

Diversidad faunística atropellada en vías del Instituto Nacional de Vías – Colombia.

Faunistic diversity roadkill on roads of the Instituto Nacional de Vías - Colombia

Julián Leyva-Díaz
Especialista en Gerencia Ambiental
Universidad de Manizales
Bogotá, Colombia
jleyva100489@umanizales.edu.co
<https://orcid.org/0009-0007-0249-5392>
<https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=ep3GPkIAAAAJ>

Manuel Francisco-Polanco
Doctor en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Universidad de Manizales
Manizales, Colombia
mpolanco@umanizales.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-4810-0081>

Juan Carlos Jaramillo-Fayad
Doctor en Biodiversidad y Conservación del Medio Natural
Instituto Tecnológico Metropolitano
Medellín, Colombia
juanjaramillo@itm.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-5585-3885>
<https://scholar.google.es/citations?user=guCNeG4AAAAJ&hl=es&oi=ao>

Resumen

La expansión vial trae consigo impactos positivos a nivel socioeconómico; sin embargo, genera un efecto contrario sobre el medio ambiente, en el cual la fauna silvestre es uno de los componentes más afectados. En este estudio, se evaluó la diversidad faunística víctima de atropellamiento en vías a cargo del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, en Colombia, centrándose en las 5 regiones naturales del país (Amazonía, Andina, Caribe, Orinoquía y Pacífico). Esto se llevó a cabo mediante la determinación de zonas de acumulación significativas de atropellamiento, con las especies las conforman, la evaluación de la diversidad taxonómica y el análisis de la afectación ecosistémica en función de la pérdida de especímenes que conllevan a una pérdida de biomasa. Para tal propósito, se utilizó el software SIRIEMA, índices estadísticos de diversidad con el método de números de Hill y se realizó el cálculo de la masa corporal perdida. Los resultados mostraron que la especie más atropellada según los registros en la base de datos SUKUBUN es *Didelphis marsupialis* en todas las regiones, excepto en la región Orinoquía. Los mamíferos dominaron en todas las regiones, exceptuando la Andina donde se presentó una afectación mayor en las aves, presentando los valores más altos en diversidad. Se identificaron 10 especies en categorías de amenaza según la lista roja de la UICN en las vías estudiadas. En total, se determinaron 1207 puntos críticos de atropellamiento (Hotspot), donde la región Pacífico tuvo la mayor concentración. Sin embargo, en los análisis de biomasa, fue una de las regiones con menor pérdida, caso contrario para la región Caribe la cual obtuvo los valores más altos, dicha región junto con la Orinoquía y Amazonía estuvieron representados por la especie *Caiman crocodilus*, dados sus valores elevados de biomasa perdida por el atropellamiento. Este trabajo proporciona una visión amplia del problema del atropellamiento de fauna silvestre en las carreteras de Colombia. Así mismo, permite conocer su relación con el ecosistema y la biodiversidad, convirtiéndose en un insumo base para la toma de decisiones, que refleja la necesidad de proponer medidas para mitigar este problema y promover la conservación de la biodiversidad.

Palabras clave

Atropellamiento de fauna, Biodiversidad, Biomasa, Diversidad taxonómica, Hotspot

Abstract

Road expansion brings with it positive impacts at a socioeconomic level; however, it generates an opposite effect on the environment, in which wildlife is one of the most affected areas. In this study, the faunal diversity of victims by roadkill on roads under the responsibility of the National Roads Institute - INVIAS, in Colombia, was evaluated, focusing on the 5 natural regions of the country (Amazon, Andean, Caribbean, Orinoco and Pacific). This was carried out through the determination of roadkill accumulation zones with the species that dwell in these zones, the evaluation of the taxonomic diversity and the analysis of the ecosystemic affectation in terms of the loss of specimens that lead to a loss of biomass. For this purpose, the SIRIEMA software was employed, using statistical indexes of diversity with the Hill number method and the calculation of the lost body mass was utilized. The results showed that *Didelphis marsupialis* were the most trampled species according to the records in the SUKUBUN database in all regions, except in the Orinoquia region. Mammals had an important dominance in all regions, except for the Andean region, where there was a greater affectation of birds, which presented the highest values in diversity. Ten species were identified in threatened categories according to the IUCN red list. In total, 1207 critical points of roadkill were identified, where the Pacific region was the most affected.

Keywords

Roadkill, Biodiversity, Biomass, indexes, Hotspots

Introducción

Colombia tiene una extensión de 204.855 km de vías por el territorio, de los cuales el Instituto Nacional de Vías – INVIAS tiene a cargo alrededor de 11.194 km de vías primarias (Gobierno de Colombia, 2015). Además, el país cuenta con proyecciones para mejorar las vías existentes y aumentar el número de kilómetros (Gobierno de Colombia, 2015). La expansión viaria trae consigo impactos positivos a nivel social y económico, sin embargo, genera un efecto contrario sobre el medio ambiente, en el cual, la fauna silvestre es uno de los componentes más afectados (van der Ree et al., 2015)

La colisión de animales con vehículos es uno de los impactos más evidentes en las carreteras, generando implicaciones sobre la viabilidad de poblaciones, llegando a ocasionar riesgo de extinción local y afectaciones sobre la diversidad genética (Grilo et al., 2021; Grilo et al., 2018; Ascensão et al., 2019). Esto repercute en las funciones ecosistémicas que desempeña la fauna para la correcta prestación de servicios ecosistémicos.

El atropellamiento de fauna silvestre se ha convertido en una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad a nivel mundial (Forman & Alexander, 1998). En Brasil, se estiman 475 millones de vertebrados afectados cada año (Bager et al., 2016). Colombia junto con Brasil, es considerado uno de los países más biodiversos, si bien el país no cuenta con una cifra de vertebrados atropellados al año a nivel nacional (Jaramillo-Fayad et al., 2019) desarrollaron un estudio en un circuito de 145,4 km en el Oriente de Antioquía, estimando que se atropellan anualmente 575.284 vertebrados en este circuito. Por lo tanto, es necesario evaluar la diversidad de animales atropellados, reconociendo que es un desafío complejo comprender donde ocurre el impacto de manera significativa y cuáles son las especies sobre las que se deben priorizar las medidas de prevención y mitigación.

Para abordar dichos retos, en este estudio se propone analizar la diversidad de especies faunísticas víctimas de atropellamiento mediante un conjunto de datos de fauna atropellada en la malla vial de Colombia a cargo del INVIAS, para tal efecto se busca, 1) determinar las zonas de acumulación significativa de atropellamiento y cuáles son las especies que conforman los Hotspots; 2) evaluar la diversidad taxonómica de las especies involucradas en los eventos de atropellamiento y 3) analizar la afectación ecosistémica en función de la pérdida de biomasa de las especies afectadas. Se espera que los resultados sirvan de insumo base para la toma de decisiones por parte de la dirección del INVIAS.

Materiales y métodos

Área de estudio

El INVIAS es una entidad del orden nacional, encargada de ejecutar políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de infraestructura de transporte carretero, férreo, fluvial y marítimo, de acuerdo con los lineamientos dados por el Gobierno Nacional (INVIAS, 2012). Las redes viales a

cargo de la entidad se distribuyen por gran parte del territorio colombiano, rodeándose de diferentes composiciones de paisajes, desde zonas montañosas a altitudes bajas, lo cual propicia diferentes condiciones climáticas que favorecen la presencia de diversas especies.

El estudio se realizó en la malla vial colombiana no concesionada a cargo del INVIAS, abarcando aproximadamente 3.990 km. Para analizar la diversidad de especies víctimas de atropellamiento, se reconoce que hay sectores que albergan mayor biodiversidad que otros, por ende, se agruparon las carreteras de interés según la región a la cual pertenezca, por lo tanto, la zona de estudio se divide en región Andina, Caribe, Pacífico, Orinoquía y Amazónica (Figura 1). Cada región cuenta con condiciones diferentes que pueden propiciar la presencia de diversas especies, por ejemplo, la Región Andina se caracteriza por las imponentes cordilleras de los Andes y su variedad de pisos térmicos, concentrándose allí la mayor diversidad. La Amazonía cuenta con la mayor área de territorio con respecto a las demás, encontrando en esta zona extensa presencia de selva tropical. Por otro lado, la región Pacífica alberga gran cantidad de aves, el 42% de la avifauna colombiana. (Rangel, 2015)

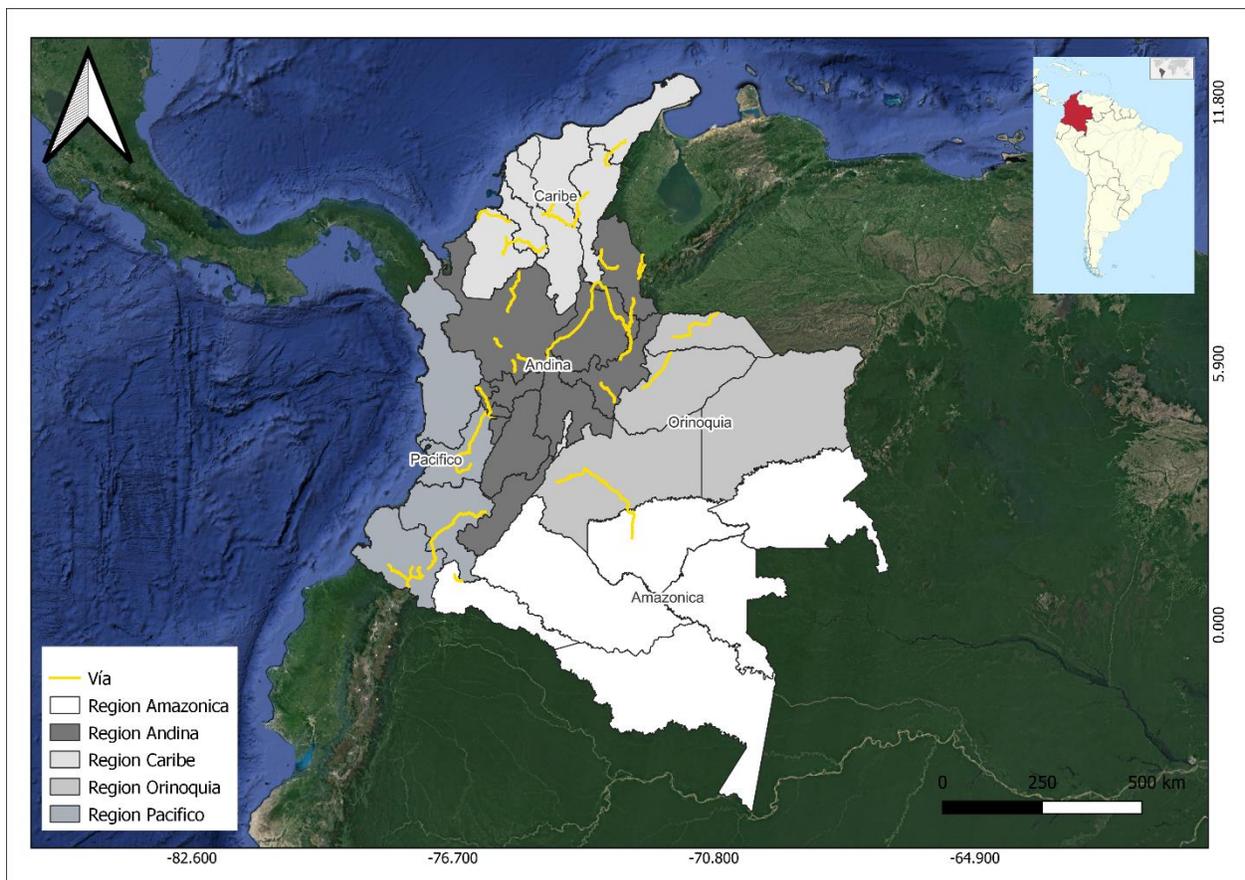


Figura 1. Mapa de Colombia dividido por regiones naturales indicando las vías de interés para evaluar la diversidad de la fauna víctima de atropellamiento.

Fuente: Elaboración propia

Recolección de datos

Los datos de atropellamiento de fauna silvestre fueron obtenidos del aplicativo SUKUBUN, creada en el marco de la innovación sostenible de la Política de Sostenibilidad del INVIAS. Su función es capturar información de avistamiento y atropellamiento de fauna silvestre en los proyectos de infraestructura de transporte administrados por el Instituto. (INVIAS, 2023) (Figura 2). La recolección de datos abarcó el período entre el año 2019 y 2022 con un total de 2.524 registros. Es importante destacar que estos reportes no fueron recopilados de manera sistemática y/o estandarizada. No obstante, se sometieron a un proceso de validación, donde se incluyeron las clases taxonómicas de mamíferos, reptiles, anfibios y aves debido a que contaban con una cantidad elevada de registros. Por medio de las fotografías cargadas al aplicativo, se evaluó la mayor cantidad de características posibles del individuo, entre ellas, la coloración, tipo de cola, huella, cabeza, dorso, entre otros, buscando llegar a una identificación taxonómica hasta género y/o especie. Asimismo, se solicitó asesoría técnica a biólogos con experiencia en ornitología, mastozoología y herpetología. Se realizó una consulta de información para la identificación de aves en Hilt & Brown (1986); Ayerbe (2018) y McMullan et al., (2021). Para la identificación de mamíferos se revisó literatura en Emmons & Feer (1999) y (Ramírez-Chaves et al., 2021). Finalmente, para herpetofauna se hizo una consulta en Baena (2006) y (Suárez & Alzate, 2014). Asimismo, se aplicó un filtro considerando la ubicación geográfica (Longitud, Latitud) y la fecha del reporte, basándose en la metodología propuesta por Hernández Olarte (2017), con el objetivo de evitar la existencia de datos duplicados. Además, se excluyeron los registros de animales domésticos, dado que el enfoque del estudio se centra exclusivamente en la fauna silvestre.

The image shows a web-based form for reporting animal collisions. It is organized into four columns:

- Ubicación y reporte:** Includes a map of Colombia, a location search field, a user type selection (Administrador Vial or Control de Obra), and a field for the reporter's name.
- Fecha y hora de avistamiento:** Contains fields for the date (dd/mm/yyyy) and time (hh:mm) of the sighting.
- Datos Fauna:** Includes fields for animal status (observed or dead), animal class, animal name, and two photo upload slots for the animal.
- Cobertura e Infraestructura cercana:** Includes dropdowns for road type and nearby infrastructure, a distance field, and a large text area for observations.

Figura 2. Campos de información de la aplicación SUKUBUN

Fuente: Tomado del INVIAS.

Análisis de acumulación de puntos de atropellamiento

Para identificar patrones espaciales significativos en la distribución de los reportes de atropellamiento se hizo uso de la totalidad de los registros de la base de datos. Se empleó el análisis k-Ripley implementado en el software SIRIEMA (Coelho et al., 2017). En cada región, con base a la cantidad de datos de atropellamiento en las vías, se seleccionaron las carreteras a evaluar y sobre cada una se realizó el análisis bajo los parámetros de 1000 simulaciones con un nivel de confianza del 95%, utilizando un diámetro inicial de 100 metros (Teixeira et al., 2013). La metodología seguida permite que los análisis sean más precisos. Posteriormente, se realizó el análisis 2D Hotspots para detectar áreas con una alta tasa de atropellamientos, considerando como puntos calientes aquellos segmentos viales que presentaban una intensidad superior al límite de confianza (Coelho et al., 2017). Para cada tramo, se determinó una distancia de referencia para dividir la vía, correspondiente a la banda de distancia mínima identificada como significativa mediante el análisis de K-Ripleys. Se realizaron 1000 simulaciones para cada análisis, utilizando un radio correspondiente al mínimo radio de significancia estadística y dividiendo la carretera en 1000 segmentos, con un intervalo de confianza del 95%.

Evaluación de la diversidad taxonómica

Para evaluar la diversidad taxonómica afectada en cada una de las regiones se utilizaron los números de Hill (Hill, 1973; Jost, 2006). Este método corresponde a un conjunto de índices estadísticos utilizados para medir la diversidad de especies en una comunidad, basados en la

riqueza de especies y en la distribución de las abundancias relativas (Jost, 2006). En un contexto de atropellamiento de fauna se interpretan en términos de la cantidad de especies esperadas que podrían ser afectadas basados en una muestra de tamaño fijo (Silva et al. 2020). En este trabajo se utilizó la estimación de orden $q=1$ (Shannon-Wiener), que tiene en cuenta tanto la riqueza como la distribución de las abundancias relativas de las especies; y de orden $q=2$ (Simpson) que mide la uniformidad de la distribución de las abundancias relativas (dominancia). En ambos casos se realizó un análisis de *Bootstrap* y se calcularon intervalos de confianza al 95%. Los cálculos se realizaron utilizando el paquete iNEXT en R (Hsieh et al. 2016). Finalmente, se compararon los patrones de diversidad entre grupos taxonómicos (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) en cada región utilizando pruebas Kruskal-Wallis, en los casos donde se encontraron diferencias significativas se aplicó como método de comparación *post-hoc* el Test de Mann-Whitney (McDonald, 2014).

Análisis de biomasa de animales atropellados

Para calcular la biomasa total de los animales atropellados, se utilizaron datos de masa corporal en gramos de los registros clasificados taxonómicamente a nivel de especie, sin embargo, con ayuda de criterio de experto, teniendo como referencia la ubicación de cada registro posible deducir la especie de 132 registros que estaban sólo hasta género, los cuales fueron incluidos en el análisis con el fin de aumentar el alcance. Para las especies de anfibios se recopiló información de (Oliveira et al., 2017); mientras que para los reptiles se usaron los datos publicados en Feldman et al. (2016); Meiri et al. (2021) y Zimin et al. (2022). Finalmente, para las aves y los mamíferos se utilizó la base de datos Elton Traits 1.0 (Wilman et al. 2014). En el caso de registros identificados hasta género, se utilizó el promedio del valor de las especies registradas en la región pertenecientes a dicho género, cuando este cálculo no se pudo realizar los datos fueron excluidos del análisis. Finalmente, con esta información se calculó la biomasa por especie, multiplicando la masa corporal por el número de individuos atropellados identificados en los 3.990 km del área de estudio, de esta manera se obtuvo el valor total en toneladas de biomasa a nivel nacional, por regiones y por clase taxonómica.

Resultados

Se analizaron un total de 2.524 casos de atropellamiento de fauna silvestre, de la totalidad de la información, el 88% de datos fueron clasificados taxonómicamente hasta nivel de especie, y el 12% restante hasta género. El año 2022 fue el periodo con mayor incidencia, abarcando el 45,2% de los datos. Los resultados revelaron que los mamíferos representan la mayor proporción de registros, con un 67,5%, seguidos por los reptiles con un 19,6%, las aves con un 10,2%, y los anfibios con el 2,7%. Asimismo, se identificaron las especies más afectadas por el atropellamiento, siendo *Didelphis marsupialis* la más atropellada, con 32,9% reportes, *Iguana iguana* con 7,2% y *Coragyps atratus* con 3,3% registros (Figura 3). Por otro lado, se encontró que 57 animales de diversas especies contaban con un único registro de atropellamiento.

En los registros de la base de datos, se encontraron diferentes especies clasificadas en las categorías de la Lista Roja de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (IUCN, 2022). Entre ellas, se identificaron cinco especies clasificadas como "Casi amenazado", incluyendo *Nasuella olivacea* reportada en la región Andina, y tres especies clasificadas en "Vulnerables", como *Ramphastos tucanus* reportado en la región Orinoquía. Por último, se registró una especie catalogada como "En Peligro", *Saguinus leucopus* reportada en la región Andina. (Tabla 1).



Figura 3. Especies con más reportes de atropellamiento en el aplicativo SUKUBUN

Fuente: SUKUBUN.

Tabla 1. Especies identificadas en la Lista Roja de la UICN para las 5 regiones naturales de Colombia.

Nombre científico	Nombre común	Categoría de Amenaza	Región	Número de registros
<i>Leopardus wiedii</i>	Tigrillo de cola larga	NT	Caribe, Orinoquía	2
<i>Lontra longicaudis</i>	Nutria de río	NT	Caribe	1
<i>Nasua olivacea</i>	Cusumbo andino	NT	Andina	4
<i>Saimiri cassiquiarensis</i>	Mono - ardilla	NT	Orinoquía, Amazónica	2
<i>Speothos venaticus</i>	zorro vinagre	NT	Caribe	2
<i>Leopardus tigrinus</i>	Tigrillo Lanudo	VU	Caribe, Andina, Pacífico	9
<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Oso Hormiguero gigante	VU	Orinoquía, Caribe, Andina	30
<i>Ramphastos tucanus</i>	Tucán de Pecho Blanco	VU	Orinoquía	1
<i>Saguinus leucopus</i>	Tití Gris	EN	Andina	3

Fuente: Elaboración propia.

Determinación de las zonas de acumulación de atropellamiento y las especies que los conforman

El análisis 2D Hotspots reveló tramos de carretera con una elevada frecuencia de atropellos de fauna silvestre para mamíferos, aves, reptiles y anfibios. Lo que indica la necesidad de enfocar los esfuerzos en la prevención y mitigación de estos incidentes para garantizar la gestión y conservación efectiva de la biodiversidad. En la zona de estudio, se encontraron un total de 1207 Hotspot, distribuidos de la siguiente manera: 468 puntos críticos en 955,67 km de la región Pacífica, 351 en 1624,05 km de la región Andina, 198 en 682,84 km de la región Caribe, 127 en 128,68 km de la región Amazónica y finalmente, 63 en 598,98 km de la región Orinoquia, estas zonas de acumulación están conformadas en su mayoría por mamíferos en todas las regiones, donde *D. marsupialis* es la especie más reportada, excepto en la región Orinoquia donde el mamífero con mayor datos de atropellamiento es *Tamandua tetradactyla*. Del mismo modo, cabe resaltar que algunos de los Hotspot están conformados por especies identificadas en la Lista Roja de la UICN en diferentes regiones del país. (Tabla 1) (Figura 4).

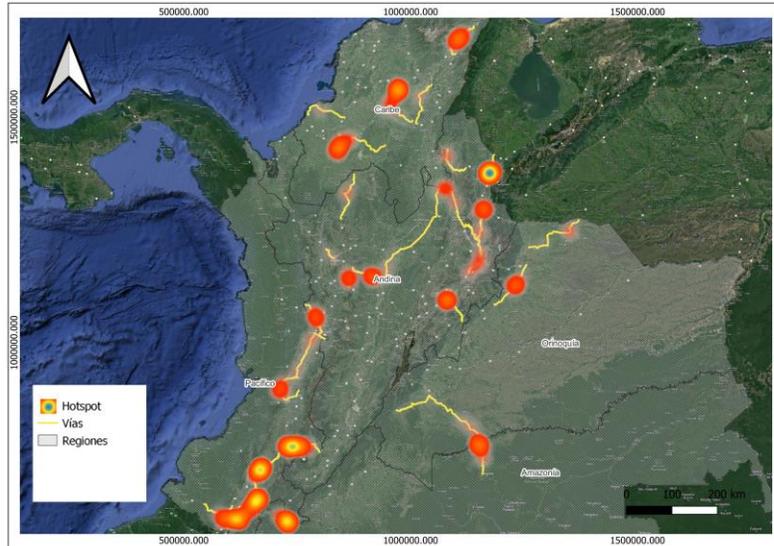


Figura 4. Mapa de zonas de acumulación significativa (Hotspot) de atropellamiento de fauna silvestre en las carreteras administradas por el INVIAS, de las regiones de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de la diversidad taxonómica de las especies involucradas en las zonas de acumulación de atropellamiento

La diversidad de especies afectadas para cada clase taxonómica muestra un patrón consistente según la región tanto si se tienen en cuenta las especies comunes ($q=1$) como las dominantes ($q=2$) (Tabla 2). Las letras indican las diferencias significativas, cuando son iguales quiere decir que no hay diferencias significativas, es decir, la $p>0,05$. Para el índice de Shannon, en la región Amazónica y Pacífica, las aves y los reptiles no presentan diferencias significativas, sin embargo, para las demás regiones si se presenta un $p<0,05$. Los valores entre paréntesis representan los intervalos de confianza, en este caso, el rango de valores del número de especies posibles asociadas a diversidad y dominancia según sea el caso. Por ejemplo, para las regiones Amazónica y Pacífico las aves y los reptiles presentaron los mayores valores. Interpretado de la siguiente manera: 15,4 especies de aves en promedio son afectadas por atropellamiento en la Amazonía y 16,7 especies de reptiles para la misma zona. mientras que, para las regiones Andina, Caribe y Orinoquia los mamíferos y los reptiles mostraron valores similares y bajos comparados con las aves (ver anexo 1), el valor más bajo asociado a los reptiles ocurrió en la región Andina donde se presentan

alrededor de 6,9 especies afectadas por el atropellamiento y 3,5 especies en promedio que son dominantes. En general, los reptiles presentaron la mayor variabilidad entre regiones, y para los mamíferos se identificaron valores bajos para todas las regiones (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de las especies estimadas por los números de Hill de orden $q=1$ (Shannon) y $q=2$ (Simpson) para las tres clases taxonómicas por región. Los intervalos de confianza al 95% se muestran entre paréntesis. Para cada índice se muestran las diferencias significativas entre clases taxonómicas en cada región según la prueba de Mann-Whitney. Letras diferentes indican un $p < 0.05$

	Shannon			Simpson		
	Aves	Mamíferos	Reptiles	Aves	Mamíferos	Reptiles
Amazónica	15,4 A (12,1-18,6)	7,1 B (4,9-9,3)	16,7 A (10,5-22,9)	13,4 A (10,0-16,8)	4,0 B (2,6-5,5)	13,9 A (7,6-20,1)
Andina	33,6 A (25,4-41,7)	8,4 B (7,4-9,4)	6,9 C (5,7-8,2)	20,6 A (12,0-29,1)	3,8 B (3,3-4,3)	3,5 C (2,9-4,2)
Pacífica	14,4 A (10,6-18,1)	5,9 B (4,7-7,1)	14,4 A (11,0-17,9)	8,7 A (6,2-11,3)	2,8 B (2,3-3,3)	9,7 C (6,3-13,0)
Caribe	24,4 A (18,9-29,9)	7,3 B (6,5-8,2)	7,6 C (6,3-8,9)	17,6 A (12,8-22,4)	4,6 B (4,2-5,1)	4,6 C (3,8-5,5)
Orinoquia	31,9 A (27,5-36,4)	12,3 B (10,3-14,4)	9,9 C (6,7-13,0)	19,8 A (14,8-24,8)	8,4 B (7,3-9,4)	5,4 C (3,6-7,1)

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la afectación ecosistémica en función de la pérdida de biomasa de las especies afectadas por atropellamiento

Producto del atropellamiento de fauna, por un periodo del 2019 al 2022, se han reducido un total de 15,70 t de biomasa a nivel nacional, donde el 60,68% de la biomasa afectada corresponde a la clase animal de reptiles, el 38,03% a mamíferos, el 1,23% a las aves y el 0,04% a los anfibios. Cada región presentó valores diferentes, tal como se muestra en la (Tabla 3). La mayor pérdida de biomasa ocurrió en la región del Caribe (5,76 t), seguida por la región Andina (4,14 t), Orinoquía (4,12 t), Pacífico (1,25 t) y Amazónica (0,41 t) en los mismos kilómetros de vías mencionados en los análisis de Hotspot. De las especies atropelladas reportadas, el *Caiman crocodilus* fue uno de los mayores productores de biomasa (4,91 t) distribuidas en la región Orinoquía, Caribe y

Amazónica, junto con *Boa constrictor* (2,43 t) en la región Andina, así como *D. marsupialis* (0,76 t) en la región pacífico, los cuales no necesariamente poseen la mayor masa corporal, pero si cuentan con gran cantidad de registros en las respectivas regiones.

Tabla 3. Valores de biomasa en toneladas por clases animales en las respectivas regiones.

	Anfibios	Aves	Mamíferos	Reptiles
Amazónica	0,0	0,0056	0,0707	0,3433
Andina	0,00074	0,0548	2,0079	2,0769
Pacífica	0,0038	0,0683	0,6272	0,5523
Caribe	0,0017	0,0501	1,8815	3,8321
Orinoquia	0,0	0,0151	1,3867	2,7266
Total	0,0063	0,1940	5,9741	9,5314

Fuente: Elaboración propia

Discusión

Mediante el análisis de zonas de alta acumulación de atropellamiento, la diversidad taxonómica y la pérdida de biomasa, es posible evaluar el impacto utilizando diversas metodologías. Estos enfoques proporcionan una comprensión de la afectación en aspectos específicos, y al relacionarlos, fomentan un conocimiento más integral de la diversidad faunística víctima del atropellamiento. A continuación, se discuten algunas de las relaciones que se destacan entre los temas abordados.

De los datos recopilados, el año 2022 fue el que mayores reportes de atropellamiento de fauna silvestre registró, pudiendo estar mediado por la reactivación económica después de la Pandemia por COVID – 19, aumentando el número de vehículos que transitan por las carreteras. Además, este estudio muestra que los mamíferos son la clase con mayor cantidad de registros, conformando gran parte de las zonas de acumulación de atropellamiento, tal cual se ha evidenciado en otros trabajos (Castillo-R et al., 2015; Delgado-V., 2017). Adicionalmente, la clase de los mamíferos

tuvo una representación del 88,9% dentro de las especies identificadas en la Lista Roja de la UICN, reflejando el potencial de las carreteras de afectar negativamente la biodiversidad, convirtiéndose en una amenaza para ésta. (Forman & Alexander, 1998). Un factor que puede aumentar sus tasas de atropellamiento puede deberse a que los mamíferos presentan áreas de distribución más amplias, llegando a utilizar las carreteras como corredores para moverse entre hábitats (García-Sánchez et al., 2023). *D. marsupialis*; el mamífero más afectado por atropellamiento presenta características que lo hacen más vulnerable al impacto, por ejemplo, esta especie tiene una dieta muy amplia conformada por diferentes alimentos, como frutas y semillas, e incluso, carroña (Espinoza, 2015) lo cual los hace propensos a acercarse a las carreteras por fuente de alimento. Adicionalmente, tienen un comportamiento de supervivencia denominado tanatosis, fingiendo estar muertos cuando perciben peligro, siendo un comportamiento habitual ante la presencia de tráfico vehicular (Humphreys & Ruxton, 2018) se reconoce que esta clase animal tiene una cantidad considerable de registros debido a que hay factores que facilitar su reporte, por ejemplo, es más fácil identificar la mayoría de estos animales por su tamaño, favoreciendo su permanencia en la vía un mayor tiempo respecto a otros grupos taxonómicos (Gallina & López-González, 2011) cabe resaltar que, en muchas ocasiones se genera una subestimación del impacto producto de factores como aves carroñeras, carcasas no identificables o individuos que quedan lejos de la vía por el impacto, generando que no se reporten algunos eventos de atropellamiento (Guinard et al., 2015). Las clases animales afectadas podrían cambiar si se llevaran a cabo estudios a nivel regional, debido a las características ecológicas y ambientales variables de las áreas de estudio, (i.e. clima, hábitats y composición de la fauna) (Seijas et al., 2013). La distribución de los puntos de atropellamiento con respecto al mapa de vulnerabilidad faunística desarrollado por el INVIAS (INVIAS, 2022), tiene una coincidencia del 2,8% en relación al riesgo a la probabilidad de atropellamiento por encima al 70%, indicando que es posible que las zonas críticas para la fauna tiendan a cambiar en el tiempo (Rendall et al., 2021), asimismo, la proporción de datos para la elaboración del mapa de vulnerabilidad y el análisis de zonas de acumulación de atropellamiento del presente estudio, puede ser un factor relevante en este hallazgo.

Consecuente a los puntos críticos de atropellamiento, la región Andina presenta los valores más altos de diversidad de especies de aves, es decir, se encontró mayor riqueza de especies en la zona que fueron afectadas por el atropellamiento de fauna, esta riqueza de especies atropelladas puede ser resultado de las características del paisaje, ya que los bordes de las carreteras poseen

fragmentos de vegetación que atrae a la fauna silvestre (García-Sánchez et al., 2023), asimismo, dentro de las especies también hubo una mayor dominancia de algunas de ellas, como *C. atratus* lo cual se asocia a sus hábitos de forraje, donde se alimentan de carroña que pueden encontrar en las carreteras (Cartes et al., 2010; Chacón, 2011). Además, el número elevado de registros de especies puede deberse a que en el país algunos departamentos de la región Andina concentran la mayor cantidad de aves (Velandia, 2021). Caso contrario para la clase de mamíferos donde en todas las regiones se presentaron valores bajos de diversidad, debido a la abundancia de pocas especies que predominan sobre otras como *D. marsupialis* (Delgado-V., 2017) pudiendo estar mediado por el grado de intervención que propicie la presencia de especies generalistas comúnmente afectadas por este impacto (De La Ossa-V & Galván-Guevara, 2015) donde la región andina es la que abarca el mayor número de vías que se tomaron para el estudio con un total de 1624,05 km seguida de la región pacífica con 955,67 km. El atropellamiento de fauna acarrea una serie de afectaciones sobre la diversidad de especies generando cambios en la abundancia de estas (Forman, 2003). Dado que Colombia es el país más diverso en aves (Acevedo-Charry et al., 2019) los resultados de este estudio evidencian la afectación causada sobre esta clase animal tan importante del país.

Por otro lado, aunque la región Caribe no es la región que presenta mayor cantidad de zonas de acumulación de atropellamiento, dicha región cuenta con la mayor pérdida de energía representada por biomasa producida por la fauna silvestre con respecto a las demás regiones, lo cual podría estar relacionado por la configuración de los paisajes y el grado de intervención en el mismo, donde se cuenta con un total de 682,84 km tomados para el análisis. La región Caribe se caracteriza por poseer gran riqueza en humedales, abarcando el 82% de las ciénagas del país (Aguilera, 2011). Los humedales son considerados los ecosistemas más productivos del mundo (Castellanos M, 2001) y también, zonas que han sufrido procesos de transformación a través de la deforestación, contaminación de aguas, degradación de suelos y sobreexplotación de recursos (Aguilera, 2011) El *C. crocodilus* es una especie con preferencias de hábitat a estos ecosistemas, donde en este estudio se reporta como el mayor productor de biomasa perdido no solo en el Caribe sino también en la región Orinoquía y Amazónica. A pesar de que la Amazonía sea la que tiene una menor pérdida de biomasa y esté asociada a la misma especie, un factor determinante en ello puede ser debido a la menor densidad de vías, contando con 128,68 km y el menor reporte oportuno de los animales atropellados. Es así como el impacto de atropellamiento modifica la estructura y la

función de las especies teniendo un impacto directo en los procesos dentro del ecosistema (Grilo et al., 2015). Por ejemplo, se ha reportado que, en el Amazonas, la pérdida excesiva de fauna dispersora de semillas conduce a una pérdida de hasta un 38% de biomasa aérea (Peres et al., 2016). Reconocer el papel de la fauna silvestre dentro de la productividad del ecosistema es clave para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, y de manera similar, es importante considerar el correcto funcionamiento del ecosistema para que sea posible albergar la biodiversidad, dado que los cambios en la productividad suponen una alteración de los determinantes en los nichos ecológicos dentro de los ecosistemas, lo cual deriva en una variación de la riqueza de especies y procesos ecológicos en la zona (Janis et al., 2000).

Abordar un impacto tan complejo como el atropellamiento de fauna desde diferentes áreas temáticas centradas a un mismo objetivo, otorga información importante que sirve de base para futuras investigaciones que busquen profundizar alrededor del conocimiento de este impacto. Con la información otorgada por este estudio, es posible generar un planteamiento de estrategias orientadas que busquen conservar la diversidad faunística del país en armonía con el desarrollo de infraestructuras de carreteras. Esta información será un insumo importante para la dirección de INVIAS alrededor de la implementación de medidas.

Conclusiones

Se reconoció la importancia de segmentar el análisis a nivel de regiones debido a las condiciones climáticas, topográficas, paisajísticas y el número de kilómetros de cada una, que podían generar una considerable variación en los resultados, lo cual se evidenció en el presente estudio. Al relacionar los resultados entre las regiones, se destaca la necesidad de abordar el impacto del atropellamiento con un alcance delimitado que permita conocer la magnitud de este.

Mediante el análisis de zonas de acumulación de atropellamiento fue posible evidenciar que hay diferencias significativas en cada región, lo cual se relaciona con la diversidad taxonómica de especies afectadas y, por ende, con la pérdida de biomasa asociada a la pérdida de individuos. En la región Caribe se evidencia que en las zonas de acumulación de atropellamiento, las tres clases taxonómicas evaluadas que conforman dichos núcleos presentan valores altos tanto en diversidad de especies como en dominancia de las mismas, ejerciendo una influencia sobre el análisis de

biomasa que tiene en cuenta la abundancia de individuos de una especie, por lo tanto, en este estudio se determinó que entre mayor dominancia haya en una región, la pérdida de biomasa puede estar asociada a esa especie. En la investigación, se identificó que los reptiles presentaron uno de los mayores registros de atropellamiento, siendo el *C. crocodilus* una de las especies con más reportes en comparación con otras, lo cual se relacionó con los resultados del análisis de biomasa, donde la mayor pérdida en tres regiones estuvo representada por la misma especie.

Finalmente, el trabajo resalta la necesidad de abordar el atropellamiento de fauna silvestre en las carreteras de Colombia con un enfoque mucho más amplio al considerar el impacto en diferentes temáticas, tanto en términos de diversidad faunística como pérdida de biomasa brindando un panorama más completo. Por medio de diferentes perspectivas se ofrece información valiosa para desarrollar estrategias de manejo adaptadas a las características de cada área, encaminadas a mitigar este problema, como una prioridad para la conservación de la biodiversidad.

Agradecimientos

Hago un reconocimiento a mis directores por su guía y apoyo. A Jessica, Fabián y Marly del INVIAS que facilitaron la consolidación de la base de datos, así como a Danna, Juan y Llamile del ITM por compartir sus conocimientos en los temas metodológicos.

Referencias Bibliográficas

Acevedo-Charry, O., Colón-Piñeiro, Z., Ocampo, D., Pinzón Arias, M., Ayerbe-Quiñones, F., &

Gómez-Posada, C. (2019). Avifauna colombiana | Biodiversidad 2019.

<http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap1/103/>

Aguilera, M. (2011). La economía de las ciénagas del Caribe colombiano [Books]. Banco de la

República de Colombia. <https://econpapers.repec.org/bookchap/bdrbdrlib/2011-08.htm>

- Arroyave, M. del P., Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C., Andrade, L. M., & Ramos, K. C. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA*, 3(5), Article 5.
- Ascensão, F., Kindel, A., Teixeira, F. Z., Barrientos, R., D'Amico, M., Borda-de-Água, L., & Pereira, H. M. (2019). Beware that the lack of wildlife mortality records can mask a serious impact of linear infrastructures. *Global Ecology and Conservation*, 19, e00661. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00661>
- Ayerbe, F. (2018). La Guía Ilustrada de la Avifauna Colombiana—LIBRO. *Asociación Colombiana de Ornitología*. <https://asociacioncolombianadeornitologia.org/producto/guia-ilustrada-de-la-avifauna-colombiana-2da-edicion-en-espanol/>
- Baena, J. Alberto. (2006). *Anfibios y Reptiles del Valle de Aburrá*. <http://cedir-catalogo.gestiondelriesgo.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=9606>
- Bager, A., Lucas, P. da S., Bourscheit, A., Kuczach, A., & Maia, B. (2016). Os caminhos da conservação da biodiversidade brasileira frente aos impactos da infraestrutura viária. *Biodiversidade Brasileira*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v6i1.530>
- Cartes, J., Morales, C., López, N., Motte, M., & Vitale, C. (2010). Mortandad de fauna nativa silvestre por atropellamiento en la Ruta 9 “Carlos A. López” (Transchaco). *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 15(2), 191-202.
- Castellanos M, C. A. (2001). Los ecosistemas de humedales en Colombia. *Luna Azul*, 13, 1 de 5-15.

- Castillo-R, Julio César, Urmendez-M, Deisy, & Zambrano-G, Giselle. (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.
<https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.12>
- Chacón, E. (2011). Atropello de vertebrados en una carretera secundaria en Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 3(1), 81-84.
- Coelho, A. V. P., Coelho, I. P., Teixeira, F. Z., & Kindel, A. (2017). Siriema: road mortality software. User's Manual V. 2.0. Undefined.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19953.38242>
- De La Ossa-V, 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.
- Delgado-V., C. A. (2017). Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 29(87), 1–6.
<https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329342>
- Emmons, L. H., & Feer, F. F. (1999). *Mamíferos de los Bosques Húmedos de América Tropical: Una Guía de Campo*. <https://www.nhbs.com/mamiferos-de-los-bosques-humedos-de-america-tropical-book>
- Feldman, A., Sabath, N., Pyron, R. A., Mayrose, I., & Meiri, S. (2016). Body sizes and diversification rates of lizards, snakes, amphisbaenians and the tuatara. *Global Ecology and Biogeography*, 25, 187– 197.

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>

Gallina, S. & C. López-González (editor). 2011. Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Volúmen I. Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología, A. C. Querétaro, México. 377 pp. (On line: <http://www.uaq.mx>)

Emmons, L. H., & Feer, F. F. (1999). Mamíferos de los Bosques Húmedos de América Tropical: Una Guía de Campo. <https://www.nhbs.com/mamiferos-de-los-bosques-humedos-de-america-tropical-book>

Espinoza M, M. A. (2015). Persistencia de cadáveres de aves y murciélagos situados en pastizales y bosques del campus Zamorano, Honduras [Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/4501>

García-Sánchez, S., Juárez-Agis, A., Alvarez-Alvarez, E., Salome, B., Torres, J., González, M., & Osorio-Rodríguez, A. (2023). Vertebrados silvestres atropellados en asentamientos humanos del Pacífico sur mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 71, 53600-2023. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v71i1.53600>

Gobierno de Colombia. (2015). Plan Maestro de Transporte Intermodal, Una política de estado para hacer de Colombia un país más competitivo. https://www.ani.gov.co/sites/default/files/u233/pmti_entregable_1_final_nov11.pdf

Guinard, É., Prodon, R., & Barbraud, C. (2015). Case Study. En *Handbook of Road Ecology* (pp. 96-100). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch12>

Grilo, C., Borda-de-Água, L., Beja, P., Goolsby, E., Soanes, K., le Roux, A., Koroleva, E., Ferreira, F. Z., Gagné, S. A., Wang, Y., & González-Suárez, M. (2021). Conservation

- threats from roadkill in the global road network. *Global Ecology and Biogeography*, 30(11), 2200-2210. <https://doi.org/10.1111/geb.13375>
- 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. (2018). BRAZIL ROAD-KILL: A data set of wildlife terrestrial vertebrate road-kills. *Ecology*, 99(11), 2625-2625. <https://doi.org/10.1002/ecy.2464>
- Grilo, C., Smith, D. J., & Klar, N. (2015). Carnivores. En *Handbook of Road Ecology* (pp. 300-312). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch35>
- Hernández Olarte, M. (2017). Atropellamiento de fauna en concesiones viales del oriente de Antioquia: un estudio de sus causas. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.68297>.
- Hill, M.O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54, 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- Hilt, S. L., & Brown, W. L. (1986). Guía de las aves de Colombia. Asociación Colombiana de Ornitología. <https://asociacioncolombianadeornitologia.org/producto/guia-de-las-aves-de-colombia-hilty-brown-reimpresion-en-espanol/>
- Hsieh, T.C., Ma, K.H. & Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods Ecol. Evol.* 7, 1451–1456
- Humphreys, R. K., & Ruxton, G. D. (2018). A review of thanatosis (death feigning) as an anti-predator behaviour. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 72(2), 22. <https://doi.org/10.1007/s00265-017-2436-8>

INVIAS. (2022). Gobierno nacional lanza mapa para identificar puntos de mayor vulnerabilidad faunística al atropellamiento en proyectos viales.

<https://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/4544-gobierno-nacional-lanza-mapa-para-identificar-puntos-de-mayor-vulnerabilidad-faunistica-al-atropellamiento-en-proyectos-viales>

INVIAS. (2012). Objetivos y Funciones. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/objetivos-y-funciones>

INVIAS. (2023). Sukubun OpenData.

<https://mapas.cundinamarca.gov.co/datasets/invias::sukubun-opendata/about>

IUCN. (2022). The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/es>

Jaramillo-Fayad, J. C., González, J & Solari, S. (2019). Evaluación del impacto de la infraestructura vial sobre la mortalidad de vertebrados y posibles medidas para la conectividad ecológica del paisaje en el Valle de Aburrá. Informe Proyecto P142016- Instituto Tecnológico Metropolitano- ITM.

John, H. M. (2014). Handbook of biological statistics. Sparky house publishing
Baltimore, Maryland, U.S.A.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos* 113, 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>

McMullan, M. (2021). Guía de campo de las Aves de Colombia. Asociación Colombiana de Ornitología. <https://asociacioncolombianadeornitologia.org/producto/guia-de-campo-de-las-aves-de-colombia-2021-miles-mcmullan/>

- Meiri, S., Feldman, A., Schwarz, R., & Shine, R. (2020). Viviparity does not affect the numbers and sizes of reptile offspring. *Journal of Animal Ecology*, 89, 360– 369.
- Oliveira, B. F., São-Pedro, V. A., Santos-Barrera, G., Penone, C., & Costa, G. C. (2017). *AmphiBIO*, a global database for amphibian ecological traits. *Scientific Data*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.123>
- Peres, C. A., Emilio, T., Schiatti, J., Desmoulière, S. J. M., & Levi, T. (2016). Dispersal limitation induces long-term biomass collapse in overhunted Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(4), 892-897. <https://doi.org/10.1073/pnas.1516525113>
- Ramírez-Chaves, H., Morales-Martínez, D. M., Rodríguez-Posada, M. E., & Suárez-Castro, A. F. (2021). Checklist of the mammals (Mammalia) of Colombia: *Mammalogy Notes*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.47603/mano.v7n2.253>
- Rendall, A. R., Webb, V., Sutherland, D. R., White, J. G., Renwick, L., & Cooke, R. (2021). Where wildlife and traffic collide: Roadkill rates change through time in a wildlife-tourism hotspot. *Global Ecology and Conservation*, 27, e01530. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01530>
- 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(51), 176. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.136>
- Seijas, Andrés Eloy, Araujo-Quintero, Alexis, & Velásquez, Nadines. (2013). Mortalidad de vertebrados en la carretera Guanare-Guanarito, estado Portuguesa, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 61(4), 1619-1636. Retrieved August 04, 2023, from

http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442013000500007&lng=en&tlng=es.

Silva, I., Crane, M., & Savini, T. (2020). High roadkill rates in the Dong Phrayayen-Khao Yai World Heritage Site: conservation implications of a rising threat to wildlife. *Animal Conservation*, 23(4), 466-478.

Suárez, A. M. S., & Alzate, L. E. (2014). Guía Ilustrada Anfibios y reptiles Cañón del río Porce—Antioquia. <https://isbn.cloud/9789585829664/guia-ilustrada-anfibios-y-reptiles-canon-del-rio-porce-antioquia/>

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

Van der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). The Ecological Effects of Linear Infrastructure and Traffic. En *Handbook of Road Ecology* (pp. 1-9). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch1>

Velandia, O. (2021, febrero 10). Cauca, Nariño y Antioquia, los departamentos con más aves en Colombia. <http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1599-cauca-narino-y-antioquia-los-departamentos-con-mas-aves-en-colombia>

Wilman, H., Belmaker, J., Simpson, J., de la Rosa, C., Rivadeneira, M. M., & Jetz, W. (2014). EltonTraits 1.0: Species-level foraging attributes of the world's birds and mammals: Ecological Archives E095-178. *Ecology*, 95(7), 2027-2027.

Zimin, A., Zimin, S. V., Shine, R., Avila, L., Bauer, A., Böhm, M., ... & Meiri, S. (2022). A global analysis of viviparity in squamates highlights its prevalence in cold climates. *Global Ecology and Biogeography*, 31(12), 2437-2452.