

Mortalidad de vertebrados silvestres por atropellamiento en el departamento de Casanare, Colombia*

Cesar Rojano Bolaño¹ / Renzo Ávila Avilán²

Resumen

Las carreteras generan impactos negativos sobre la biodiversidad, dentro de los cuales los atropellamientos configuran una de las causas directas más relevantes. El objetivo de este estudio fue establecer la distribución temporal y evaluar los patrones espaciales relacionados con el atropellamiento de vertebrados silvestres en las rutas Yopal-Quebradaseca y Yopal-variante Jagüeyes, en Casanare, Colombia. Entre 2017 y 2018 se realizaron 18 recorridos a 40 km/h en los que se registraron eventos de atropellamiento. Se determinaron tasas de atropellamiento, puntos calientes, así como variables del paisaje (humedales, vegetación nativa, construcciones) y de la vía (forma y presencia de señales de paso) relacionadas con este tensor. Se registraron 139 eventos de colisión, que incluyeron ocho especies de mamíferos, 13 de reptiles, 20 de aves y una de anfibio. *Caiman crocodilus* (n = 17), *Rhinella marina* (n = 13) y *Tamandua tetradactyla* (n = 13) fueron las especies más atropelladas. *Myrmecophaga tridactyla* fue la única especie amenazada reportada dentro de este grupo de vertebrados. La mayor tasa de atropellamiento en ambas vías fue encontrada para los reptiles. Para el total de datos, se identificaron 15 puntos calientes de atropellamiento. De forma general, los atropellamientos estuvieron asociados a tramos curvos de la vía, cercanos a humedales cercanos y en zonas sin infraestructura. El 64 % de los individuos atropellados se encontraron una distancia menor a 2 km a una señal de tránsito, lo que indica una baja efectividad de esta medida. Este es el primer reporte de atropellamiento de fauna para la sabana inundable y se espera que sea una herramienta de mitigación de esta amenaza en el departamento.

Palabras clave: Orinoquía, biodiversidad, ecología de carreteras, aves, mamíferos, reptiles, anfibios.

* Financiado por Canacol Energy, CNE Oil & Gas
1 MVZ, MSc, Fundación Cunaguardo.
✉ c.rojanob@gmail.com.
DOI <https://orcid.org/0000-0001-9481-0976>
2 Ecólogo, Fundación Cunaguardo.
✉ renzoc.avila.n@gmail.com.
DOI <https://orcid.org/0000-0002-9315-8063>

Cómo citar este artículo: Rojano-Bolaño C, Ávila-Avilán R. Mortalidad de vertebrados silvestres por atropellamiento en el departamento de Casanare, Colombia. Rev Med Vet. 2021;(42): 27-40. <https://doi.org/10.19052/mvwol1.iss42.4>

Mortality in Wild Vertebrates due to Running-over in Casanare Province, Colombia

Abstract

Roads have impacted negatively the biodiversity and running-over the animals is one of the most relevant direct causes. This study aims to determine the time distribution and evaluate the spatial patterns related to running-over of wild vertebrates in the roads Yopal-Quebradaseca and Yopal-variante Jagüeyes, in Casanare (Colombia). Between 2017 and 2018, running-over events were recorded in 18 trips at 40 km/h. Running-over rates and hotspots were determined as well as some landscape variables (wetlands, native vegetation, buildings) and road variables (shape and use of traffic signs) related to this issue. This way, 139 collision events were recorded including 8 mammal species, 13 reptiles,

20 birds and one amphibian. *Caiman crocodilus* (n = 17), *Rhinella marina* (n = 13) and *Tamandua tetradactyla* (n = 13) were the most run-over species. *Myrmecophaga tridactyla* was the only threatened species reported in this vertebrate group. Reptiles were the animals with higher running-over rates in both road directions. Based on the total data, 15 hotspots were identified. In general, running-over events were associated with going through curve sections, getting close to a wetland, and driving in areas without any infrastructure. In these events, 64% of the run-over animals were found at a distance lower than 2 km from traffic sign, which indicates a poor effectiveness of these signs. This is the first report of animal running-over in this flooded savanna and is expected to be used as a tool to mitigate the impact on this province.

Keywords: Orinoco Region, biodiversity, road ecology, birds, mammals, reptiles, amphibians

INTRODUCCIÓN

Las carreteras y el tráfico afectan en dos formas las poblaciones de animales. Indirectamente, ya que fragmentan hábitats de forma amplia y continua, los reducen y dividen, lo cual genera un efecto barrera, que impide la comunicación de los animales y afecta su reproducción, dispersión y colonización. De forma directa, a causa de la mortalidad de individuos que intentan cruzar las vías (1,2).

El impacto de las carreteras sobre la biodiversidad es tal que, a nivel mundial, las redes de carreteras son consideradas una de las principales contribuciones antropogénicas a la pérdida de hábitat y fragmentación (3). También se han destacado como uno de los principales motores de pérdida de biodiversidad y extinción de especies (3,4). Por esto, la conservación y el mejoramiento de la conectividad del hábitat en paisajes de carreteras son cruciales para la persistencia efectiva y a largo plazo de los procesos ecológicos, incluidos el flujo de genes y la migración de especies (3,5,6).

Dentro de este contexto, también es necesario entender si la muerte de animales por colisiones con vehículos se da de manera aleatoria en las redes viales, o, por el contrario, como han reportado algunos estudios, no ocurre al azar, sino en ciertos puntos de las carreteras y concentrados en algunos períodos del año (6,7). Estos puntos pueden considerarse como áreas prioritarias para

la aplicación de medidas de mitigación, como cercas y muros de barrera complementadas, además de estructuras de cruce como pasos inferiores y pasos superiores (8,9,10).

En Colombia, las investigaciones enfocadas en el atropellamiento de fauna silvestre han demostrado que las carreteras afectan negativamente a la biodiversidad, incluso impactos negativos como mortalidades masivas y aislamiento de poblaciones (11,12,13,14,15,16). Además de esto, se ha encontrado que la transformación de los ecosistemas aumenta la probabilidad de atropellamiento de especies de mamíferos y reptiles (16,17). En este contexto, es necesario desarrollar estudios complementarios en las diferentes regiones geográficas del país, los cuales ayuden a entender y mitigar los potenciales impactos que estos cambios estarían generando sobre la biodiversidad.

La Orinoquía es una vasta región ubicada en el oriente de Colombia. Se caracteriza por su diversidad de ecosistemas, que incluye bosques, sabanas y páramos. Esto ha favorecido la presencia de una amplia diversidad de vertebrados terrestres, representada por más de 600 especies de mamíferos, aves, reptiles y anfibios (18). No obstante, durante los últimos años, esta zona ha atravesado un proceso de transformación económica, social, ecológica y de infraestructura (19,20), cuyos potenciales impactos requieren ser medidos y mitigados, incluso los relacionados con las vías.

En esta región, los estudios de mortalidad por atropellamiento de todos los grupos de vertebrados se han concentrado en el piedemonte de la cordillera Oriental, especialmente en los departamentos de Meta y Cundinamarca (17,21,22). Sin embargo, la información relacionada con otros ecosistemas, especialmente con las sabanas inundables, es escasa. En esta zona, las particularidades ecosistémicas (especialmente su tendencia a la inundación durante periodos largos de tiempo) y las características sociales y económicas podrían influir sobre el atropellamiento de fauna de una forma distinta, por lo cual es necesario analizarla de forma independiente.

Teniendo en cuenta lo anterior, para este estudio se propusieron los siguientes objetivos: a) determinar la tasa de atropellamiento de los vertebrados registrados en vías del departamento de Casanare, y b) establecer los patrones espaciales para atropellamiento de fauna en el área de estudio y su relación con las características del paisaje y de la vía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este trabajo se llevó a cabo en dos tramos viales asfaltados del departamento de Casanare: vía Yopal-Quebradaseca y Vía Yopal-variante Jagüeyes, San Luis de Palenque.

La vía Yopal-Quebradaseca (VYQ) va desde el área urbana del municipio de Yopal, hasta la vereda Quebradaseca, tramo consistente en 69 km de calzada sencilla. Con estas características y considerando su funcionalidad, se categoriza como vía secundaria, con puentes y obras de drenaje en buenas condiciones. Es una vía alterna hacia el municipio de Orocué y su flujo vehicular se debe a la importancia de la zona tanto para el sector agropecuario (cultivos de palma, cultivos de arroz y ganadería) como para el sector de hidrocarburos.

La vía Yopal-variante Jagüeyes, San Luis de Palenque (VYJ) consiste en 69,7 km de calzada sencilla, con un primer trayecto correspondiente a la vía marginal de la selva. Luego tiene un segundo trayecto donde se toma la vía Virgen de Guanapalo —que conduce a los municipios de San Luis de Palenque y Orocué— hasta llegar a la variante de la vereda Jagüeyes. En este tramo de la vía se encuentran establecidos cultivos de arroz, por lo que es constante el tránsito de vehículos con fines agrícolas y ganaderos, además de transporte de hidrocarburos.

El ecosistema predominante en las vías monitoreadas es sabana natural inundable, caracterizada por una topografía plana y cóncava (23). El clima es monomodal con dos períodos hidrológicos: seco (diciembre-marzo, con un promedio mensual de 28,1 °C de temperatura y 48,2 mm de precipitación) y lluvioso (mayo a octubre, con un promedio mensual de 25,8 °C de temperatura y 274,6 mm de precipitación) (24).

Métodos en campo

Para la VYQ se llevaron a cabo seis recorridos entre julio y noviembre de 2017 (intervalo promedio de 25 días) y seis recorridos adicionales entre mayo y julio de 2018 (intervalos de 15 días). Por su parte, en la VYJ se adelantaron cuatro recorridos entre agosto y octubre de 2017, y dos recorridos en junio de 2018, para un total de seis y una periodicidad estimada de 20 días entre un recorrido y otro.

Cada monitoreo consistió en un recorrido ida y vuelta que iniciaba a las 6 a. m., desde la ciudad de Yopal, con retorno a las 4 p. m. desde el punto final de cada tramo. Este desplazamiento fue realizado por los dos investigadores, a una velocidad promedio de 40 km/h. Al observarse un ejemplar de silvestre atropellado, se obtuvo registro fotográfico, se georreferenció el punto y se hizo una descripción breve de la localidad del accidente, incluyendo una clasificación inicial del tipo de coberturas, de acuerdo con la metodología Corine Land Cover (25).

Datos de atropellamientos

Cada ejemplar, en lo posible, fue identificado en campo, lo cual posteriormente fue confirmado siguiendo literatura especializada (26,27,28). Dado el avanzado estado de descomposición o a la gravedad de las lesiones, algunos individuos no pudieron ser identificados a nivel de especie.

Se calcularon dos tasas de atropellamientos expresadas en número de individuos atropellados por día y atropellamientos/kilómetros/día de monitoreo (29,30), utilizando el *software* libre SIRIEMA - Road Mortality Software V. 2.0 (31). La tasa se obtuvo, para cada trayecto y para los diferentes grupos de vertebrados, por medio del siguiente modelo:

$$N = \sum_{i=0}^{n-1} N_i = \lambda T_R p \sum_{i=0}^{n-1} \left(1 - \sum_{j=1}^i e^{-\lambda T_S} p (1-p)^{j-1}\right)$$

Allí, N es el número total de cadáveres registrados durante el estudio y λ es el número de cadáveres por día. p es la capacidad de detección, donde se usó el límite superior de eficiencia para aves, anfibios y reptiles (0,33), y un valor de 0,59 para mamíferos (32). TR es el tiempo en días que transcurre desde el momento de la colisión hasta la desaparición total del cadáver; esto fue calculado usando la información reportada en la literatura (29), la cual arrojó un valor promedio de un día para aves y anfibios, dos días para reptiles y de 5,3 días para mamíferos medianos y grandes (95 % IC). TS , que es el intervalo de muestreo o número de días entre recorridos, fue establecido como 20 en valor promedio para ambas vías. Finalmente, i es un punto dado en la vía y j es cada evento de atropellamiento.

El valor de ind/día fue multiplicado por 365 para obtener un estimativo de individuos atropellados anualmente en cada trayecto y para cada grupo taxonómico. Para este estudio no se analizaron las diferencias en la tasa mensual de atropellamientos entre los períodos secos y lluviosos, dado que todos los recorridos se realizaron durante la época de lluvias.

Identificación de *hotspots* de atropellamiento

Las agrupaciones significativas de vertebrados atropellados fueron evaluadas utilizando el estadístico K de Ripley 2D (33), el cual prueba la existencia o no de agregaciones de animales atropellados en diferentes escalas. Se utilizó un radio inicial de 300 m, un aumento de radio de 500 m, un nivel de confianza del 95 % y 1000 simulaciones Monte Carlo (31). Para determinar los *hotspots*, que son las ocurrencias de atropellamientos distribuidos de forma no aleatoria en el tramo muestreado, se llevó a cabo un análisis 2D Hotspot, para el cual se dividió cada tramo vial en segmentos de 100 m y un radio de 300 m. Finalmente, se evaluó la importancia de las agregaciones potenciales a un nivel de confianza del 95 % y 1000 simulaciones.

Los valores de intensidad de agregación por encima del nivel de confianza superior del 95 % indicaron puntos críticos de atropellamientos significativos (33). Todos estos análisis fueron desarrollados en el *software* libre Siriema v2.0. Los datos no fueron categorizados taxonómicamente, debido al bajo número de registros obtenidos durante el estudio.

Identificación de determinantes ambientales y de la vía

Se utilizó una regresión logística para determinar cuál de las variables del paisaje y de la vía predice mejor la probabilidad de atropellamiento de vertebrados (8,34), usando el paquete *stats* del *software* R 3.5 (35). Para esto, se dividió cada tramo vial en cuadrantes de 1 km, a los cuales se le asignó un valor 0 o 1, según la ausencia o presencia de registros de atropellamiento, respectivamente.

Se determinaron cuatro características del paisaje y de la vía en cada uno de ellos, definidas como variables explicativas en el análisis estadístico, y se categorizaron de forma binaria independiente, así: construcciones a orillas de las vías (ausencia 0 o presencia 1), forma de la vía (0 curva y 1 recta), humedales naturales o artificiales (ausencia 0 o presencia 1), y finalmente la vegetación nativa

(0 ausencia o 1 presencia). Estas características fueron determinadas en campo y posteriormente confirmadas con ayuda de imágenes satelitales de Google Earth.

Para facilitar la clasificación de coberturas vegetales identificadas en campo, estas se categorizaron de la siguiente forma: a) nativos: bosque de galería y ripario, bosque denso alto de tierra firme, bosque fragmentado, bosque fragmentado con vegetación secundaria, herbazal denso inundable, herbazales arbolados y arbustal denso; y b) antrópicos: mosaico de pastos, pastos enmalezados, pastos limpios, pastos arbolados, cultivos de arroz, palma de aceite, además de las combinaciones de dos o más de las coberturas naturales y antrópicas en diferentes proporciones.

Finalmente, se evaluó la relación de los registros obtenidos durante este trabajo con las señales de fauna silvestre presentes en la vía, de las cuales se obtuvo la coordenada en campo. Se calculó la distancia euclíadiana

entre cada registro y la señal de tránsito más cercana. Posteriormente se categorizaron las distancias a partir de una tabla de frecuencias (IC 95 %) y se graficaron. Estos análisis se desarrollaron con ayuda del software R 3.5.

RESULTADOS

Datos de atropellamientos

En total, fueron monitoreados más de 1300 km de vía a lo largo del periodo de estudio. Un total de 139 animales atropellados fueron registrados para los cuatro grupos taxonómicos analizados, de los cuales el 52,14 % se encontraron en la VYQ y el 47,8 % a la VYJ. Se registraron 42 especies: ocho de mamíferos, 13 de reptiles, 20 de aves y una especie de anfibio (tabla 1). Sin embargo, dado el estado de los cadáveres, cinco individuos de la familia Columbidae no pudieron ser identificados a nivel de especie.

Tabla 1. Listado de especies atropelladas en los tramos de estudio en Casanare entre 2017 y 2018

Taxón/familia	Especie	Atropellos VYQ	Atropellos VYJ	Total
Anfibios				
Bufoidae	<i>Rhinella marina</i> (Linnaeus, 1758)	9	4	13
Reptiles				
Amphisbaenidae	<i>Amphisbaena alba</i> (Linnaeus, 1758)	0	1	1
	<i>Chironius carinatus</i> (Linnaeus, 1758)	6	3	9
	<i>Corallus ruschenbergerii</i> (Cope, 1875)	0	1	1
Colubridae	<i>Leptodeira annulata</i> (Linnaeus, 1758)	2	1	3
	<i>Pseudoboa neuwiedii</i> (Stejneger, 1902)	2	0	2
	<i>Spilotes pullatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	1	1
	<i>Tantilla melanocephala</i> (Linnaeus, 1758)	0	2	2
Boidae	<i>Epicrates maurus</i> (Gray, 1849)	1	3	4
	<i>Eunectes murinus</i> (Linnaeus, 1758)	2	0	2
Crocodylidae	<i>Caiman crocodilus</i> (Linnaeus, 1758)	11	6	17
Iguanidae	<i>Iguana iguana</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	2

Continúa

Taxón/familia	Especie	Atropellos VYQ	Atropellos VYJ	Total
Teiidae	<i>Tupinambis teguixin</i> (Linnaeus, 1758)	1	0	1
Podocnemididae	<i>Podocnemis vogli</i> (Müller, 1935)	1	0	1
Aves				
Rallidae	<i>Aramides cajanea</i> (Müller, 1776)	1	0	1
Tytonidae	<i>Athene cunicularia</i> (Molina, 1782)	4	0	4
Cuculidae	<i>Coccyzus melacoryphus</i> (Vieillot, 1817)	0	1	1
	<i>Crotophaga ani</i> (Linnaeus, 1758)	0	1	1
Columbidae	<i>Columbina minuta</i> (Linnaeus, 1766)	4	2	6
	<i>Zenaida auriculata</i> (Des Murs, 1847)	0	1	1
	<i>Sin ID</i>	2	3	5
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i> (Bechstein, 1793)	2	4	6
Jacanidae	<i>Porphyrio martinica</i> (Linnaeus, 1766)	0	1	1
	<i>Jacana jacana</i> (Linnaeus, 1766)	1	1	2
Falconidae	<i>Milvago chimachima</i> (Vieillot, 1816)	3	0	3
Tyrannidae	<i>Myiozetetes</i> sp. (Slater, 1859)	1	0	1
	<i>Tyrannus melancholicus</i> (Vieillot, 1819)	1	0	1
	<i>Tyrannus savana</i> (Vieillot, 1808)	1	0	1
Caprimulgidae	<i>Nyctidromus albicollis</i> (Gmelin, 1789)	0	1	1
Icteridae	<i>Sturnella magna</i> (Linnaeus, 1758)	0	1	1
	<i>Paroaria nigrogenis</i> (Lafresnaye, 1846)	1	0	1
	<i>Sicalis columbiana</i> (Cabanis, 1851)	1	0	1
Thraupidae	<i>Sicalis flaveola</i> (Linnaeus, 1766)	0	0	0
	<i>Thraupis episcopus</i> (Linnaeus, 1766)	0	1	1
	<i>Tangara cayana</i> (Linnaeus, 1766)	1	0	1
Mamíferos				
Canidae	<i>Cerdocyon thous</i> (Linnaeus, 1766)	3	5	8
Erethizontidae	<i>Coendou prehensilis</i> (Linnaeus, 1758)	0	1	1
Dasypodidae	<i>Dasypus novemcinctus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0	1
	<i>Dasypus sabanicola</i> (Mondolfi, 1968)	1	1	1
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i> (Linnaeus, 1758)	1	4	5
Hydrochaeridae	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i> (Linnaeus, 1766)	1	2	3
Myrmecophagidae	<i>Myrmecophaga tridactyla</i> (Linnaeus, 1758)	3	4	7
	<i>Tamandua tetradactyla</i> (Linnaeus, 1758)	4	9	13
TOTAL		73	66	139

Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los atropellamientos correspondieron a individuos con peso corporal bajo (<1 kg), para un total el 63,4 % de los registros (N = 60; 26 especies). Se encontró diferencia entre las especies con mayor número de registros de atropellamiento en cada tramo vial. Para VYQ fueron *Caiman crocodilus* (15 %) y *Rhinella marina* (12,3 %), mientras que para VYJ fueron *Tamandua tetradactyla* (13,6 %) y *C. crocodilus* (9 %). La tasa de atropellamientos más alta se presentó para el grupo de los reptiles, seguido de las aves, en ambos casos siendo superior en la VYJ (tabla 2).

Identificación de hotspots de atropellamiento

El análisis K de Ripley 2D encontró agregaciones significativas de atropellamientos, sin una sobredispersión significativa en ambas vías. El análisis 2D Hotspot identificó ocho hotspots de atropellamiento de vertebrados para la VYQ, en los kilómetros 15 a 16,5; 27 a 28,1; 28,8 a 30; 33 a 34,4; 47,5 a 48,5; 60,3 a 61; y 65 a 66. En cuanto a VYJ, se identificaron siete agrupaciones en los kiló-

metros 11,5 a 12,8; 18,8 a 19,1; 47 a 48,3; 53 a 54; 59,5 a 60,3; 63,8 a 64,9; y 66 a 66,3 (figura 1). La extensión promedio de los hotspots identificados fue de $1 \pm 0,37$ km.

Determinantes ambientales y de la vía

Se encontró que el atropellamiento de vertebrados silvestres en las vías de interés para este trabajo está relacionado con la ausencia de infraestructura (viviendas, bodegas, pistas, entre otros), y la presencia de humedales ($p < 0,01$) y tramos curvos de la vía ($p < 0,05$). No se encontró una relación entre el tipo de coberturas y la presencia de animales atropellados (tabla 3).

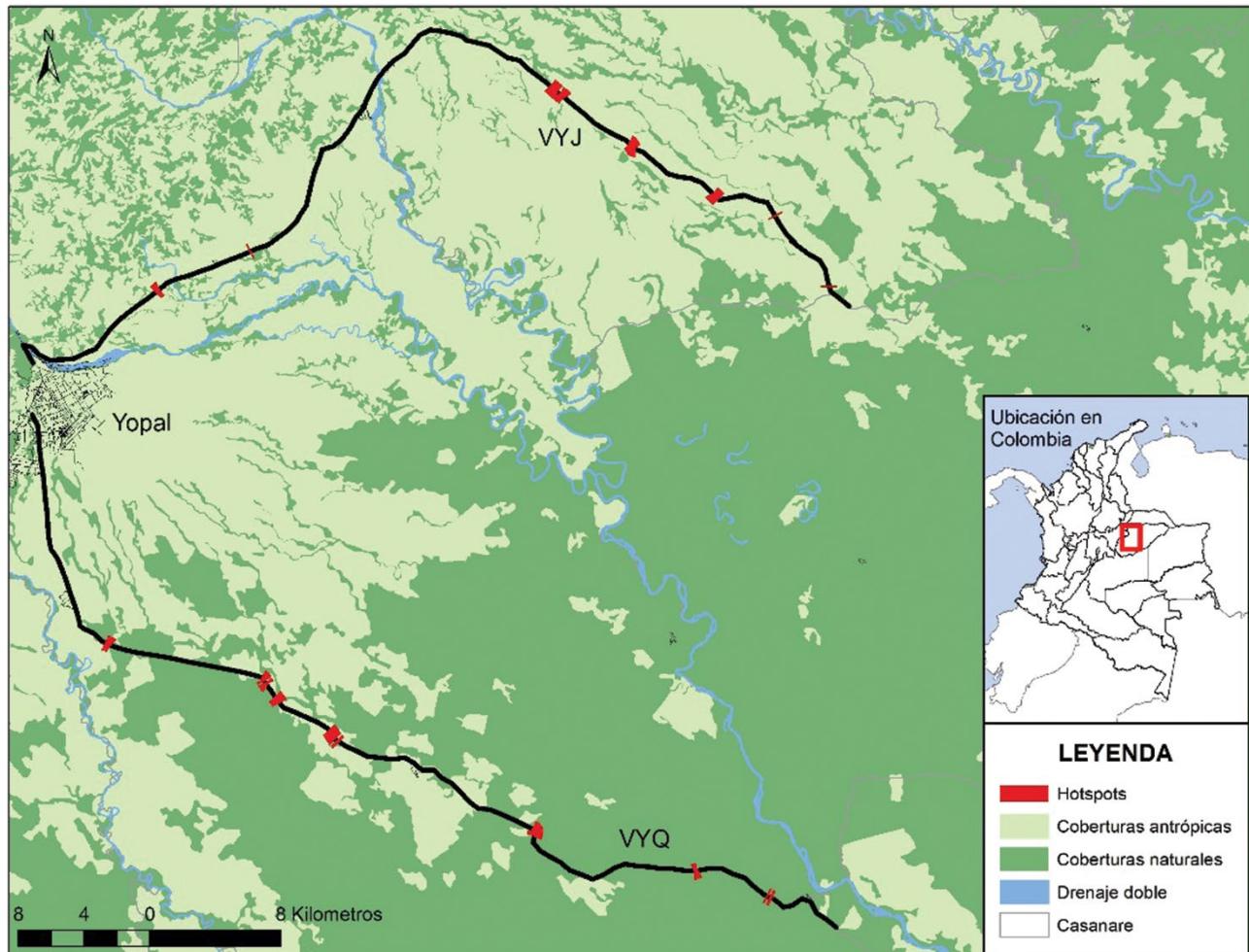
En total, se encontraron 16 señales de paso de fauna en los tramos de estudio: 7 para VYQ y 8 para VYJ; esto, en promedio, equivale a una señal por cada 7,7 km de vía asfaltada. El 64 % de los individuos fue registrado a menos de 2 km de una señal de cruce de animales silvestres. La distancia promedio de los animales atropellados a la señal fue de 548 m, y algunos se encontraron a menos de 50 m de las medidas de prevención (figura 2).

Tabla 2. Tasas de atropellamiento de ind/km/día para los tramos de estudio en Casanare

Clase	VYQ (828 km recorridos)			VYJ (418 km recorridos)		
	Tasa ind/día	Tasa ind/km	Atropellamientos por año	Tasa ind/día	Tasa ind/km	Atropellamientos por año
Anfibios	2,27	0,03	828	2,02	0,028	737
Reptiles	3,40	0,049	1245	4,79	0,068	1711
Aves	5,80	0,080	2117	8,58	0,12	3131
Mamíferos	0,35	0,005	127	1,40	0,020	511
Total			4317	Total		6090

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Puntos calientes para el total de registros de vertebrados en los dos tramos viales de estudio en Casanare



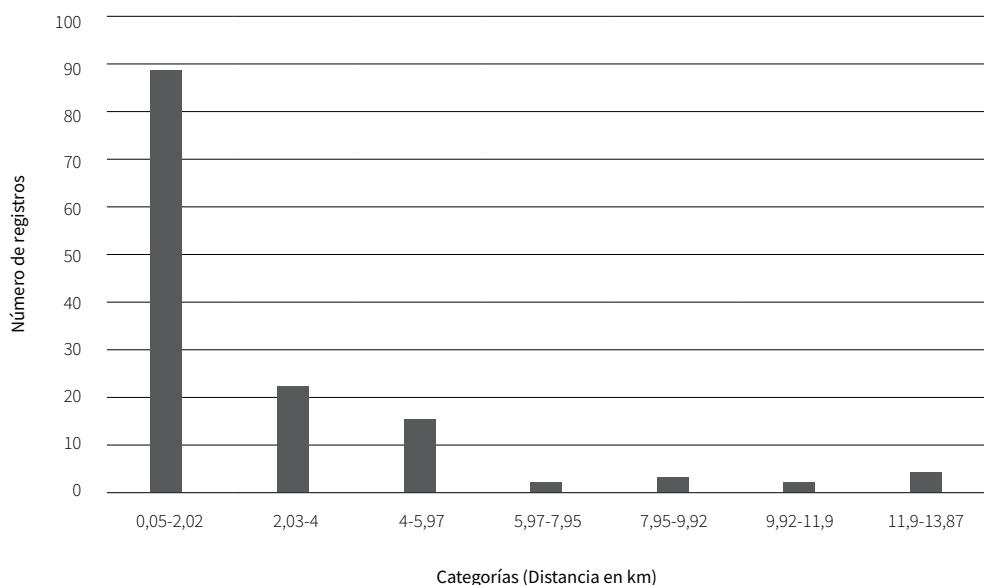
Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Análisis de regresión logística según los atributos de las vías y del paisaje

Variable explicativa	Odds ratio	P-valor	IC 95 % (Odds)
Forma de la vía	0,44	0,0341	0,20-0,94
Construcciones	0,20	0,0004	0,08-0,48
Vegetación nativa (> 50 %)	0,88	0,7632	0,38-2,05
Humedales	3,57	0,0073	1,41-9,03

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Frecuencias de registros de vertebrados atropellados en relación con la distancia a las señales de paso de fauna en las vías de estudio en Casanare



Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

En el primer reporte sobre atropellamiento de animales silvestres en zonas de sabana inundable en Casanare, Colombia, se encontraron 42 especies de vertebrados atropellados. Los valores de riqueza de especies son inferiores a los encontrados por otros autores en vías del piedemonte de la Orinoquía (21) y en otras regiones de Colombia (11,16).

En referencia a las tasas de atropellamiento, para reptiles, aves y anfibios, se encontraron valores relativamente superiores a los reportados en carreteras de Santander y Magdalena (36, 37). En cuanto a los mamíferos, los índices fueron similares a los encontrados en vías del valle del Magdalena, en la zona centro-norte del país (16). Estas diferencias se pueden deber a diversos factores, incluyendo el tráfico vehicular y el tipo de carretera, el clima, el paisaje predominante y las propias especies (21). No obstante, para los análisis de este estudio no se

cuenta con información de tráfico vehicular en ninguno de los tramos recorridos, ni se tuvo en cuenta el clima, dado el tiempo que transcurrió entre los muestreos.

De los grupos analizados, los reptiles presentaron los valores más altos de individuos atropellados por día en ambos tramos viales. Dentro de estos, la mayoría de los ejemplares eran serpientes y crocodilianos, que han sido reportados en diferentes localidades del país como los taxones más vulnerables a la mortalidad vial (36,38,39). Entre los factores que podrían explicar este fenómeno, se encuentra la necesidad de termorregulación, la cual puede ser provista por la capa asfáltica que se calienta durante el día y permanece así incluso en horas de la noche (2,40).

Otros trabajos indican que variables como el sexo, la edad, el tamaño o la época pueden hacer que las serpientes se vean especialmente atraídas a las vías (36,40,41) e, incluso, la percepción de los conductores hacia estas

especies podría influir en la frecuencia con que son atropellados estos reptiles (35,40,41). Finalmente, es importante considerar que, en los reptiles diurnos, su periodo de actividad podría coincidir con los mayores flujos vehiculares, lo que los hace más vulnerables a ser atropellados (36,42).

Las tres especies con mayor número de registros de atropellamiento fueron la babilla (*C. crocodilus*), con el 12,2 % de los reportes; el oso melero (*Tamandua tetradactyla*), con el 9,35 %, y el sapo común (*Rhinella marina*) con el 9,35 %. Es importante mencionar que todas estas especies se encuentran categorizadas como de preocupación menor tanto a nivel nacional como internacional (43,44). Algunos autores proponen que los atropellamientos continuos no necesariamente representan un impacto significativo a nivel poblacional para algunas especies (45) y que, en realidad, pueden ser un reflejo de algunas características particulares como altas densidades poblacionales o resiliencia a los atropellamientos (16). Por esto, se requieren estudios complementarios que evalúen el estado de las especies a una escala más allá de la franja vial.

No obstante, para algunas especies con tasa reproductiva baja, como el oso palmero (*Myrmecophaga tridactyla*), que para este estudio fue la única especie listada como amenazada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (34), los atropellamientos podrían significar una amenaza real para sus poblaciones a nivel local e incluso podrían llegar a ocasionar extirpaciones en algunas zonas de su distribución (46). Por esta razón, se requiere complementar los datos de nuestra investigación con trabajos que aborden las densidades poblacionales y parámetros ecológicos a diferentes gradientes de cercanía con las vías.

Por su parte, las aves presentaron el mayor número de especies atropelladas, con al menos 20 taxones distintos y cinco individuos sin identificar a nivel de especies. Dentro de este grupo, las especies con mayor número de registros fueron el chulo (*C. atratus*) y la palomita (*C. minuta*). Ambas son especies generalistas que po-

drían verse atraídas a la vía por condiciones distintas. En el primer caso, el chulo es una especie carroñera, que se acerca las vías para alimentarse de las carcasas de animales muertos y otros residuos (47). Por otro lado, la palomita se podría ver atraída por la vía para alimentarse de los granos de arroz (*Oryza sativa*) que caen a la vía durante su transporte desde las zonas de cosecha al oriente del Casanare (Rojano C, Investigador. Comunicación personal, 26 de marzo de 2018).

Se encontró una fuerte asociación entre los atropellamientos de vertebrados y localidades con ausencia de infraestructura humana, presencia de humedales y tramos curvos de la vía. Sobre esta última variable, diversos estudios han reportado que puede haber un comportamiento distinto según la especie y la zona. Normalmente, los vehículos deben desacelerar cuando se acercan a una curva, lo que debería reducir la probabilidad de atropellamiento (8,48). No obstante, factores adicionales, como la dificultad de observación por la vegetación densa al borde de la carretera, el tipo de carretera y las especies focales, pueden aumentar la probabilidad de colisión vehicular (8,49), lo cual podría estar ocurriendo en las vías evaluadas en esta investigación.

En cuanto a la presencia de coberturas nativas, no se encontró una relación significativa con la presencia de atropellamientos. Esto indica que los animales están siendo arrollados en las diferentes coberturas y matrices presentes en la zona. Algunos autores afirman que los puntos críticos de atropellamientos pueden estar asociados con áreas con baja conectividad estructural regional, donde el movimiento de animales estaría influenciado por la presencia de hábitats altamente modificados por los humanos (16). Esto, probablemente, se deba a dos condiciones que aumentan el riesgo de atropellamiento al incrementar la tasa de cruce de la vía: a) que los animales que se restringen a zonas boscosas requieran movilizarse a través de áreas intervenidas para poder encontrar nuevos parches de hábitat viables (50,51), o b) que las especies que usan el entorno de forma generalista, aprovechen las matrices intervenidas como hábitat o como caminos (52,53).

En el caso puntual de la babilla, todos los registros de atropellamiento estuvieron asociados a la presencia de humedales, tanto naturales, representados por bajos, esteros y lagunas, como artificiales, representados principalmente por las áreas de préstamo paralelas a las vías. Se ha reportado que esta especie realiza migraciones locales entre humedales a medida que los recursos escasean (54), lo cual puede ser un factor desencadenante de su atropellamiento. Esto es importante tenerlo en cuenta al momento de identificar zonas para establecer cruces de fauna en sabana inundable, dado que —tal como se pudo observar durante este estudio— en este ecosistema las vías suelen intersecar cuerpos de agua léticos y lóticos, donde estos reptiles acuáticos podrían ser atropellados de forma permanente.

La efectividad de las señales de tránsito como medidas de mitigación ha sido discutida en los últimos años, y se han encontrado visiones positivas (55,56) y negativas sobre su funcionalidad (16,57,58). Para el área de estudio se encontró que más del 30 % del total de animales atropellados se encontraban a una distancia menor de 1 km de ellas. Esto indica que la efectividad de las señales podría ser reducida y que se requieren medidas complementarias como cercados, pasos aéreos y subterráneos. No obstante, es necesario desarrollar análisis más completos que permitan incluir variables distintas, incluyendo la percepción de los conductores sobre este tipo de medidas.

CONCLUSIONES

Este estudio es un primer abordaje sobre la ecología de carreteras en áreas de sabana natural inundable. Se reportan valores considerables de atropellamientos de vertebrados en ambos tramos viales. Asimismo, se resalta el hallazgo de atropellamientos frecuentes de *M. tridactyla*, especie amenazada que podría requerir atención especial. La información referente a los puntos críticos podrá ser usada por los tomadores de decisiones para plantear estrategias de mitigación.

Los autores recomiendan que estos datos sean complementados con muestreos continuos y sistematizados,

donde además se incluyan nuevas variables y análisis adicionales, los cuales ayuden a proponer medidas acertadas de mitigación de esta afectación a la biodiversidad de los llanos orientales.

REFERENCIAS

1. Arroyave MDP, Gómez C, Gutiérrez ME, Múnera DP, Zapata PA, Vergara IC, Ramos KC. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. Rev EIA, 2006;(5):45-57.
2. Clevenger A, Huijser M. Wildlife crossing structure handbook. Design and evaluation in North America. Bozeman, USA: Western Transportation Institute; 2011.
3. Pinto FA, Bager A, Clevenger AP, Grilo C. Giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) conservation in Brazil: Analyzing the relative effects of fragmentation and mortality due to roads. Biol Conserv. 2018;(228):148-157. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.10.023>
4. Fahrig, L, Rytwiński, T. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. Ecol. and Soc. 2009;(14):21. <https://doi.org/10.5751/ES-02815-140121>
5. Forman, RT, Alexander, LE. Roads and their major ecological effects. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 1998;(29): 207-231. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>
6. Kang W, Minor ES, Woo D, Lee D, Park CR. Forest mammal roadkills as related to habitat connectivity in protected areas. Biodivers Conserv. 2016;(25): 2673-2686. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1194-7>
7. Clevenger AP, Chruszcz B, Gunson KE. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. Biol Conserv. 2003;(103):15-26. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00127-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00127-1)
8. Garriga N, Franch M, Santos X, Montori A, Llorente GA. Seasonal variation in vertebrate traffic casualties and its implications for mitigation measures. Landscape Urban Plann. 2017;(157):36-44. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.029>
9. Grilo C, Bissonette JA, Cramer PC. Mitigation measures to reduce impacts on biodiversity. En: Highways:

- construction, management, and maintenance. Hauppauge (NY): Nova Science Publishers; 2010. p. 73-114.
10. Polak T, Rhodes JR, Jones D, Possingham HP. Optimal planning for mitigating the impacts of roads on wildlife. *J Appl Ecol.* 2014;(51):726-734. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12243>
 11. Morelle K, Lehaire F, Lejeune P. Spatio-temporal patterns of wildlife-vehicle collisions in a region with a high-density road network. *Nat Conserv.* 2013;(5):53-73. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.5.4634>
 12. De La Ossa-VJ, Galván-Guevara S. Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo – ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colomb.* 2015;(16):66-77.
 13. Caballero MA, Moreno LC. Mortalidad de vertebrados silvestres en dos segmentos de la carretera troncal del Caribe, Magdalena, Colombia. *Biota Colomb.* 2019;(20):106-119. <https://doi.org/10.21068/c2019.v20n01a07>
 14. Rojano C, Chacón-Pacheco J, Polo, AF. El oso melero (*Tamandua mexicana*), en el Caribe colombiano: aportes sobre su ecología y amenazas. *Edentata.* 2016; (17):17-24. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.Edentata-17-1.4.en>
 15. Vélez AD. Adiciones al atropellamiento vehicular de mamíferos en la vía de El Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Rev EIA.* 2014;(22):147-153.
 16. Vargas-Salinas F, López-Aranda F. ¿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.* 2012;(34):409-420.
 17. Meza-Joya F, Ramos E, Cardona D. Spatio-temporal patterns of mammal road mortality in middle Magdalena valley, Colombia. *Oecol Aust.* 2019;(23):575-588. <https://doi.org/10.4257/oeco.2019.2303.15>
 18. Rincón-Aranguri M, Urbina-Cardona N, Gáleano SP, Páez, VP. Roadkill of snakes on a highway in an Orinoco Ecosystem: Landscape factors and species traits related to their mortality. *Trop Conserv Sci.* 2019;(12):1-18. <https://doi.org/10.1177/1940082919830832>
 19. Lasso CA, Usma JS, Trujillo F, Rial A. Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle e Universidad Nacional de Colombia; 2010.
 20. Podestá-Castro P. Transformación productiva de las sabanas de la altillanura colombiana [tesis pregrado]. Buenos Aires: Universidad Católica Argentina; 2016.
 21. Andrade GI, Castro-Gutiérrez L, Rodríguez-Becerra M, Uribe-Botero E, Wills-Herrera E. La mejor Orinoquia que podemos construir. Elementos para la sostenibilidad ambiental del desarrollo. Bogotá: Universidad Andes y Corporinoquia; 2011.
 22. Rincón-Aranguri M, Pachón-García J, Eslava-Mocha P, Astwood-Romero J. Diagnóstico de atropellamiento vial de fauna silvestre e identificación de puntos críticos en tres rutas principales del departamento del Meta, Informe final. Cormacarena y Unillanos [internet]. 2015. Disponible en: <http://www.cormacarena.gov.co/descargarpdf.php?libro=9380>
 23. Astwood-Romero J, Reyes C, Rincón-Aranguri M, Pachón-García J, Eslava-Mocha P, Parra C. Mortalidad de reptiles en carreteras del piedemonte de los llanos orientales colombianos. *Caldasia.* 2017;(40):321-334. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.67578>
 24. Osorio-Peláez C, Lasso CA, Trujillo F. XIII. Aplicación de criterios bioecológicos para la identificación, caracterización y establecimiento de límites funcionales en humedales de las sabanas inundables de la Orinoquia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH); 2015.
 25. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Promedios de precipitación y temperatura [internet]. 2017. Disponible en: https://www.datos.gov.co/d/nsxu-h2dh?category=Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible&view_name=Promedios-Precipitaci-n-yTemperatura-media-Promed
 26. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. Mapa de cobertura de la tierra, período

- 2010-2012 [internet]. 2017. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/fi/catalogo-de-mapas>.
27. Rueda-Almonacid JV, Carr JL, Mittermeier RA, Rodriguez-Maechá JV, Mast RB, Vogt RC, Rhodin AGJ, De La Ossa-Velásquez J, Rueda JN, Goettsch-M C. Las tortugas y los cocodrilianos de los países andinos del trópico. Serie de guías tropicales de campo N.º 6. Bogotá, Colombia: Conservación Internacional, Andes CBC; 2007.
28. Canevari M, Vaccaro O. Guía de mamíferos del sur de América del Sur. 1.ª ed. Buenos Aires: L.O.L.A.; 2007.
29. McNish T. Las aves de los Llanos de la Orinoquía. Bogotá: M&B; 2007.
30. Santos SM, Carvalho F, Mira A. How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. PLoS ONE. 2011;(6):1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025383>
31. Teixeira FZ, Coelho AVP, Esperandio IB, Kindel A. Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. Biol. Conserv. 2013;(157):317-323. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.09.006>
32. Coelho AVP, Coelho IP, Kindel A, Teixeira FZ. Siriema: road mortality software. User's Manual V. 2.0. Porto Alegre: NERF, UFRGS; 2014.
33. Teixeira FZ, Coelho IP, Esperandio IB, Oliveira NR, Porto-Peter F, Dornelles SS, Delazeri NR, Tavares M, Borges-Martins M, Kindel A. Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups? Oecol Aus. 2013;(17):36-47. <https://doi.org/10.4257/oeco.2013.1701.04>
34. Coelho IP, Kindel A, Coelho AVP. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. Eur J Wildl Res. 2008;(54):689-699. <https://doi.org/10.1007/s10344-008-0197-4>
35. Hosmer DW, Lemeshow S. Applied Logistic Regression. 2.ª ed. New York: Wiley-Interscience; 2000. <https://doi.org/10.1002/0471722146>
36. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [Internet]. 2017. Disponible en: <https://qgis.org/en/site/about/index.html>
37. Ramos E, Meza-Joya FL. Reptile road mortality in a fragmented landscape of the Middle Magdalena Valley, Colombia. Herpetol Notes. 2018;(11):81-9.
38. Adárraga-Caballero MA, Gutiérrez-Moreno LC. Mortalidad de vertebrados silvestres en la carretera Troncal del Caribe, Magdalena, Colombia. Biota Colomb. 2019;(20):106-119. <https://doi.org/10.21068/c2019.v20n01a07>
39. López DF, León-Yusti M, Guevara-Molina SC, Vargas-Salinas F. Reptiles en corredores biológicos y mortalidad por atropellamiento vehicular en Barbas-Bremen, departamento del Quindío, Colombia. Rev Acad Colomb Cienc Exactas Fis Nat. 2016;(40):484-493. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.334>
40. De La Ossa-VJ, Galván-Guevara S. Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo-ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. Biota Colomb. 2015;(16):67-77.
41. Ashley P, Robinson JT. Road mortality of amphibians, reptiles and other wildlife on the Long Point Causeway, Lake Erie, Ontario. Can Field-Nat. 1996;(110):403-412.
42. Shine R, Lemaster M, Wall M, Langkilde T, Mason R. Why did the snake cross the road? Effects of roads on movement and location of mates by garter snakes (*Thamnophis sirtalis parietalis*). Ecol Soc. 2004;(9):1-9. <https://doi.org/10.5751/ES-00624-090109>
43. Andrews K, Whitfield J. How do highways influence snake movement? Behavioral responses to roads and vehicles. Copeia. 2005;(4):772-782. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2005\)005\[0772:HDHISM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2005)005[0772:HDHISM]2.0.CO;2)
44. Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. Resolución 1912 de 2017 [internet]. 2017. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/75res%201912%20de%202017.pdf>
45. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – IUCN. [internet]. 2019 [citado 2019 mar 16]. Disponible en: <https://www.iucn.org/es>
46. Fahrig L, Rytinski T. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. Ecol Soc. 2009;(14):21. <https://doi.org/10.5751/ES-02815-140121>

47. Miranda F, Bertassoni A, Abba AM. *Myrmecophaga tridactyla*. En: The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1 [internet]. 2014 [citado 2019 jul 20]. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/fr/species/14224/47441961>
48. Ballejo F, De Santis L. Dieta estacional del jote cabeza negra (*Coragyps atratus*) en un área rural y una urbana en el noroeste patagónico. *Hornero*. 2013;(28):7-14.
49. Canal D, Camacho C, Martín B, de Lucas M, Ferrer M. Fine-scale determinants of vertebrate roadkills across a biodiversity hotspot in Southern Spain. *Biodivers Conserv*. 2019;(28):3239-3256 <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01817-5>
50. Gunson KE, Mountrakis G, Quackenbush LJ. Spatial wildlife-vehicle collision models: a review of current work and its application to transportation mitigation projects. *J Environ Manag*. 2011;(92):1074-1082. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.027>
51. Spear SF, Balkenhol N, Fortín MJ, McRae BH, Scribner K. Use of resistance surfaces for landscape genetic studies: considerations for parameterization and analysis. *Mol Ecol*. 2010;(19):3576-3591. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04657.x>
52. Trainor AM, Walters JR, Morris WF, Sexton J, Moody A. Empirical estimation of dispersal resistance surfaces: a case study with red-cockaded woodpeckers. *Landsc Ecol*. 2013;(28):755-767. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9861-5>
53. Freitas SR, Nepomuceno de Oliveira A, Ciochetti G, Vieira MV, Maria D, Matos S. How landscape features influence roadkill of three species of mammals in the Brazilian savanna? *Oecol Aus*. 2015;(18):35-45. <https://doi.org/10.4257/oeco.2014.1801.02>
54. Bueno C, Sousa C, de Freitas SR. Habitat or matrix: which is more relevant to predict roadkill of vertebrates? *Braz J Biol*, 2015;(75): S228-S238. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.12614>
55. De La Ossa VJ, De La Ossa-Lacayo A. Ocupación de jagüeyes por la babilla, *Caiman crocodilus fuscus* (Cope, 1868), en el Caribe colombiano. *Biota Colomb*. 2013;(14):326-334.
56. Castillo-RJC, Urmendez-M D, Zambrano-G G. Mortalidad de fauna por atropello vehicular en un sector de la vía panamericana entre Popayán y Patía. *Bol. Cient Mus Hist Nat*. 2015;(19):207-219.
57. Puc-Sánchez JI, Delgado-Trejo C, Mendoza-Ramírez E, Suazo-Ortuño I. Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre en México. *CONABIO Biodiversitas*. 2013;(11):12-16.
58. Meyer E. Assessing the effectiveness of deer warning signs (N.º K-TRAN: KU-03-6). Kansas, USA: Kansas Department of Transportation; 2006.
59. Huijser MP, McGowen PT. Reducing wildlife-vehicle collisions. En: *Safe passage: Highways, wildlife, and habitat connectivity*. Washington DC: Island Press; 2010.