigues, D. (2022). Hotspots and Season Related to Wildlife Roadkill in the Amazonia–Cerrado Transition. *Diversity*, *14*(8), 657. <https://doi.org/10.3390/d14080657>
- Silva, C., Simões, M. P., Mira, A., & Santos, S. M. (2019). Factors influencing predator roadkills: The availability of prey in road verges. *Journal of environmental management*, *247*, 644–650. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.083>
- Tamayo-Zuluaga, A. F., Ramírez-Chaves, H. E., Henao-Osorio, J. J., Mejía-Fontecha, I. Y., Arias-Monsalve, H. F., & Osbarh, K. (2019). C06-Vertebrados atropellados en vías de los Andes Centrales del departamento de Caldas, Colombia. II Congreso Iberoamericano de Biodiversidad e Infraestructura Viaria. Medellín, noviembre 25–27 de 2019. <https://escuela-ids.itm.edu.co/ecologia-carreteras-infra-verde/index.html>
- Van Der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118568170>
- Van Der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). The ecological effects of linear infrastructure and traffic: Challenges and opportunities of rapid global growth. In *Handbook of road ecology* (pp. 1–9). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch1>
- Wang, Y., Qu, J., Han, Y., Du, L., Wang, M., Yang, Y., Cao, G., Tao, S., & Kong, Y. (2022). Impacts of linear transport infrastructure on terrestrial vertebrate species and conservation

in China. *Global Ecology and Conservation* 38, e02207.  
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02207>

Wang, Y., Yang, Y., Han, Y., Shi, G., Zhang, L., Wang, Z., Cao, G., Zhou, H., Kong, Y., Piao, Z., & Merrow, J. (2022). Temporal patterns and factors influencing vertebrate roadkill in China. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 15, 100662.  
<https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100662>

## Figuras

Figura 1. Vía de estudio localizada en la cordillera Central del departamento de Caldas, Colombia, y sus respectivos usos de la tierra.

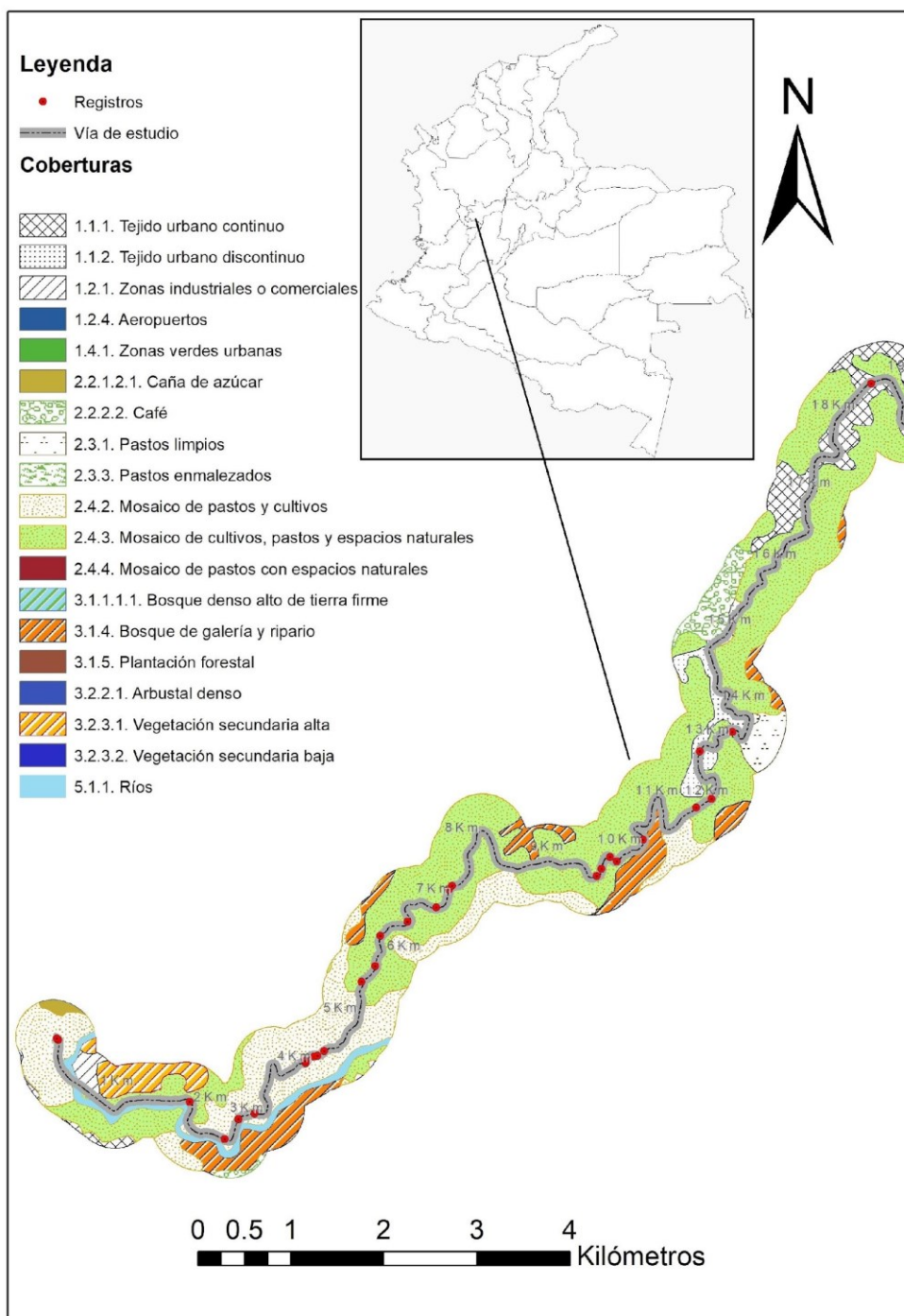


Figura 2. Registros de atropellamiento con respecto al rango altitudinal de la vía de estudio.

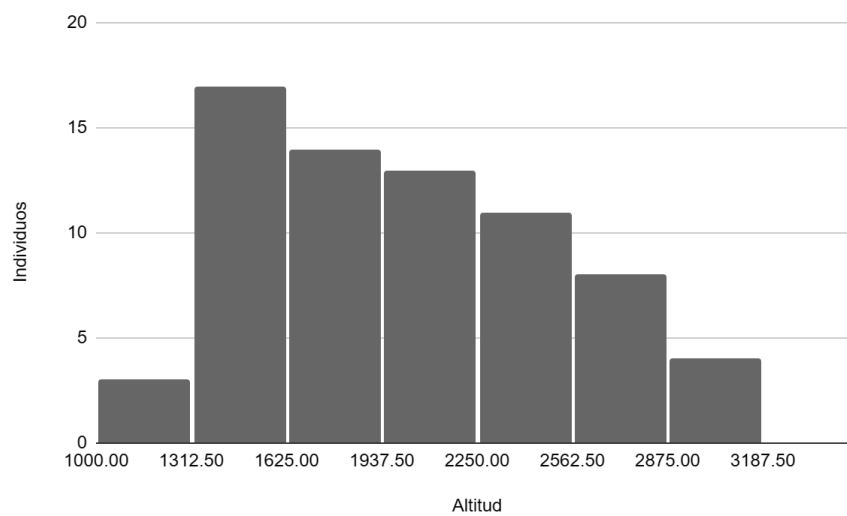


Figura 3. Abundancia de individuos atropellados por orden taxonómico en la variable altitudinal.

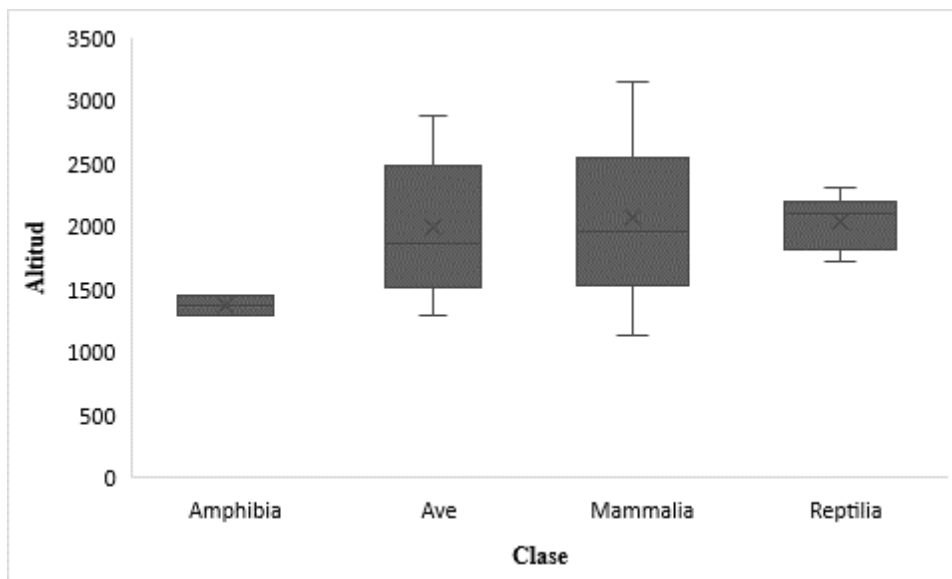


Figura 4. Número de individuos atropellados en las diferentes formaciones geométricas que conforman la vía de estudio.

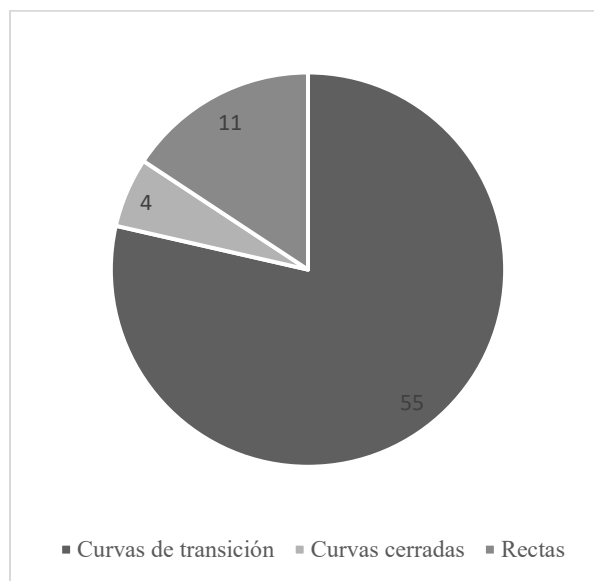


Figura 5. Relación del número de individuos atropellados con la geometría de la vía por kilómetro.

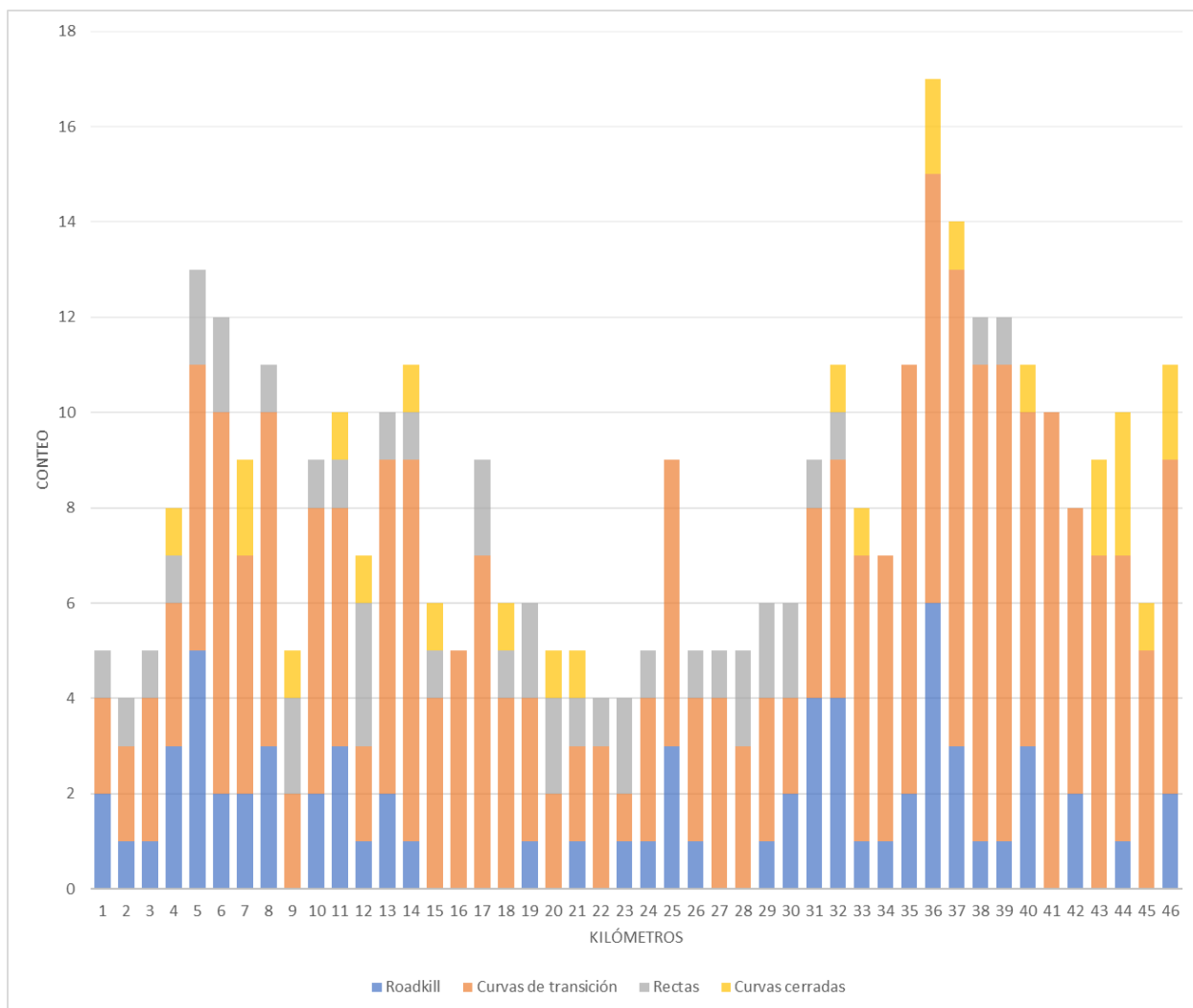
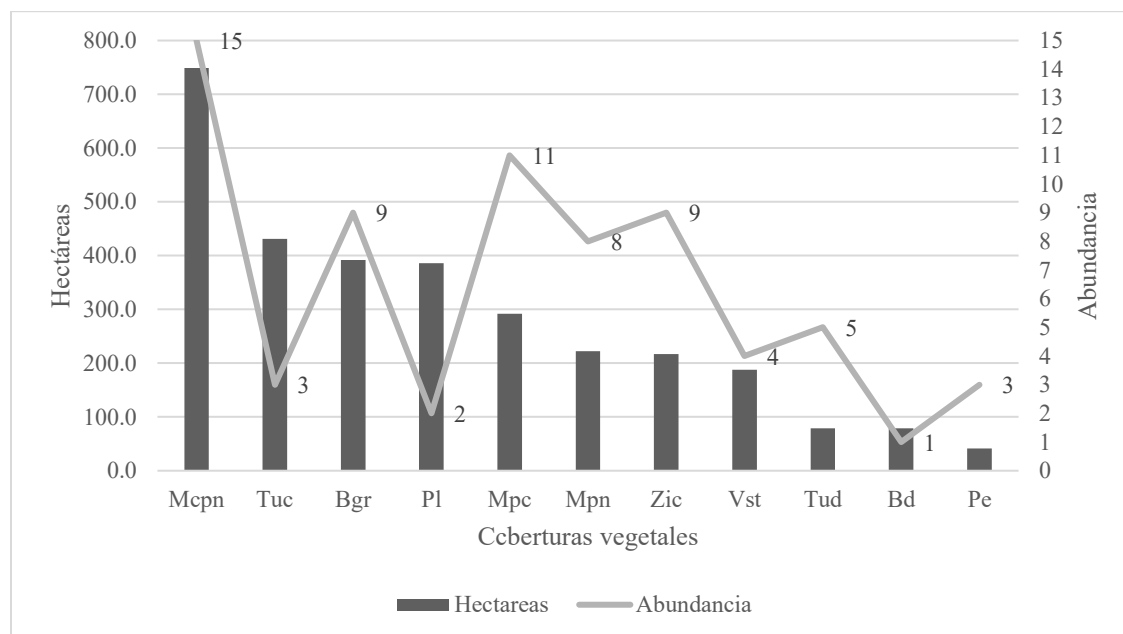
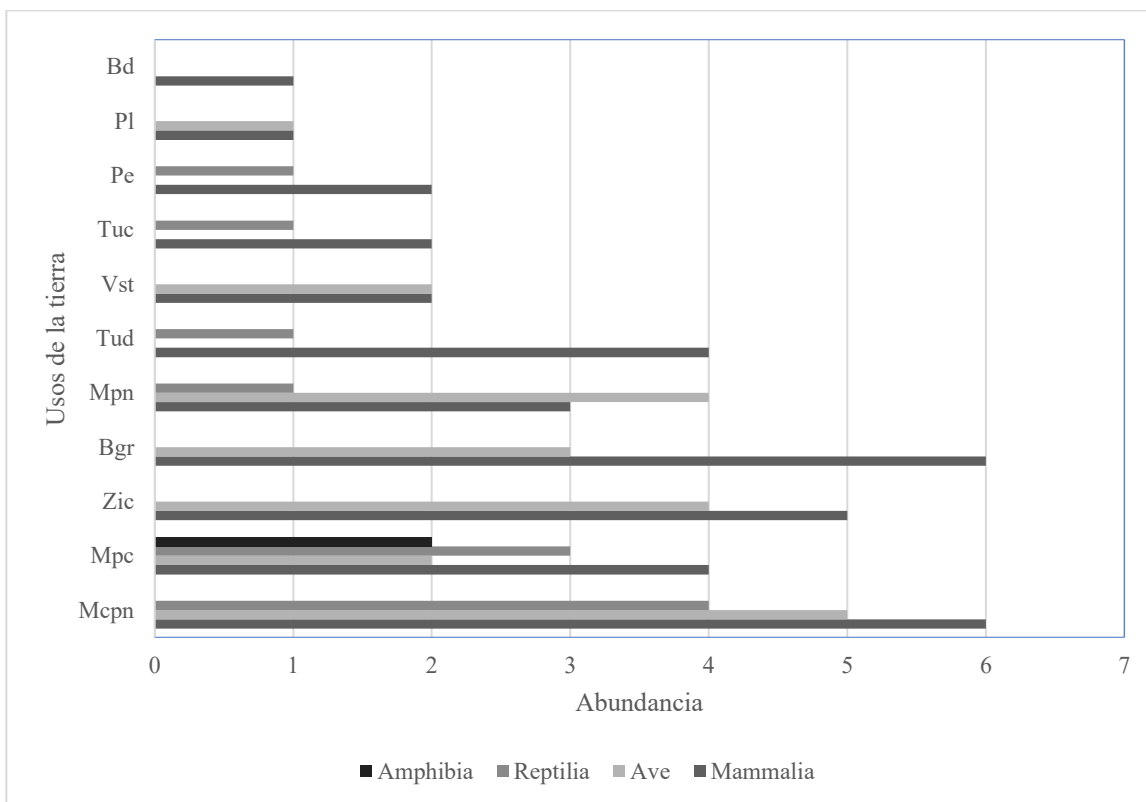


Figura 6. Relación del tamaño de las coberturas en la vía con el número de especies atropelladas.



Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpn), Mosaico de pastos y cultivos (Mpc), Zonas industriales o comerciales (Zic), Bosque de galería y ripario (Bgr), Mosaico de pastos con espacios naturales (Mpn), Tejido urbano discontinuo (Tud), Vegetación secundaria o en transición (Vst), Tejido urbano continuo (Tuc), Pastos enmalezados (Pe), Pastos limpios (Pl), Bosque denso (Bd).

Figura 7. Número de individuos por clase registrados en cada una de las coberturas vegetales, basados en los usos de la tierra.



Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpn), Mosaico de pastos y cultivos (Mpc), Zonas industriales o comerciales (Zic), Bosque de galería y ripario (Bgr), Mosaico de pastos con espacios naturales (Mpn), Tejido urbano discontinuo (Tud), Vegetación secundaria o en transición (Vst), Tejido urbano continuo (Tuc), Pastos enmalezados (Pe), Pastos limpios (Pl), Bosque denso (Bd).



**Tablas**

Tabla 1. Tramos de vía en los que fueron realizados los muestreos (Fuente: INVIAS 2016)

<b>Tramo</b>	<b>Código de la vía</b>	<b>Nombre de la vía</b>	<b>Categoría de la vía</b>	<b>Km</b>	<b>Km muestreados</b>
<b>1</b>	2902	Pereira - Manizales (Sector: Chinchiná - Estación Uribe 28+0500 45+0000)	Primer orden	16.4	16.4
<b>2</b>	5005	Trespuestas - Puente La libertad (Sector: Estación Uribe- Puente la Libertad 23+0680 33+0880)	Primer orden	11.1	11.1
<b>3</b>	5006	Puente La libertad - Fresno 0+00120 82+01024	Primer orden	83	18.2

Tabla 2. Riqueza, abundancia e índice relativo de mortalidad (IRM), de especies atropelladas en la vía de estudio.

Clase	Familia	Género	Especie	(S)	IRM	Número Colección
Amphibia	Bufo	<i>Rhinella</i>	<i>Rhinella horribilis</i>	2	0.029	
Total Amphibia				<b>2</b>		
Aves				6	N/A	
Aves	Turdidae	<i>Turdus</i>	<i>Turdus</i> sp.	2	N/A	
Aves	Cracidae	<i>Chamaepetes</i>	<i>Chamaepetes goudotii</i>	3	0.043	
Aves	Momotidae	<i>Momotus</i>	<i>Momotus aequatorialis</i>	2	0.029	
Aves	Thraupidae	<i>Sicalis</i>	<i>Sicalis flaveola</i>	1	0.014	
Aves	Troglodytidae	<i>Troglodytes</i>	<i>Troglodytes aedon</i>	1	0.014	
Aves	Phasianidae	<i>Gallus</i>	<i>Gallus gallus</i>	1	0.014	
Aves	Thraupidae	<i>Stilpnia</i>	<i>Stilpnia vitriolina</i>	1	0.014	
Aves	Strigidae	<i>Megascops</i>	<i>Megascops choliba</i>	1	0.014	
Aves	Thraupidae	<i>Coereba</i>	<i>Coereba flaveola</i>	1	0.014	
Aves	Thraupidae	<i>Traupis</i>	<i>Traupis palmarum</i>	1	0.014	
Aves	Tyrannidae	<i>Ochthoeca</i>	<i>Ochthoeca cinnamomeiventris</i>	1	0.014	
Total Aves				<b>21</b>		
Mammalia				2	N/A	
Mammalia	Didelphidae	<i>Didelphis</i>	<i>Didelphis</i> sp.	1	N/A	
Mammalia	Didelphidae	<i>Didelphis</i>	<i>Didelphis marsupialis</i>	14	0.200	MHN-Uca-M 2755, 2756, 3244
Mammalia	Procyonidae	<i>Nasua</i>	<i>Nasua olivacea</i>	4	0.057	MHN-Uca-M 2935, 2952
Mammalia	Vespertilionidae	<i>Myotis</i>	<i>Myotis keaysi</i>	3	0.043	MHN-UCa-M 2941, 3055
Mammalia	Muridae	<i>Rattus</i>	<i>Rattus rattus</i>	3	0.043	
Mammalia	Erethizontidae	<i>Coendou</i>	<i>Coendou rufescens</i>	3	0.043	MHN-UCa-M 2936, 2939, 3177
Mammalia	Procyonidae	<i>Procyon</i>	<i>Procyon cancrivorus</i>	1	0.014	MHN-UCa-M 3011
Mammalia	Felidae	<i>Felis</i>	<i>Felis catus</i>	1	0.014	
Mammalia	Canidae	<i>Cerdocyon</i>	<i>Cerdocyon thous</i>	1	0.014	MHN-UCa-M 3258
Mammalia	Leporidae	<i>Sylvilagus</i>	<i>Sylvilagus cf. nicefori</i>	1	0.014	MHN-UCa-M 2940
Mammalia	Dasyopodidae	<i>Dasyopus</i>	<i>Dasyopus novemcinctus</i>	1	0.014	MHN-UCa-M 2776
Mammalia	Phyllostomidae	<i>Phyllostomus</i>	<i>Phyllostomus hastatus</i>	1	0.014	MHN-UCa-M 3039
Total mamíferos				<b>36</b>		
Reptilia				1	0.014	
Reptilia	Colubridae	<i>Atractus</i>	<i>Atractus</i> sp.	3	N/A	
Reptilia	Colubridae	<i>Clelia</i>	<i>Clelia</i> sp.	1	N/A	

Reptilia	Colubridae	<i>Lampropeltis</i>	<i>Lampropeltis</i> sp.	1	N/A	MHN-UCa-R-396
Reptilia	Colubridae	<i>Clelia</i>	<i>Clelia equatoriana</i>	2	0.029	
Reptilia	Dactyloidae	<i>Anolis</i>	<i>Anolis heterodermus</i>	1	0.014	
Reptilia	Colubridae	<i>Dipsas</i>	<i>Dipsas sanctijoannis</i>	1	0.014	MHN-UCa-R-398
Reptilia	Colubridae	<i>Oxyrhopus</i>	<i>Oxyrhopus petolarius</i>	1	0.014	MHN-UCa-R-397
Total reptiles no aves				<b>11</b>		
<b>Total general</b>				<b>70</b>		

Tabla 3. Cobertura vegetal basada en los usos de la tierra y área en un buffer de 400 metros en relación con la vía de estudio y su relación con el número de especies atropelladas.

Usos de la tierra	Hectáreas	Metros cuadrados	Abundancia
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpn)	748.6	7486419	15
Mosaico de pastos y cultivos (Mpc)	291.7	2917231	11
Zonas industriales o comerciales (Zic)	216.9	2169451	9
Bosque de galería y ripario (Bgr)	391.7	3916643	9
Mosaico de pastos con espacios naturales (Mpn)	222.6	2225612	8
Tejido urbano discontinuo (Tud)	79.1	790511	5
Vegetación secundaria o en transición (Vst)	187.7	1877360	4
Tejido urbano continuo (Tuc)	430.9	4309242	3
Pastos enmalezados (Pe)	41.1	411051	3
Pastos limpios (Pl)	385.9	3859335	2
Bosque denso (Bd)	78.6	786045	1
<b>Total</b>			<b>70</b>

Tabla 4. Análisis de varianza ANOVA de un solo factor, relación de los atropellos con las variables geométricas de la vía, rangos altitudinales y usos de la tierra.

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
<b>Geometría vial</b>						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	682.66667	1	682.6666667	1.78397213	0.252595	7.708647422
Dentro de los grupos	1530.6667	4	382.6666667			
Total	2213.3333	5				
<b>Usos de la tierra</b>						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	200.08333	1	200.0833333	4.62264151	0.0570613	4.964602744
Dentro de los grupos	432.83333	10	43.28333333			
Total	632.91667	11				
<b>Rangos altitudinales</b>						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	126	1	126	7.875	0.0158595	4.747225347
Dentro de los grupos	192	12	16			
Total	318	13				

## CONSIDERACIONES FINALES

La recopilación de los estudios que se han realizado en Colombia nos permitió describir gran parte de la mortalidad de fauna silvestre en las vías de Colombia. En conjunto estos datos revelaron que al menos 191 especies de fauna silvestre son vulnerables a morir en las vías, como producto de la colisión con vehículos. Sin embargo, este número puede ser mayor ya que no se pudieron identificar todos los individuos a nivel de especie y no se tienen estudios en todas las regiones del país. De acuerdo con lo anterior surge la necesidad, de continuar realizando este tipo de estudios y la integración de todas las autoridades competentes al igual que la ciudadanía, en un enfoque educativo sobre el problema y la conservación del ambiente natural. Encontrar animales atropellados en cualquier vía del país se ha convertido en algo común para las personas, sin embargo, muy pocos nos detenemos a preguntarnos por las posibles causas de muerte, aunque a simple vista parecen obvias, siendo los vehículos automotores los principales culpables de dichos sucesos. Ahora bien, ¿cómo podemos hacer para encontrar una solución razonable de convivencia entre las personas que conducen vehículos y la fauna silvestre? Como primera medida debemos interpretar el entorno adyacente a una vía, dado que las características ambientales son un medio que facilita la colisión con los vehículos. Parte de esta interpretación la demostramos en este estudio, a partir de las curvas que componen una vía, sin embargo, queda mucho por explorar en la búsqueda de las causas determinadas por las características ambientales de la vía que influyen sobre el atropellamiento de fauna silvestre. Como segunda medida la interpretación de la ecología de las especies atropelladas en la vía es altamente relevante. En este estudio observamos un aumento de eventos de atropellamientos en áreas con alto recurso alimenticio, como lo son las zonas agrícolas. Nuestro estudio proporciona evidencia de que los eventos de atropellamiento no suceden al azar si no que son mediados o facilitados por determinadas características del paisaje y potenciados por la ecología de las especies. Los datos obtenidos en este estudio complementan lo que han venido estudiando y explorando otros autores en las vías de Colombia. Indicamos algunas de las especies que son más afectadas en la vía de estudio, como *Didelphis marsupialis* y *Nasua olivacea*, deberían contar con un seguimiento más amplio a su ecología y relación con las vías. Las áreas en las cuales son más vulnerables como las zonas con cultivos y los pequeños fragmentos de bosques de galería y además partes de la vía con geometrías que aumentan los eventos de atropellamiento deberían ser demarcadas para explorar estrategias de mitigación. Estos puntos que

consideramos como críticos por la vulnerabilidad que presenta la fauna silvestre y en los cuales las autoridades competentes deberían prestar más atención. También se evidencia la necesidad de desarrollar estudios a futuro con metodologías estándar para obtener estimaciones más precisas de la riqueza de las especies afectadas en los diferentes tipos de vías.

Por otra parte, proporcionamos una base para el desarrollo de futuras hipótesis que permitan una mayor comprensión sobre los eventos de atropellamientos. Es clara la necesidad de la divulgación de este tipo de trabajos dada su relevancia para el avance del conocimiento de la ecología de carreteras en los Andes de Colombia. Por ende, resultados parciales de este trabajo fueron presentados en eventos académicos (Tamayo-Zuluaga et al. 2019; Anexo 1).

Finalmente, los especímenes preservados a partir de individuos encontrados muertos en las vías han sido relevantes para aportar a colecciones biológicas, en este caso la colección de vertebrados del Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas, donde 52 especímenes fueron depositados y que están siendo empleados para publicaciones científicas (Ramírez-Chaves et al., 2021; 2022; Caicedo-Martínez et al. en revisión). Por esta razón, es clave la integración entre las autoridades locales, regionales y nacionales con los investigadores de museos y colecciones de historia natural para el mantenimiento de muestras de los especímenes muertos en vías que pueden ser útiles en diversos estudios y temáticas.

## LITERATURA CITADA

Caicedo-Martínez, L. S., Henao-Osorio, J. J., **Tamayo-Zuluaga, A. F.**, Echeverry Montoya, G. A., Espitia-Sanabria, D. E., Echeverry Pérez, J. S., Arboleda Osorio, J. J., Espitia Sánchez, M. C., Marín García, Y. T., Rojas-Morales, J. A., Arias-Monsalve, H. F., Gutiérrez, D. L., Caicedo Portilla, J. R., & Ramírez-Chaves, H. E. en revisión. Noteworthy and historical records of amphibians in the diet of snakes in Colombia.


**Tamayo Zuluaga, A. F.**, Ramírez-Chaves, H. E., Henao-Osorio, J. J., Mejía-Fontecha, I. Y., Arias-Monsalve, H. F., & Osbarh, K. 2019. C06-Vertebrados atropellados en vías de los Andes Centrales del departamento de Caldas, Colombia. II Congreso Iberoamericano de Biodiversidad e Infraestructura Viaria. Medellín, noviembre 25-27 de 2019 (Anexo 1)


Ramírez-Chaves, H. E., Henao-Osorio J.J., Mejía-Fontecha, I. Y., **Tamayo-Zuluaga, A. F.**, Arias-Monsalve, H. F., & Osbahr, K. 2021. Vertebrados atropellados en vías de los Andes centrales del departamento de Caldas, Colombia. Sostenibilidad ITM 1: 40. (Anexo 2)


Ramírez-Chaves, H. E., Torres-Martínez, M.M., Henao-Osorio, J.J., Osbahr, K., Concha, C., Passos, F. C. & Noguera-Urbano, E. 2022. Distribution update, male genitalia, natural history, and conservation of the stump-tailed porcupine *Coendou rufescens* in South America. *Mammalia* 86(2):160-170. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2021-0025>

## ANEXOS

## Anexo 1


 Institución Universitaria  
 Extensión Académica


 II - CONGRESO IBEROAMERICANO DE  
 BIODIVERSIDAD E INFRAESTRUCTURA VIARIA


 UNIVERSIDAD  
 DE ANTIOQUIA  
 Facultad de Ingeniería


**HACER CONSTAR QUE EL TRABAJO TITULADO  
 VERTEBRADOS ATROPELLADOS EN VIAS DE LOS ANDES CENTRALES DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS,  
 COLOMBIA**


POR:  
**Héctor E. Ramírez-Chaves, Jose J. Henao-Osorio, Ingrith Yuliany Mejía-Fontecha, Andrés F. Tamayo-Zuluaga,  
 Héctor F. Arias-Monsalve, Karín Osbahr**

Fue presentado en el marco del **II Congreso Iberoamericano de Biodiversidad e Infraestructura Vial** • Cibiv, llevado a cabo entre  
 el 28 y el 30 de noviembre de 2019 en las instalaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano • ITM.  
 Medellín • Colombia.

**FECHA DE PRESENTACIÓN**  
 29 de noviembre de 2019

**ACTA**  
 Acta N° 976 5/12/2019  
 Educación no formal


**JULIO ANDRÉS SERINA LOPERA**  
 DIRECTOR OPERATIVO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA  
 Instituto Tecnológico Metropolitano • ITM


**JESÚS FRANCISCO VARGAS BONILLA**  
 DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Universidad de Antioquia • Sede Medellín





## Vertebrados atropellados en vías de los Andes Centrales del departamento de Caldas, Colombia

Héctor E. Ramírez-Chaves<sup>1</sup>, Jose J. Henao-Osorio<sup>2</sup>, Ingrith Yuliany Mejía-Fontecha<sup>2</sup>, Andrés F. Tamayo Zuluaga<sup>2</sup>, Héctor F. Arias-Monsalve<sup>3,4</sup>, Karin Osbahr<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas, y Centro de Museos, Museo de Historia Natural, Universidad de Caldas. Calle 65 # 26-10, Manizales, Caldas, Colombia; <sup>2</sup> Programa de Biología, Universidad de Caldas; <sup>3</sup> Fundación Ecológica Cafetera, Manizales, Caldas; <sup>4</sup> Programa Maestría en Ciencias, Universidad de Caldas; <sup>5</sup> Sociedad Colombiana de Etnobiología.

Correspondencia: [hector.ramirez@ucaldas.edu.co](mailto:hector.ramirez@ucaldas.edu.co); [kosbahr@etnobiologiacolombia.org](mailto:kosbahr@etnobiologiacolombia.org)

El departamento de Caldas, ubicado en el centro-occidente de la región andina de Colombia, hace parte del denominado Eje Cafetero. Gran parte del territorio comprende ecosistemas andinos de las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena. Por su posición centralizada, la diversidad biótica de Caldas posee elementos de diversas regiones biogeográficas del país. El departamento ha sido un punto histórico de movimiento viario donde convergen cinco vías primarias que lo comunican con el resto del país. Con el objetivo de documentar las especies de vertebrados muertas por aparente atropellamiento en la zona andina (1200-3500 m) del departamento, revisamos registros incidentales y realizamos recorridos definidos entre 2018 y 2019. En total, 32 especies de vertebrados fueron halladas muertas en el área de estudio. Las aves ( $n = 14$ ) presentaron el mayor número de especies afectadas, seguido de los mamíferos y otros reptiles ( $n = 9$  respectivamente), y los anfibios (una especie, *Rhinella horribilis*). La especie con mayor número de hallazgos fue la chucha común *Didelphis marsupialis* ( $n = 17$ ). Por otro lado, se rescataron 36 ejemplares de algunas de las especies registradas, los cuales fueron depositados en la colección de vertebrados del Centro de Museos, Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas (MHN-UCa). Se resalta además el registro de especies amenazadas como el tigrillo lanudo *Leopardus tigrinus* y la pacarana *Dinomys branickii*. El número de especies registradas es elevado con tendencia a aumentar con el desarrollo de nuevos recorridos. A pesar de esto, las concesiones viales locales no parecen llevar registro de esta problemática, lo que dificulta el contraste de la información obtenida. Por lo tanto, se requiere de la colaboración de dichas instituciones para tener una visión más objetiva del número de especies de vertebrados afectadas por atropellamientos. Este trabajo fue financiado por la Sociedad Colombiana de Etnobiología y por Zoologische Gesellschaft für Arten und Populationsschutz (ZGAP).

Anexo 3 Texas Society of Mammalogist Annual Meeting 2024 February 16, 2024- February 18, 2024 Poster

Poster 22

**WILDLIFE ROADKILL IN COLOMBIA: HISTORICAL REVIEW AND EVALUATION IN AN ELEVATIONAL TRANSECT IN THE CENTRAL MOUNTAIN RANGE OF THE DEPARTMENT OF CALDAS (COLOMBIA)** Andres Fernando Tamayo Zuluaga<sup>1</sup> and Héctor E. Ramírez-Chaves<sup>1,2</sup> - <sup>1</sup>Departament of Biological Sciences, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia, <sup>2</sup>Centro de Museos, Museo de Historia Natural, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia ([andres.27120138654@ucaldas.edu.co](mailto:andres.27120138654@ucaldas.edu.co))

Rapid global economic growth has led to significant degradation of ecosystems and increased negative human-wildlife interactions. One major risk factor of development for wildlife populations is extensive road expansion as it causes direct deaths plus secondary effects on wildlife assemblages (i.e., fragmentation). This study focuses on road impacts on wildlife in Colombia, aiming to compile information on wildlife roadkill and the broader impacts of roads on ecosystems. The research gathered data from 45 studies related to roads and wildlife in Colombia, with 60% of these studies focused on recording mortality data. These studies spanned 17 departments, with the Andean region having the highest concentration of research (44%). A total of 192 wildlife species were documented as roadkill in Colombia, with mammals being the most frequently affected group. The common opossum (*Didelphis marsupialis*) stood out as the species with the highest number of roadkill records. Field surveys were conducted over a 46-kilometer road in the department of Caldas, covering agricultural, urban, industrial, and protected areas for 15 months. The findings revealed 70 individuals from 26 vertebrate species apparently killed by vehicles. The roadkill events were more prevalent in transition curves and agricultural areas, influenced by factors such as poor visibility, vehicle speed, and the availability of food resources in agricultural zones. The study contributes significantly to the understanding of roadkill wildlife in Colombia, identifying the most affected species and key variables influencing collisions between vehicles and wildlife. The information underscores the need for conservation efforts, including the implementation of wildlife corridors, speed reduction measures, and improved road design to mitigate the impact of roads on biodiversity. Awareness campaigns and policy interventions are also crucial for addressing the environmental consequences of road development in Colombia.

## MATERIAL SUPLEMENTARIO

### *Capítulo I*

Material suplementario 1. Conjunto de datos de los estudios analizados.

Material suplementario 2. Especies de fauna atropelladas registradas en cada estudio analizado.

Material suplementario 3. Fauna atropellada no identificada.

Material suplementario 4. Clasificación taxonómica, intervalo altitudinal y abundancia de las especies registradas en los estudios analizados.

Material suplementario 5. Estudios realizados en Colombia sobre impacto generados por las vías a la fauna silvestre en Colombia entre el año 2006 y 2022