



Mortalidad de fauna silvestre por colisiones vehiculares en el corredor vial Bosconia- Valledupar

Jennifer Ruiz León

Universidad de Pamplona
Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología
Pamplona, Colombia
2023

Mortalidad de fauna silvestre por colisiones vehiculares en el corredor vial Bosconia- Valledupar

Jennifer Ruiz León

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Bióloga

Director:

MSc. Diego Rolando Gutiérrez Sanabria

Codirectora:

Diana María Burbano Narváez

Bióloga del área ambiental, Constructora Ariguaní S.A.S.

Línea de Investigación:

Biogeografía y Conservación

Grupo de Investigación:

GIEB (Grupo de Investigación en Ecología y Biogeografía)

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología

Pamplona, Colombia

2023

DEDICATORIA

*A mis padres,
y a mis hermanas
por su amor incondicional y apoyo en mi formación académica.*

*“Cada vez que perdemos una especie
rompemos una cadena de la vida que ha
evolucionado durante 3.500 millones de años.”*

Jeffrey McNeely, científico de la UICN.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios, por haberme dado sabiduría y brindarme una vida llena de aprendizaje y buenas experiencias.

A mis padres y hermanas, por sus esfuerzos y apoyo incondicional y, sobre todo, por creer en mí, incluso cuando yo misma no lo hago.

A mi cuñado, Edgar Yesid Rueda, por brindarme su colaboración y apoyo en pro de culminar mi trabajo de grado

A mi director de tesis Diego Rolando Gutiérrez Sanabria, por su paciencia, su aporte, por apreciar mis fortalezas y la confianza en mis habilidades y así mismo, por brindarme la oportunidad de aprender a su lado.

A mi codirectora, Diana Maria Burbano, y a la constructora Ariguaní S.A.S y Yuma concesionaria que contribuyeron con el desarrollo de este trabajo de titulación.

También a mis jurados de tesis M.Sc. Cesar Rojano y M.Sc. Ginna Gómez. Por aceptarme y tener toda la paciencia y tiempo en la revisión del trabajo final.

A la universidad de Pamplona que me dio la oportunidad de una educación superior y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A mis docentes y compañeros de carrera quienes con su dedicación han enriquecido mi conocimiento y han inculcado en mí un amor por la ciencia.

A mis amigos, por su gran apoyo y compañía, por convertirse en mi hogar y familia durante estos años.

De igual manera agradecer a cada una de las personas por sus consejos que ayudaron a fortalecer esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS.....	6
LISTADO DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
1. INTRODUCCIÓN	10
2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1.Carreteras.....	14
2.1.1. Impacto de las carreteras hacia la fauna silvestre	14
2.1.2. Factores que influyen en el atropellamiento de la fauna silvestre	15
2.2.Ecosistema	16
2.3.Mapas de calor	17
2.3.1. Coberturas y uso de la tierra	18
2.3.1.1.Territorios artificializados	18
2.3.1.2.Territorios agrícolas	18
2.3.1.3.Bosques y áreas seminaturales	19
2.3.1.4.Superficies de agua	19
2.4.Estado del arte	19
3. OBJETIVOS	25
3.1.Objetivos generales.....	25
3.2.Objetivos específicos.....	25
4. MATERIALES Y METODOS	26
4.1.Área de estudio	26
4.2.Obtención de datos	28
4.3.Registro de individuos atropellados, tabulación y organización	28
4.4.Identificación de los puntos críticos o hostposts	29
4.5.Efecto del paisaje sobre los eventos de atropellamiento	29
4.6.Análisis estadísticos	30
5. RESULTADOS.....	32
5.1.Mortalidad de fauna	32
5.2.Identificación de los puntos críticos o hostposts	37
5.2.1. Determinación de eventos de colisión y puntos críticos para cada taxón	38
5.3.Análisis estadísticos.....	40
5.3.1. Efecto del paisaje sobre los eventos de atropellamiento	40
6. DISCUSIÓN	51
7. CONCLUSIONES	59
8. RECOMENDACIONES.....	61
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	62

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Factores que inciden en el atropellamiento de fauna silvestre en Colombia	15
Tabla 2. Especies de Mamíferos reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Bosconia- Valledupar.....	35
Tabla 3. Especies de Reptiles reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Bosconia- Valledupar.....	36
Tabla 4. Especies de Aves reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Bosconia Valledupar	37
Tabla 5. Especie de Anfibio reportado en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Bosconia- Valledupar.....	37
Tabla 6. Selección del mejor modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de fauna silvestre vertebrada en general en la carretera de Bosconia- Valledupar.....	42
Tabla 7. Resumen de coeficientes del GLM para la determinación de las variables del paisaje que influyen en los eventos de colisión de la fauna en general.	43
Tabla 8. Selección del mejor modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de mamíferos en la carretera de Bosconia- Valledupar	45
Tabla 9. Resumen de coeficientes del GLM para la determinación de las variables del paisaje que influyen en los eventos de colisión del grupo de mamíferos	45
Tabla 10. Selección del mejor modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de reptiles en la carretera de Bosconia- Valledupar	47
Tabla 11. Resumen de coeficientes del GLM para la determinación de las variables del paisaje que influyen en los eventos de colisión del grupo de reptiles.....	48
Tabla 12. Selección del mejor modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de Aves en la carretera de Bosconia- Valledupar	50
Tabla 13. Resumen de coeficientes del GLM para la determinación de las variables del paisaje que influyen en los eventos de colisión del grupo de aves	50

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del corredor vial Bosconia-Valledupar	27
Figura 2. Cantidad de Individuos por colisiones vehiculares, representados por categoría taxonómica.....	33
Figura 3. Especies atropelladas en el tramo 8; ruta del sol sector III, Cesar	34
Figura 4. Puntos críticos para el total de registros de atropellos de vertebrados silvestres en relación con las coberturas CLC, en el tramo 8 Bosconia-Valledupar. Cesar, Colombia.	38
Figura 5. Puntos críticos de los registros de atropellos de aves en relación con las coberturas CLC, en el tramo 8 Bosconia-Valledupar. Cesar, Colombia.	39
Figura 6. Puntos críticos de los registros de atropellos de mamíferos en relación con las coberturas CLC, en el tramo 8 Bosconia-Valledupar. Cesar, Colombia.	40
Figura 7. Puntos críticos de los registros de atropellos de reptiles en relación con las coberturas CLC, en el tramo 8 Bosconia-Valledupar. Cesar, Colombia.	41
Figura 8. Efectos de las variables seleccionadas como importantes para la probabilidad de atropellos de fauna silvestre vertebrada en general	44
Figura 9. Efectos de las variables seleccionadas como importantes para la probabilidad de atropellos de mamíferos	46
Figura 10. Efectos de la variable seleccionada como importantes para la probabilidad de atropellos de reptiles	49
Figura 11. Efectos de la variable seleccionada como importantes para la probabilidad de atropellos de aves	51

RESUMEN

La infraestructura vial presenta beneficios potenciales como la mejora en el desarrollo social y económico. No obstante, estas redes viales tienen efectos negativos sobre la biodiversidad y los paisajes; generando una de las principales causas en los cambios en las poblaciones de fauna silvestre. Por lo tanto, este trabajo analizó la mortalidad de fauna silvestre a nivel espacial por colisiones vehiculares en la ruta que va desde Bosconia a Valledupar, Cesar, Colombia. Por medio del proyecto vial Ruta del Sol, sector III: Se obtuvo un conjunto de datos históricos (2013-2022-1) de atropellamiento de fauna con un total de 446 registros, información recopilada por el personal ambiental de la Constructora Ariguaní EPC (Engineering, procurement, and construction) de Yuma concesionaria. Se identificaron los puntos críticos de atropellamiento (o colisión vehicular con fauna silvestre), para cada uno de los grupos taxonómicos (anfibios, reptiles, aves y mamíferos), se determinó qué características del paisaje están relacionadas a los sitios de atropellos para la fauna silvestre; la obtención de las variables de paisaje se realizó mediante análisis de coberturas de la tierra propuestas en Corine Land Cover, y se analizó por medio de SIG.

Se registró un total de 446 individuos atropellados pertenecientes a 53 especies, 51 géneros, 35 familias y 19 órdenes, distribuidas entre aves, reptiles, mamíferos y anfibios. Los órdenes y familias con mayores eventos de atropellamiento fueron, el orden Carnivora con 156 individuos y la familia Canidae (n=128), el orden Squamata con 122 individuos y la familia Iguanidae (n=62), por último, el orden Falconiformes con 18 individuos y la familia Falconidae, con la misma cantidad de individuos. Las especies con más eventos de atropellamiento por clase fueron *Cerdocyon thous* (128), *Tamandua mexicana* (54), *Iguana iguana* (62), *Boa constrictor* (21), *Caracara cheriway* (9), *Milvago chimachima* (8), *Cathartes aura* (8).

De acuerdo con los resultados, los eventos de atropellamiento son diferentes entre las coberturas, ya que en cuanto a los puntos críticos específicos se encontraron 9 puntos críticos a nivel general, para mamíferos 6, aves y reptiles 5, asociados a coberturas compuesta por pastos, fragmentos de bosque, vegetación herbácea o arbustiva y cuerpos de agua. Las variables de paisaje más influyentes en el atropello de fauna silvestre fueron, porcentaje de bosque y distancia al río más cercano.

Los resultados según los modelos indican, que las áreas como mayor cobertura boscosa y la cercanía a fuentes de agua, son las variables que influyen en la probabilidad de atropellos de fauna; es por esto que para implementar nuevas medidas y mejorar las estrategias implementadas hasta el momento es necesario considerar las características del entorno y los riesgos de colisiones, ya que varía según los diferentes grupos biológicos, teniendo en cuenta que cada grupo responde de manera distinta a las condiciones ambientales circundantes.

Palabras Claves: Anfibios, Atropellamiento, Aves, Caribe Colombiano, Ecología de carreteras, Mamíferos, Reptiles.

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la infraestructura vial es de gran beneficio para el ser humano ya que permite el acceso a zonas nuevas o de baja accesibilidad, ofreciéndoles la oportunidad de mejorar la movilidad de la población y la comercialización de productos, explorar nuevos recursos, mejorar condiciones de vida y así mismo aportando al desarrollo económico y social de una región (Forman et al., 2003). Estas obras viales no solo causan cambios positivos, sino que además generan cambios en el aspecto físico del paisaje y alteran los patrones de actividad de la fauna silvestre (Clevenger et al., 2002).

De manera general, estas carreteras y el tráfico vehicular afectan en diferentes formas la población de animales silvestres. Una de ellas es el deterioro de la calidad y cantidad de hábitat, el incremento de la mortalidad de animales por colisión, y seguidamente, la limitación al libre acceso de recursos por parte de la fauna y por último la fragmentación de poblaciones en subpoblaciones reducidas y vulnerables viéndose afectadas genética y poblacionalmente (Jaeger et al., 2005). Además de estos impactos, la creación de carreteras fragmenta un hábitat amplio y continuo, reduciendo y dividiéndolo, generando así un efecto barrera, impidiéndole la comunicación a las especies, afectando la reproducción, dispersión y colonización (Forman et al., 2003).

El atropellamiento de fauna silvestre, también conocido “Roadkill” es el impacto negativo más fácil de reconocer, cuando se compara con los demás impactos negativos mencionados anteriormente, debido a que es habitual observar en las carreteras los cuerpos de animales muertos (Torres et al., 2003). Estos sucesos afectan en general, a las poblaciones de las especies involucradas, sobre todo en aquellas que se encuentran en estado de amenazadas o vulnerables y, en menor grado, las más comunes y abundantes, es decir, el grado de afectación

depende específicamente del tamaño de la población, de la capacidad que tengan para reproducirse, la movilidad y el tamaño corporal de la especie (Rytwinski et al., 2012).

Por otra parte, la probabilidad de atropello a la fauna silvestre está directamente relacionada con la alteración del comportamiento de las especies que habitan cerca de las infraestructuras viales, ya sea porque las carreteras atraen a la fauna, o porque de cierta forma la evitan (Arroyave et al., 2006). Por ejemplo, algunos mamíferos y aves, en particular los carroñeros, que son atraídos a las carreteras por los animales atropellados que son fuente de alimentos; algunos reptiles, como serpientes y lagartijas, necesitan regular su temperatura corporal absorbiendo el calor del ambiente (Cupul, 2002). Debido a esto, a menudo están en la carretera día y noche para aprovechar el calor absorbido por el pavimento, lo que aumenta la probabilidad de ser atropellados (Arroyave et al., 2006; Rojas, 2010).

A nivel mundial, las carreteras han ejercido efectos negativos significativos en hábitats adyacentes, poblaciones de vida silvestre y los ecosistemas. Se estima que por lo menos en unos 50 millones de km de vías públicas circulan alrededor de 750 millones de vehículos (Van der Ree et al., 2011). En Colombia se han desarrollado algunos estudios alrededor de la ecología de carreteras (Castillo et al., 2015); según estudios realizados por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Instituto Humboldt), el Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) y Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada (Recosfa), los grupos taxonómicos de animales más atropellados en Colombia, corresponde a un 45% mamíferos, 32% aves, 15% anfibios y 8% reptiles. Las especies con mayor registro de atropellamiento son la chucha (*Didelphis sp.*) con 63,1%, ardilla de cola roja (*Syntheosciurus granatensis*) 6,9%, oso melero (*Tamandua tetradactyla*) 3,2%, gallinazo negro (*Coragyps atratus*) 2,6% y el zorro cangrejero (*Cerdocyon thous*) 1,9%. (UNAL, 2019).

Para la Costa Caribe, el proyecto Ruta del Sol, es un corredor vial importante en la Red Nacional de Vías de Colombia, cubriendo el trayecto entre la intersección del Cune (en Villeta, Cundinamarca) y la Troncal del Caribe en el punto llamado Y de Ciénaga, a kilómetros de la ciudad de Santa Marta, frente al Mar Caribe (Bustos, 2018). Así mismo, por esta infraestructura vial que conecta del municipio de Bosconia a la ciudad de Valledupar, transitan diariamente más de 9.600 vehículos. Su alto flujo vehicular se debe a la importancia de la zona tanto para el sector agropecuario como para el sector de hidrocarburos de la región y la conectividad con el resto del país y el turismo (Donado y Alarcón, 2016).

La Ruta del Sol, sector III, es un proyecto de infraestructura vial que presenta conexión entre el pueblo de Bosconia y la ciudad de Valledupar. Antiguamente, esta comprendía una sola calzada de uso doble; sin embargo, desde el año 2017, la Constructora Ariguaní S.A.S. y Yuma Concesionaria implementan y evalúan planes y proyectos que garanticen una red de transporte segura y competitiva, minimizando el impacto ambiental y contribuyendo al desarrollo social y económico del país (Lugo Mejía, 2021). Para ello, se realizan continuos monitoreos ambientales que incluyen el registro de eventos de animales atropellados en la mencionada vía, conocida para efectos de construcción como tramo 8 (Hito 25 a Hito 33). El monitoreo realizado hace parte de las medidas implementadas en la licencia ambiental y en el plan de manejo de la misma, con el fin de conocer el impacto de la construcción de la doble calzada a través del tiempo en los eventos de atropellamiento como de la efectividad de las medidas mitigadoras realizadas.

A través de estos datos sobre animales atropellados, se puede evaluar el impacto de las carreteras sobre la fauna silvestre y tomar medidas que reduzcan la desaparición de especies y daños en el ecosistema (Monroy et al., 2015). En la región del caribe en especial en el departamento del Cesar existen pocos estudios sobre esta problemática, por ende, realizar más

estudios sobre atropellamiento es necesario. Esta investigación será un estudio pionero para este corredor vial, ya que hasta el momento no se han llevado a cabo análisis basados en datos históricos sobre el atropellamiento de fauna silvestre. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este trabajo consiste en determinar la frecuencia de mortalidad de aves, reptiles, mamíferos y anfibios que sufren impactos por parte de vehículos en el corredor vial entre Bosconia y Valledupar. Además, se busca identificar los puntos específicos donde ocurren más atropellamientos, lo que permitirá visualizar claramente los efectos generados por la carretera.

Los resultados obtenidos en este estudio serán un insumo fundamental para implementar mejoras en las estrategias actuales, así como para desarrollar nuevas medidas que contribuyan a reducir los efectos negativos en la biodiversidad de la zona.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Carreteras

Se define como una vía de circulación abierta al paso público, destinada esencialmente al uso de vehículos automóviles, que utiliza una base estabilizada que no sean carriles ni pistas de aterrizaje (Comisión Europea, 2016). En un estudio realizado por Carvallo (2016) menciona que, las carreteras son todas las vías de tránsito terrestre construidas para el servicio público; así mismo la red vial en Colombia se compone por la Red Primaria (Grandes Autopistas, a cargo de la nación), Red Secundaria (a cargo de departamentos) y Red terciaria (compuesta por carreteras o caminos Inter veredales, a cargo de los municipios). Colombia cuenta con una red de carreteras de 206.102 km, de los cuales el 6.9%, es decir 16.983 km corresponden a la red primaria, el 21% que corresponden a 44.400 km a la red secundaria y 142.284 km el 69.46% a la red terciaria (Ramírez Perdomo; et al, 2022).

2.1.1. Impacto de las carreteras hacia la fauna silvestre

Con el acelerado desarrollo de las ciudades y el incremento de las poblaciones humanas se ha aumentado la red vial, con lo cual ha surgido una nueva fuente de mortandad de animales que se ha venido convirtiendo en una amenaza cada vez mayor para las poblaciones de animales (Arroyave et al., 2006). Así mismo, la construcción de carreteras conforma una de las perturbaciones antropogénicas con más grandes impactos directos e indirectos sobre el medio ambiente. Estos impactos directos, involucran el deceso generado por la colisión vehículo-animal, mientras que los impactos indirectos están relacionados con la disminución de la conectividad del paisaje y el aislamiento de poblaciones biológicas. Esto afecta negativamente la disponibilidad de alimento y el potencial reproductivo de las especies afectadas (Adárraga y

Gutiérrez, 2019). Estas colisiones tienen repercusiones significativas en las poblaciones de las especies involucradas, especialmente aquellas que ya se encuentran en situación de amenaza o vulnerabilidad. Además, tienen un efecto menos pronunciado en las especies más comunes y abundantes, pero aun así alteran la estructura de la comunidad y la dinámica poblacional de otras especies (Arroyave et al., 2006).

2.1.2. Factores que influyen en el atropellamiento de la fauna silvestre

Los registros de atropellamiento están vinculados con diferentes factores biológicos y físicos como: anchura de la vía, el flujo vehicular, la velocidad y el comportamiento de las especies, entre otros (Arroyave et al., 2006). En la tabla 1, se destacan los factores que han ocasionado un fuerte impacto en los grupos de aves, reptiles, mamíferos y anfibios del país.

Tabla 1. *Factores que inciden en el atropellamiento de fauna silvestre en Colombia*

Medio	Factor de atropellamiento	Descripción
--------------	----------------------------------	--------------------

Fuente: (modificado de García López et al., 2022).

Biológico	Fragmentación de hábitat	Fragmentación de zonas aledañas a la vía y deterioro de los ecosistemas originales debido a la influencia directa de la urbanización y obras viales.
	Coberturas Vegetales	Se refieren a las distintas formas en que la vegetación natural o cultivada cubre y ocupa la superficie terrestre. Estas coberturas son una parte esencial del paisaje y desempeñan un papel crucial en la ecología, el ciclo del agua, la conservación del suelo y la biodiversidad.
	Comportamiento de especies	Es la reacción de un individuo a una señal externa o interna, o una combinación de estas a un estímulo.
	Cuerpos de agua	El pasó de vías por cuerpos de agua como ríos quebradas y caños afectan el desplazamiento y movilidad de animales aislando poblaciones.
Físico	Época climática	Épocas que están definidas por periodos de sequías o lluvias que influyen en los movimientos de especies de un lugar a otro por comida, refugio o apareamiento.
	Flujo vehicular	Se refiere al movimiento de vehículos a lo largo de las vías de tránsito, ya sea carreteras, calles urbanas u otras rutas vehiculares.
	Alta velocidad vehicular	Aumenta el tiempo necesario para frenar, eleva la probabilidad de atropellamiento de fauna en carreteras colombianas.
	Tamaño y forma de la vía	Zonas de mayor riesgo de atropellamiento de fauna según la forma o tamaño de la vía.
	Efecto borde	Efecto que causa el poco mantenimiento de las franjas longitudinales favoreciendo el crecimiento de vegetación sobre la carretera y además sirve de refugio, de zona de alimentación y reproducción a las especies.
	Contaminación	Residuos que son arrojados a la carretera o dejados a las orillas que pueden servir como alimento de animales oportunistas y carroñeros.

En algunos estudios realizados en el departamento de Magdalena destacan la importancia de factores como la cercanía a zonas verdes, cruces de agua y época climática como los principales implicados en el atropellamiento de fauna silvestre; el clima es un factor compartido con los departamentos de Bolívar, además del comportamiento de especies, el tráfico vehicular, el efecto borde y los residuos orgánicos en la vía, son los factores que inciden principalmente en el atropellamiento de fauna silvestre (De La Ossa et al., 2015; Monroy et al., 2015). Los registros

en estos dos departamentos son muy similares en los grupos de mamíferos, reptiles y aves afectados.

2.2.Ecosistema

Se refiere al sistema físico y biológico formado por un grupo de organismos que viven en un entorno físicamente definido. Es decir, es una colección de elementos físicos y biológicos únicos presentes en un entorno particular (Rincón & Parra, 2016). En cuanto a los ecosistemas de la región caribe, presentan una productividad biológica alta debido al ascenso de aguas ricas en nutrientes cerca de la costa (Críales-Hernández et al., 2006). De las tres grandes regiones con Bosque seco Tropical en Colombia, la costa Caribe y el sur de la Guajira, es la región con mayor cobertura en la actualidad. El municipio de Bosconia presenta un medio biótico de fauna y flora, donde se distinguen zonas clasificadas como bosque abierto por poseer áreas en donde los árboles son abundantes pero sus copas no forman una cubierta cerrada; así mismo, se destaca el Bosque Lineal, que es un pulmón natural ubicado al Frente de la Institución Educativa Eloy Quintero Araujo, el cual cuenta con una flora variada en la que se destacan árboles maderables. (CORPOCESAR, 2012; IDEAM, 2012).

Por otro lado, Valledupar se encuentra asentada sobre una gran extensión del piedemonte de la vertiente suroriental de la Sierra Nevada de Santa Marta y es caracterizado por ser una de las ciudades más arborizadas de Colombia, entre los cuales se encuentran: los mangos, ceibas, cañaguates, totumos, robles, cauchos, etc (Caicedo et al., 2015)

En cuanto a las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales, se destaca en la eco región Sierra Nevada, el Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta (PNN SNSM) y las Reservas naturales de la Sociedad Civil (privadas); en el macizo montañoso existe la mayor diversidad en el Orobioma de Selva Subandina, pero en el Orobioma de Páramo,

Orobiomas de Selva Andina y Selva Subandina se encuentra la mayor concentración de endemismos, sin representación en los demás biomas (Palmera, 2018)

2.3.Mapas de calor

Es una de las herramientas óptimas de visualización que se utiliza con datos georreferenciados ayudando a asignar una ubicación geográfica representada del mundo real. Este modo de localizar de forma precisa las entidades geográficas es esencial en la representación cartográfica (Miguel, S. P. J, 2020).

Los mapas de calor son también conocidos como mapas de intensidad o densidad, utilizados para visualizar cualquier grupo de datos que tenga un componente geoespacial; esta metodología facilita su agrupación geográfica mostrando así formas generales y tendencias de concentración (Galindo Gasca, 2022). Empleando la herramienta densidad de Kernel de ArcMap se calcula el espesor de las entidades de punto de alrededor de cada celda ráster de salida la cual muestra por medio de diversos colores las densidades de los puntos en un área definida (Araya et al., 2015).

2.3.1. Cobertura y uso de la tierra

La cobertura de la tierra permite describir no solamente la vegetación en la superficie de la tierra, sino que también elementos antrópicos y otras superficies como surgimientos rocosos y cuerpos de agua (IDEAM, 2010). Para la capa geográfica de coberturas de la tierra se siguieron los parámetros contemplados en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, ya que permite explicar, determinar, comparar y clasificar las propiedades de la cobertura vegetal, analizadas a través del uso de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la elaboración de planos de cobertura generalmente a escala 1:100.000 (IGAC, 2008). Las coberturas del suelo presentes en el territorio colombiano se especifican en diferentes grupos de clasificación que abarcan más tipos de cobertura existentes. Estos grupos de clasificación son:

Territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales y cuerpos de agua (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (IDEAM), 2010).

2.3.1.1.Territorios Artificializados

Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos (Ministerio de Ambiente de La República de Colombia, 2010).

2.3.1.2.Territorios Agrícolas

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho (Ministerio de Ambiente de La República de Colombia, 2010). Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas, en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas (Ministerio de Ambiente de La República de Colombia, 2010).

2.3.1.3.Bosques y áreas seminaturales

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación (Ministerio de Ambiente de La República de Colombia, 2010). Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición (Ministerio de Ambiente de La República de Colombia, 2010).

2.3.1.4. Superficies de Agua

Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares. Se incluyen en esta clasificación los fondos asociados con los mares, cuya profundidad no supere los 12 metros (Ministerio de Ambiente de La República de Colombia, 2010).

2.4. Estado del arte

En Colombia el estudio del impacto de las vías sobre la fauna silvestre es escaso comparado con los estudios realizados en otros países. Sin embargo, existen dos iniciativas importantes vinculadas con el atropellamiento de fauna, que nacen en el sector investigativo en unión con la comunidad, una de ellas es el Programa de Ecología de las Carreteras e Infraestructura Verde- PECIV (Jaramillo-Fayad et al., 2019) y la Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada-RECOSFA, la cual se basa en reportar los casos de fauna atropellada que realizan los usuarios por medio de una aplicación, y de esta forma recopilar información importante sobre las muertes de fauna en las carreteras del país.

Según datos registrados en la plataforma de reportes de atropellamiento TAYRA, la chucha (*Didelphis sp.*) y el zorro perro (*Cerdocyon thous*) son las especies más afectadas a lo largo de la red vial colombiana. De las especies de mamíferos carnívoros por lo menos 12 especies han sido reportados en los bosques de la ladera suroriental del Valle de Aburrá y nueve especies han sido arrolladas en las vías que la dividen. De los mamíferos terrestres, 39 especies fueron reportadas para la ladera suroriental del Valle de Aburrá y 26 especies han sido registradas como arrolladas. De 200 especies de aves reportadas, 25 especies fueron arrolladas por vehículos y de diez serpientes que habitan este territorio, el aplicativo TAYRA presenta

registros de siete especies que mueren con frecuencia en las vías (Flora, S. D. F. Y., & Quimbaya).

María del Pilar Arroyave, et al. (2006), realizaron un estudio de impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y evaluaron las medidas de manejo de estos efectos. Para llevar a cabo su objetivo, revisaron y analizaron la información de diferentes estudios realizados en el mundo, al igual que algunos estudios de impacto ambiental de carreteras desarrollados en Antioquia. En donde encontraron que los principales impactos son el atropellamiento, el aislamiento de poblaciones y el cambio en los patrones reproductivos de la fauna, teniendo como resultado la disminución de poblaciones de especies de fauna silvestre. Para esto, plantearon estrategias o soluciones estructurales como el sistema de cercado, señalización y pasos subterráneos (Arroyave, M. D. P., Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C. & Ramos, K. C, 2006).

En un estudio realizado por Medina et., al (2017) acerca de la mortalidad de vertebrados silvestres por atropello vehicular en 13 kilómetros de la vía Panamericana en el municipio del Patía, durante cinco meses realizaron cincuenta recorridos en motocicleta cuatro veces por semana, a una velocidad de 25 Km/h, en los que tomaron registro de todos los vertebrados muertos en la carretera y sus orillas, teniendo como resultado 154 vertebrados atropellados, de los cuales 62 fueron mamíferos, 40 aves y anfibios y 12 reptiles. Las especies más afectadas fueron *Didelphis marsupialis* y *Rhinella marina* con 58 y 40 atropellos respectivamente, además cuatro (4) especies de las aves registradas son características de tierras bajas (*Troglodytes aedon*, *Synallaxis brachyura*, *Turdus ignobilis* y *Saltator striatipectus*), y las tres (3) especies de serpientes encontradas (*Oxybelis aneus*, *Erythrolamprus bizonus* y *Dendrophidion bivittatus*) habitan los bosques secos tropicales (Medina, D. U., Ramos, J. C. C., & González, G. Z., 2017).

En otro trabajo titulado, mortalidad de vertebrados silvestres por atropellamiento en el departamento de Casanare, Colombia por Rojano et al., 2021; Establecieron la distribución temporal y los patrones espaciales relacionados con el atropellamiento de vertebrados silvestres en las rutas Yopal-Quebradaseca y Yopal- variante Jagüeyes, de este departamento. Entre 2017 y 2018 realizaron 18 recorridos a 40 km/h en los que registraron eventos de atropellamiento, del mismo modo 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). Como resultado se registraron un total de 139 eventos de colisión, que incluyeron 20 especies de aves, 13 de reptiles, ocho especies de mamíferos y una de anfibio. *Caiman crocodilus* (n = 17), *Rhinella marina* (n = 13) y *Tamandua tetradactyla* (n = 13) fueron las especies más atropelladas (Rojano Bolaño, C., & Ávila Avilán, R, 2021).

En la actualidad, Arana-Rivera et al., (2022) han realizado un análisis de la fauna atropellada en un circuito vial. Este estudio de caso se llevó a cabo en una carretera colombiana ubicada en el Departamento del Huila, específicamente en el tramo vial Neiva - Rivera - Campoalegre. Los muestreos se realizaron durante la temporada de lluvias, que abarcó desde octubre hasta diciembre de 2017 en este circuito vial. Se observó que la mayor tasa de atropellamientos se registró en el tramo 1, Neiva - Rivera, en la ubicación de la cabina de peaje conocida como 'los cauchos'. Este tramo presentaba un alto flujo vehicular durante el día, un límite de velocidad elevado (90 km/h) y una cobertura arbórea que creaba un efecto de túnel verde debido a la falta de iluminación en la vía. Los resultados del estudio indicaron que se contabilizaron un total de 102 ejemplares muertos en esta zona. Predominantemente, los mamíferos representaron el grupo más afectado, constituyendo el 51,96% del total. Dentro de este grupo, la especie más impactada fue *Didelphis marsupialis*, con un total de 48 individuos

muertos. Los reptiles conformaron el segundo grupo más afectado, con 33 ejemplares muertos, mientras que los anfibios resultaron ser el grupo menos afectado, con un 2,94% de los casos registrados (Arana-Rivera, J. S., Gutiérrez-Quintero, S., & Álvarez-L., 2022)."

En el mismo año, Obando evaluó la configuración espacial y ecológica del atropellamiento de fauna en carreteras que aíslan bosques del Sistema de Áreas Protegidas de Envigado (SILAPE), municipalidad contigua a Medellín. Para esto realizaron 272 recorridos para documentar atropellamientos, con 720km recorridos a pie y 3456km en vehículo. Se encontraron 279 animales arrollados, 28% de las 273 especies de vertebrados presentes en el SILAPE: 60% de los mamíferos no voladores (21/35), 70% de la riqueza local de serpientes (8/10) y 18% de las especies de aves registradas para los bosques de Envigado (36/200). Asimismo, se encontró que la actividad nocturna y búsqueda de recursos (alimento, temperatura) sobre la carretera se relaciona con vulnerabilidad al atropellamiento, también que en tramos dominados por bosques hay mayor diversidad de especies atropelladas, aunque no mayor número de individuos (Obando Tobón, J. M., 2022).

Para la región Caribe colombiana, Cecilia Monroy et al., 2015; En su artículo, tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía San Onofre, Sucre a María la Baja, Bolívar, valoraron y compararon la mortalidad de fauna silvestre en dos temporadas del año, época seca y época de lluvias; con una longitud de 49Km, la vía bordea la porción noroccidental de los Montes de María, amplia zona de bosque seco tropical remanente del Caribe colombiano. De este modo obtuvieron que la tasa de atropellamiento (TA) de este estudio es relativamente alta al compararla con lo establecido en otros trabajos. La vía estudiada requiere de señalización e infraestructura que brinde protección a la fauna silvestre, de lo contrario la situación podría poner en riesgo a muchas de las especies que habitan estos relictos de bosque seco.

En un estudio realizado por Panthera Colombia en el valle del río Magdalena estableció una TA de fauna silvestre de cerca de 45 individuos/km/año en más de 2700 kilómetros de carreteras que atraviesan esta importante región colombiana. Entre la fauna silvestre atropellada, se evidenció un aumento de esta incidencia en las principales vías que rodean el departamento de Sucre, durante las épocas de lluvias y sequía, se destacan: anfibios (*Rhinella marina*, *Leptodactylus bolivianus*, *Scinax sp.*); reptiles (*Leptodeira septentrionalis*, *Pseudoboa neuwiedii*, *Epicrates cenchria*, *Oxyrhopus petola*, *Iguana iguana*, *Kinosternon scorpioides*, *Trachemys callisrostris*) y mamíferos (*Didelphis marsupialis*, *Tamandua mexicana*, *Cerdocyon thous*), con un total de 253, 219 y 111 especímenes, respectivamente (Rico, G. 2016).

En investigación realizada por Adárraga-Caballero et al., 2019, del Instituto Humboldt, estudiaron la mortalidad de vertebrados silvestres en la carretera Troncal del Caribe en Magdalena, Colombia. Seleccionaron dos (2) segmentos de carreteras en la región: 1) la vía Parque Nacional Natural Isla Salamanca (45 km de longitud) y 2) la vía del Parque Nacional Natural Tayrona (34 km). En ambas se realizaron recorridos mensuales a bordo de un vehículo a una velocidad máxima de 30 km/h, durante 5 meses, comprendidos entre octubre de 2016 y enero de 2017, en el cual obtuvieron un total de 208 registros por atropellamientos (46 especies identificadas), y se encontró que los reptiles y mamíferos son los grupos mayormente afectados en los segmentos 1 y 2, respectivamente. Por último, se calculó la TA para cada especie por carretera; destacándose las especies *Boa constrictor* y *Procyon cancrivorus*, para las cuales se hallaron una de las TA más altas reportadas en Latinoamérica.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Analizar la mortalidad de fauna silvestre a nivel espacial por colisiones vehiculares en el corredor vial Bosconia-Valledupar. Cesar, Colombia.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar las especies de fauna silvestre vertebrada afectada por la colisión vehicular.
- Determinar los sitios donde se presenta mayor frecuencia de atropellamientos en el corredor vial Bosconia-Valledupar.

- Determinar las variables del paisaje, que aumentan la probabilidad de atropellamiento de fauna silvestre en el corredor vial Bosconia-Valledupar.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Área de estudio

Este proyecto se llevó a cabo en la carretera que comunica Bosconia con Valledupar en el departamento del Cesar Colombia (entre los 9.97051° N Latitud; -73.89068° O Longitud y 10.47312° N Latitud; -73.24372° O Longitud; figura 1) representada por una carretera pavimentada de aproximadamente 90 km (IDEAM,2012). El área presenta un clima cálido semihúmedo, una altura promedio de 184 msnm, el promedio de precipitación anual es de 1383mm con temperatura promedio de 36°C (IDEAM,2012).

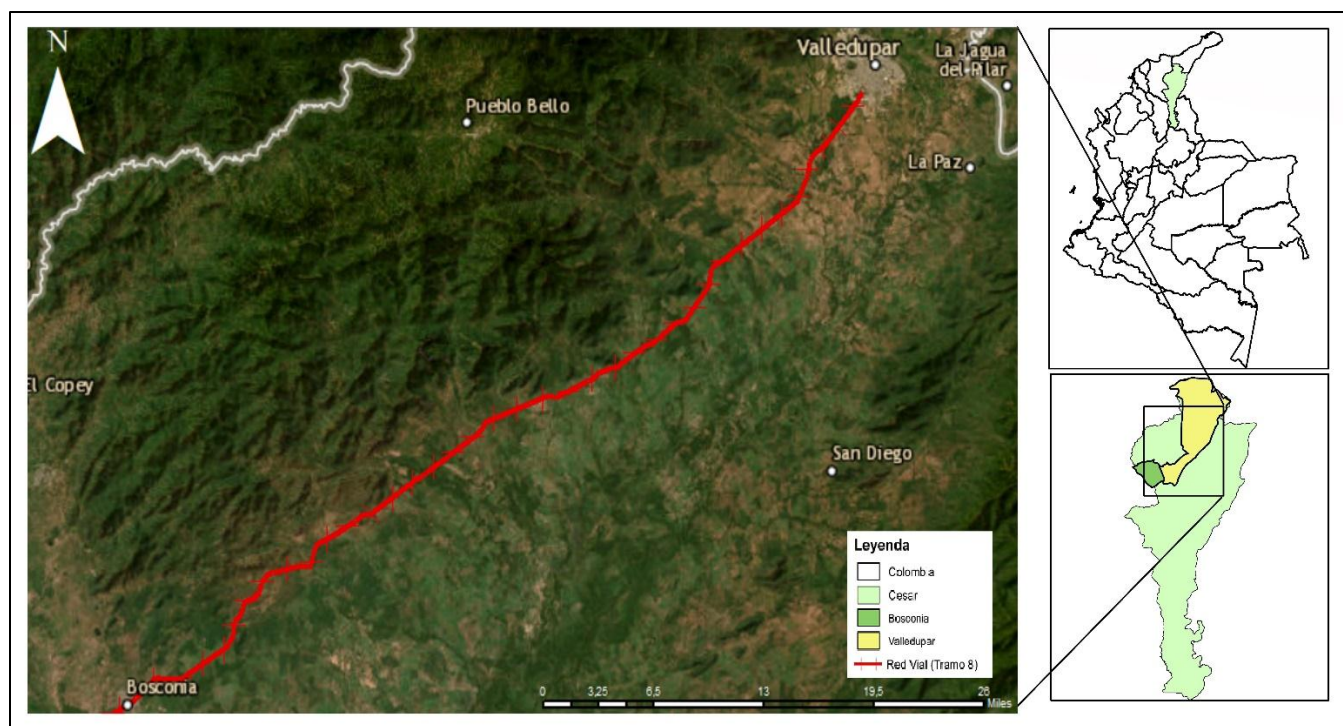


Figura 1. Ubicación geográfica y satelital del área de estudio, ArcGIS 10.6 Mapa del corredor vial, que comprende municipios del Cesar: Bosconia y Valledupar con una longitud total de 89 km. Fuente: Ruiz-Leon, 2023

En el área de interés desde el contexto biótico, la formación de Bosque Seco Tropical está representada por pequeños fragmentos de vegetación secundaria y un Zonobioma Seco Tropical ya que se caracteriza por encontrarse en zonas de clima cálido seco y cálido muy seco, las cuales están sobre lamerías estructurales, fluviogravitacionales y piedemontes aluviales, además presencia de bosque abierto. Esta cobertura se observa en parches de área pequeña localizados principalmente hacia el sector sur del área de estudio, generalmente asociada a cuerpos de agua. En esta cobertura se alberga la mayor riqueza de especies, a pesar de su fuerte estado de intervención antrópica (Pabón Martínez, 2015).

En general, Bosconia presenta un clima muy cálido, seco, aportando para generar ecosistemas áridos y de baja fertilidad en distintos lugares del área, influenciado por dos (2) grandes ecorregiones. La primera, es la de la Sierra Nevada de Santa Marta, la segunda es la

ecorregión Valle del río Cesar, caracterizada por tierras planas y onduladas y cubiertas de pastizales y bosques claros (Corpocesar, 2012).

Por sus condiciones la ecorregión de la Sierra Nevada de Santa Marta se ha establecido como región estratégica por su biodiversidad ya que alberga dos (2) parques naturales, el Tayrona en el departamento del Magdalena y el de la Sierra Nevada de Santa Marta compartidos por los departamentos del Cesar, Guajira y Magdalena y una reserva forestal protectora, compartida por los tres (3) departamentos; la importancia de esta ecorregión para el departamento del Cesar radica en el hecho de que allí nacen ocho (8) ríos principales, como son: Río Badillo, Guatapurí, Ariguaní, Garupal, Diluvio, Los Clavos, María Angola y Pesquería, lo mismo que varias quebradas y arroyos que irrigan el valle del Cesar y tributan hacia el cauce principal que lleva el mismo nombre y, este a su vez, fluye hacia el complejo cenagoso de Zapatosa y posteriormente al río Magdalena (Pabón Martínez, 2015).

Por otra parte, está la ecorregión valle del río Cesar que cuenta con suelos de alta productividad, lo cual se constituye como uno de los pilares que sustenta el potencial económico del departamento del Cesar (Canizares Paba, 2017). Las distintas ecorregiones de este departamento se han enfrentado a una situación difícil por la degradación de los recursos naturales, particularmente en las áreas de mayor actividad agropecuaria (Valle del río Cesar) y las condiciones medio ambientales tienden a ser extremas, es decir, se ha caracterizado por impactos tales como: erosión generalizada con tendencia a la pérdida de la capa superficial, deslizamientos, compactación, salinización, desertización, desecación, sedimentación y contaminación de cuerpos de agua, destrucción de hábitat de los bosques andinos, alteración de páramos y pérdida de biodiversidad (Canizares Paba, 2017).

4.2. Obtención de datos

El conjunto de datos históricos de atropellamientos de fauna silvestre de vertebrados fue proporcionado por la Constructora Ariguaní S.A.S. Dicha información fue recopilada por el personal de la entidad por medio de salidas eventuales durante las inspecciones que realizaban en las diferentes horas del día, en un periodo 2013-2022-1, construyendo un registro de accidentes de animales vertebrados de la zona que rodea el corredor vial Bosconia-Valledupar. Este conjunto de datos se compone de 565 registros de accidentes geolocalizados; de los cuales después de realizar una curación de los mismos, se trabajó con 446 de estos registros.

4.3.Registro de individuos atropellados, tabulación y organización

Se registraron los datos de los individuos atropellados, el cual se usó para la construcción de una base de datos, donde se incluyó la siguiente información para cada individuo: fecha, localización geográfica en coordenadas GSC WGS84, kilometraje y nivel taxonómico. La identificación de los especímenes fue realizada por expertos en cada uno de los grupos llevándolos hasta especie, pero si no se podía identificar debido al mal estado simplemente se dejó con NI, adicionalmente se tomaron registros fotográficos como evidencia de estos animales atropellados.

Para la detección de cada grupo taxonómico y especies más y menos afectados se realizó un análisis de estadística descriptiva, incluyendo análisis de frecuencias y agrupación de datos.

4.4. Identificación de los puntos críticos o hotspots

Se identificaron los puntos críticos, para cada grupo taxonómico, como lo consideran Teixeira et al., (2013). La determinación de estos puntos se hizo mediante la estimación de densidad de Kernel, técnica que identifica los conglomerados buscando concentraciones de atropellos (Gitman y Levine 1970). El ancho de la función del núcleo (es decir, anchura de banda) elegido para este análisis fue de 800 m^2 , teniendo en cuenta que es una escala razonable en la que se podrían implementar medidas de mitigación (Ramp et al. 2005).

4.5. Efecto del paisaje sobre lo eventos de atropellamiento

Para determinar las características asociadas a los sitios de colisión a nivel de paisaje, se empleó un mapa enriquecido con la capa de Cobertura de la Tierra basada en Corine Land Cover (CLC), como proporciona el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en 2012. Estos datos fueron interpretados y analizados a través de sistemas de información geográfica (SIG). En este proceso, se identificaron y analizaron diversos tipos de cobertura del suelo presentes en el territorio.

Los tipos de cobertura del suelo distinguidos para este análisis incluyeron pastos, bosques y áreas con vegetación herbácea o arbustiva. Además, la distancia a los ríos también se consideró como un parámetro importante para este estudio. Estos parámetros se sometieron a procesamiento utilizando la versión 10.6 del software ArcGIS, desarrollado por Environmental Systems Research Institute (ESRI) en 2018.

La utilización de sistemas de información geográfica (SIG) en este estudio permitió una integración y análisis efectivos de datos geospaciales, lo que facilitó la comprensión de cómo diferentes tipos de cobertura del suelo y la distancia a los ríos pueden estar relacionados con los sitios de colisión de fauna. Esta metodología proporciona una visión más completa y detallada de las características del paisaje que pueden influir en los incidentes de atropello de fauna en el área de estudio.

Se identificaron para cada uno de los grupos taxonómicos diferentes puntos críticos establecidos en el tramo 8 de la carretera donde se presentaron los registros de atropellos de fauna silvestre vertebrada. Se trazó un buffer de 1 km alrededor de cada punto de colisión, según lo propuesto por (Malo et al., 2004). En cada uno de los puntos se calculó el porcentaje de área de cada uno de los usos de suelo principales presentes. Adicionalmente, se calculó la distancia a

cuerpos de agua como variables que puedan explicar los atropellos de la fauna silvestre vertebrada.

4.6. Análisis estadísticos

Se emplearon modelos lineales generalizados (GLM) para evaluar el impacto de los atributos del paisaje en los incidentes de fauna silvestre atropellada. En esta evaluación a nivel de paisaje, se consideraron diversas variables predictoras, como el porcentaje de pasto, el porcentaje de bosque, el porcentaje de áreas con vegetación herbácea o arbustiva, el porcentaje de áreas agrícolas heterogéneas y la distancia a los ríos. Este análisis se llevó a cabo de forma individualizada para cada grupo taxonómico (aves, reptiles, mamíferos) y para el conjunto total.

Los modelos se ajustaron utilizando una distribución de Poisson con una función de enlace logit, con el propósito de identificar los tramos de la carretera con una mayor probabilidad de atropellos de fauna silvestre. Para seleccionar el modelo más adecuado, se empleó el criterio de Akaike ajustado para muestras pequeñas (AICc). Este criterio permitió determinar la relevancia de cada variable predictora dentro de un conjunto de posibles variables. Ya que el AICc considera tanto la bondad de ajuste del modelo como el número de parámetros estimados en el modelo. Cuanto menor sea el valor del AICc, mejor se considera que el modelo logra un buen ajuste mientras mantiene un equilibrio entre la capacidad de ajuste y la complejidad del modelo. En esencia, el AICc penaliza la inclusión de variables innecesarias en el modelo, lo que ayuda a evitar el sobreajuste.

Finalmente, se realizó una prueba de bondad conocida como desvianza para evaluar la calidad del ajuste del modelo a los datos. Esta prueba es el equivalente a la suma de los

cuadrados residuales en un modelo lineal. Todos los análisis se llevaron a cabo utilizando el software Rstudio versión 4.3.0 (R Development Core Team 2020).

5. RESULTADOS

5.1. Mortalidad de fauna

En un área total de 89 km en la carretera que conduce de Bosconia a Valledupar del departamento de Cesar, se registró un total de 446 individuos atropellados pertenecientes a 53 especies, 51 géneros, 35 familias y 19 órdenes en el periodo transcurrido de 2013-2022-1. Para la

clase Amphibia se encontró un total de 1 orden, 1 familia, 1 género y 1 especie. La clase Reptilia con 3 órdenes, 11 familias, 20 géneros y 21 especies. La clase Aves con 12 órdenes, 16 familias, 20 géneros y 20 especies. Por último, la clase Mammalia con 5 órdenes, 7 familias, 10 géneros y 11 especies (Figura 2).

Encabezando los eventos de atropellamiento, se encontró el grupo de los mamíferos con un total de 240 individuos, seguida por los reptiles (145 individuos), aves (60 individuos) y finalmente anfibios (1 individuo). Las especies con más eventos de atropellamiento por clase fueron *Cerdocyon thous* con 128 individuos y *Tamandua mexicana* con 54 individuos respectivamente para mamíferos; seguidas por *Iguana iguana* con 62 individuos y *Boa constrictor* con 21 individuos registradas para los reptiles. En Aves fue *Caracara cheriway*, con 9 individuos, y en cuanto anfibios, *Rhinella marina* con 1 solo individuo (figura 3).

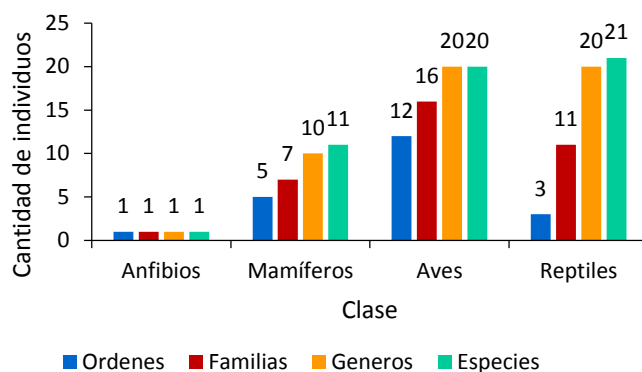


Figura 2. Cantidad de Individuos por colisiones vehiculares, representados por categoría taxonómica.



Figura 3. Especies atropelladas en el tramo 8; ruta del sol sector III, Cesar Colombia, tomado por el personal de la constructora Ariguaní S.A.S, Zorro perro (*Cercopithecus thous*), Oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), Babilla (*Caimán crocodilus*), Jaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*), Águila sabanera (*Buteogallus meridionalis*), Chucha (*Didelphis marsupialis*), Iguana (*Iguana iguana*), Zorro perro (*Cercopithecus thous*).

Fuente: Constructora Ariguaní S.A.S 2013-2022-1

En cuanto al número de especies reportadas, se registraron un total de 11 especies de mamíferos aproximadamente, pertenecientes a 10 géneros, 7 familias y 5 órdenes. El orden con mayor representación de especies fue Carnívora (45%), seguido de Didelphimorphia y Pilosa (18%). Las especies con mayor número de reportes en carreteras fueron: *Cercopithecus thous*,

(n=128), *Tamandua mexicana* (n=54), *Procyon cancrivorus* (n=25), *Didelphis marsupialis* (n=12). Las especies *Herpailurus yagouaroundi*, *Leopardus wiedii* y *Leopardus pardalis* fueron las especies menos reportadas (Tabla 2).

Tabla 2. Especies de Mamíferos reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Bosconia- Valledupar

Orden	Familia	Especie	Nº Ind
Carnivora	Canidae	<i>Cerdocyon thous</i>	128
		<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	1
	Felidae	<i>Leopardus wiedii</i>	1
		<i>Leopardus pardalis</i>	1
		<i>Procyon cancrivorus</i>	25
Didelphimorphia	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	12
		<i>Marmosa sp</i>	5
		<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	5
Pilosa	Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>	54
Primates		<i>Alouatta seniculus</i>	4
Rodentia	Sciuridae	<i>Sciurus granatensis</i>	4

En el caso de los reptiles, se registraron alrededor de 21 especies diferentes, distribuidas en 11 familias y tres órdenes taxonómicos. Entre estas especies, la familia Colubridae fue la que presentó la mayor representación, abarcando aproximadamente el 33% del total de especies reportadas, seguida por Boidae con un 14%. Las especies que acumularon el mayor número de registros fueron *Iguana iguana* con 62 reportes, *Boa constrictor* con 21 y *Caiman crocodilus* con 20 (ver Tabla 3).

Tabla 3. *Especies de Reptiles reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Bosconia- Valledupar*

Orden	Familia	Especie	Nº Ind	
Crocodilia	Alligatoridae	<i>Caiman crocodilus</i>	20	
	Amphisbaenidae	<i>Amphisbaena sp.</i>	2	
Squamata	Boidae	<i>Boa constrictor</i>	21	
		<i>Corallus ruschenbergieri</i>	1	C
		<i>Epicrates maurus</i>	3	
		<i>Imantodes cenchoa</i>	1	on
		<i>Leptodeira annulata</i>	3	
	Colubridae	<i>Leptodeira septentrionalis</i>	1	res
		<i>cf. Masticophis mentovarius</i>	2	
		<i>Mastigodryas pleei</i>	1	pec
		<i>Spilotes pullatus</i>	2	
		<i>Xenodon severus</i>	1	to a
	Dipsadidae	<i>Clelia clelia</i>	3	las
		<i>Phimophis guianensis</i>	4	
	Elapidae	<i>Micrurus dissoleucus</i>	2	ave
	Iguanidae	<i>Iguana iguana</i>	62	
	Leptotyphlopidae	<i>Epictia goudotii</i>	1	s,
	Teiidae	<i>Ameiva sp.</i>	2	
		<i>Tupinambis teguixin</i>	6	se
Testudines	Viperidae	<i>Crotalus durissus</i>	4	
	Kinosternidae	<i>Kinosternon scorpioides</i>	2	rep
NN	NN	NN	1	orta

ron alrededor de 20 especies pertenecientes a 16 familias, y doce órdenes. La especie con mayor número de reportes fue *Caracara cheriway* (n=9) *Cathartes aura* y *Milvago chimachima* (n=8), *Tyto alba* (n=7) (Tabla 4).

Tabla 4. *Especies de Aves reportados en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Bosconia- Valledupar*

Orden	Familia	Especie	Nº Ind
Accipitriiformes	Accipitridae	<i>Buteogallus meridionalis</i>	2
		<i>Rupornis magnirostris</i>	1
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	8
		<i>Coragyps atratus</i>	5
Charadriiformes	Burhinidae	<i>Burhinus bistriatus</i>	1
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	4
		<i>Caracara cheriway</i>	9
Falconiformes	Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	1
		<i>Milvago chimachima</i>	8
Galliformes	Odontophoridae	<i>Colinus cristatus</i>	1
	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	1
Passeriformes	Icteridae	<i>Sturnella magna</i>	1
	Tyrannidae	<i>Tyrannus savana</i>	1
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Ardea alba</i>	2
	Threskiornithidae	<i>Mesembrinibis cayennensis</i>	1
Galbuliformes	Bucconidae	<i>Hypnelus ruficollis</i>	1
Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	1
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Eupsittula pertinax</i>	4
Strigiformes	Strigidae	<i>Pseudoscops clamator</i>	1
	Tytonidae	<i>Tyto alba</i>	7

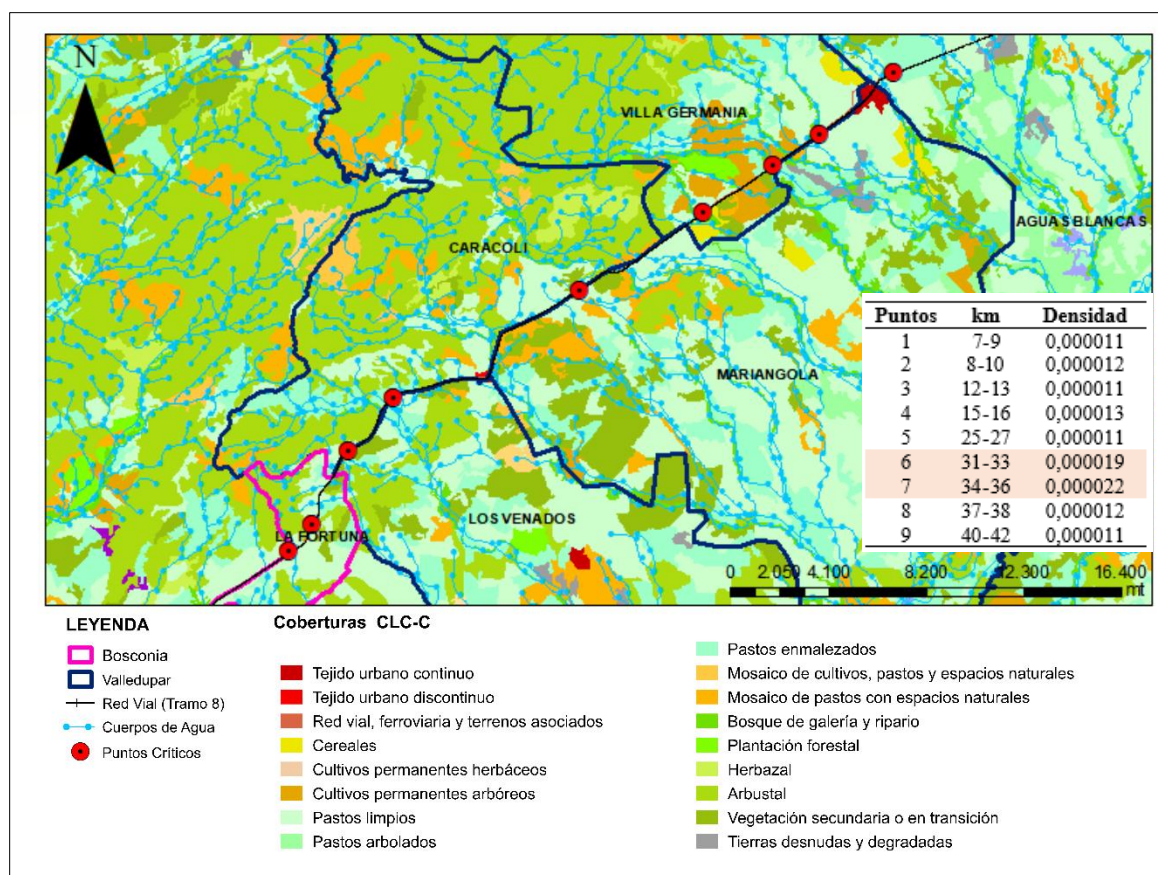
En el caso de los anfibios, el cual fue el grupo con menor número de reportes se registró 1 orden, 1 familia, 1 género y 1 especie respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5. *Especie de Anfibio reportado en el proyecto de fauna silvestre en carreteras de Bosconia- Valledupar*

Orden	Familia	Especie	Nº Ind
Anura	Bufonidae	<i>Rhinella marina</i>	1

5.2. Identificación de los puntos críticos o hotspots

Para determinar los puntos críticos, consideramos únicamente aquellos puntos donde la densidad de atropellos supera el valor medio. Es decir que estos puntos críticos son áreas donde la frecuencia de atropellos es significativamente mayor que en otras partes del corredor vial. A nivel general, se encontraron nueve puntos críticos (Figura 4). Se obtuvo que los kilómetros en los que se presentan los mayores eventos de atropellamiento son el kilómetro 34 a 36, asociado a cobertura boscosa y cuerpos de agua, así mismo, se refleja la densidad estimada para cada uno de



los puntos.

Figura 4. Puntos críticos para el total de registros de atropellos de vertebrados silvestres en relación con las coberturas CLC, en el tramo 8 Bosconia-Valledupar. Cesar, Colombia.

5.2.1. Determinación de eventos de colisión y puntos críticos o hotspots para cada taxón.

En el caso de las aves, se identificaron un total de cinco puntos críticos que presentan una relación con coberturas mixtas. Estas áreas muestran una combinación de cobertura boscosa junto con áreas que poseen vegetación herbácea y arbustiva (Figura 5). Es notable que los kilómetros 5 y 7 de la carretera registraron la mayor frecuencia de atropellos de aves, destacándose como lugares donde estos incidentes ocurren con mayor regularidad.

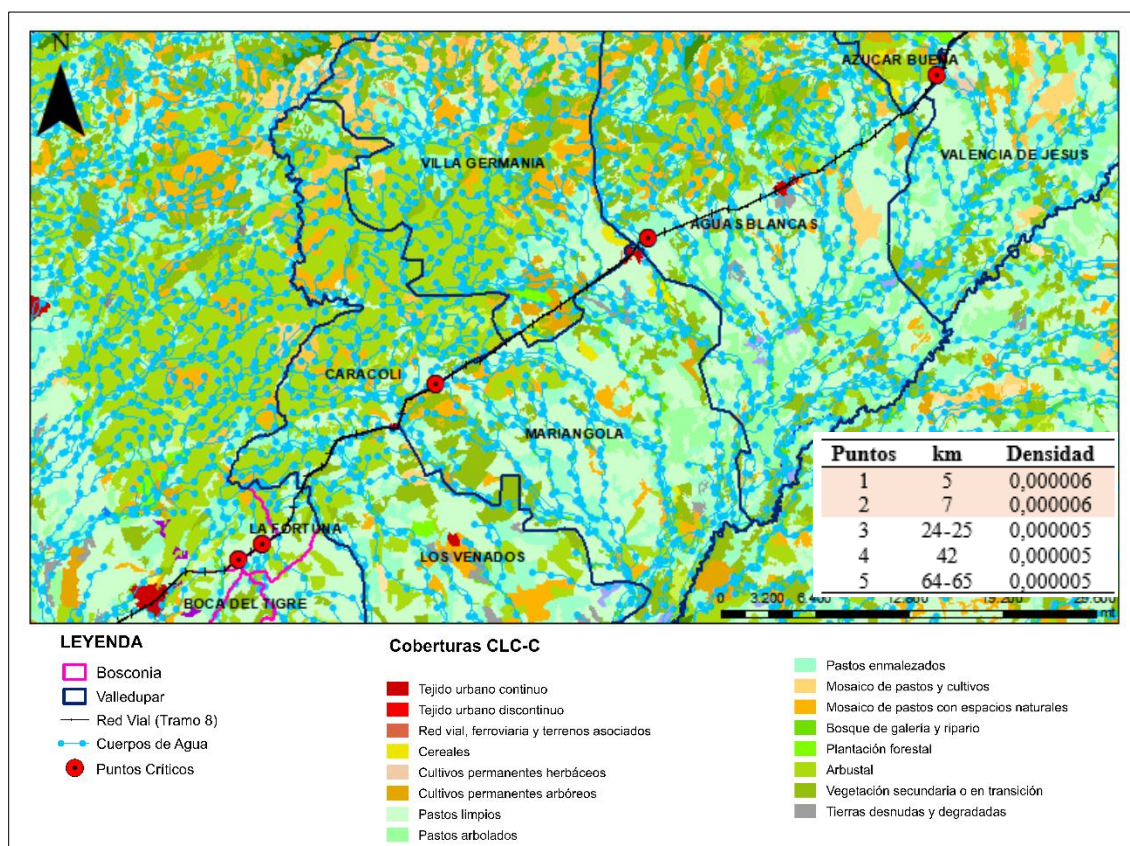


Figura 5. Puntos críticos de los registros de atropellos de aves en relación con las coberturas CLC, en el tramo 8 Bosconia-Valledupar. Cesar, Colombia

En cuanto a mamíferos se encontraron un total de seis puntos críticos, estos puntos están vinculados con diferentes tipos de cobertura, incluyendo la presencia de pastos, bosque de galería ripario, áreas con vegetación herbácea o arbustiva, así como zonas agrícolas. De cada uno de estos tipos de cobertura, se obtuvieron porcentajes de área que serán empleados en análisis posteriores (Figura 6). Cabe destacar que en los puntos 4 y 5, se registró mayor frecuencia de atropellos de mamíferos.

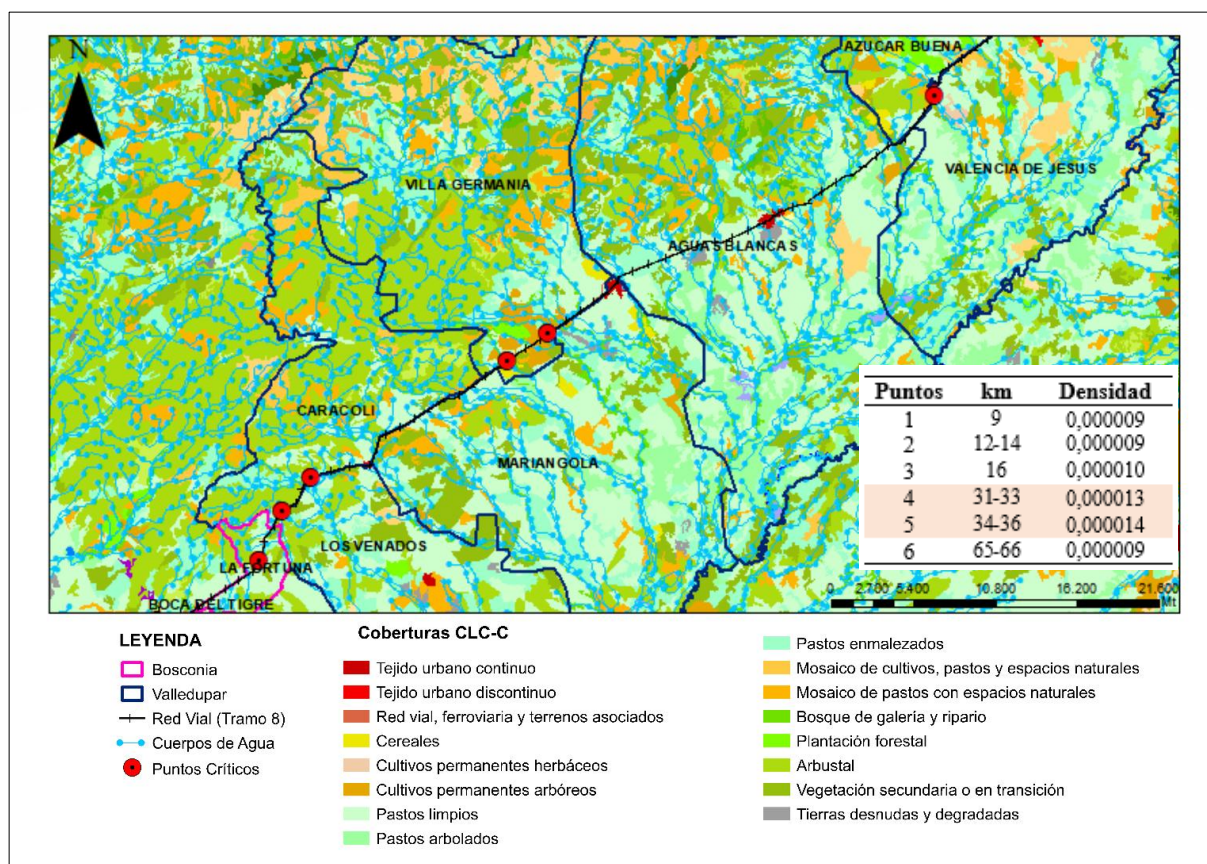
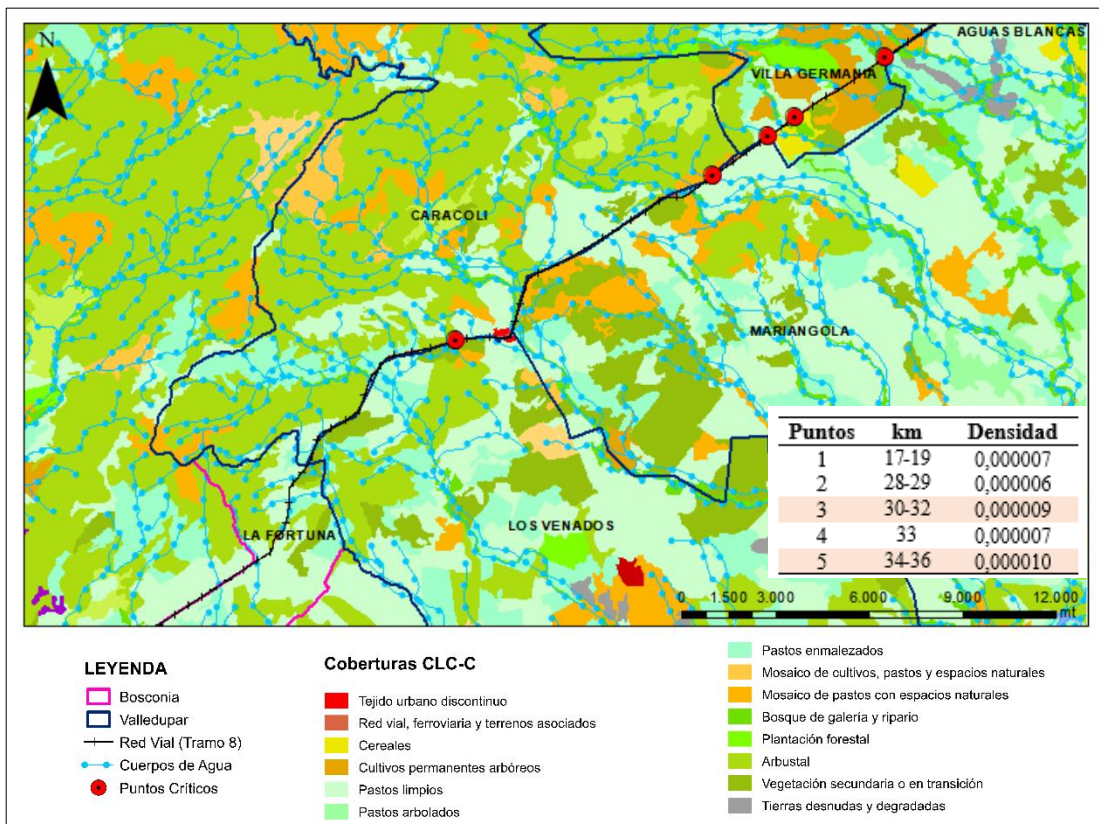


Figura 6. Puntos críticos de los registros de atropellos de mamíferos en relación con las coberturas CLC, en el tramo 8 Bosconia-Valledupar. Cesar, Colombia.

En relación a los reptiles, se identificaron un total de cinco puntos críticos que están vinculados a áreas con coberturas mixtas. Estas áreas presentan una combinación de pastos, bosque de galería ripario y cuerpos de agua. Se observó que en el tramo comprendido entre los

kilómetros 34 y 36 existe una menor distancia al río más cercano, concretamente 4,8 metros (figura 7). Adicionalmente, se constató que los puntos 3 y 5 registraron una mayor densidad de atropellos de reptiles. Estos hallazgos resaltan la importancia de la presencia de coberturas específicas y la proximidad a cuerpos de agua en la incidencia de atropellos de reptiles en la carretera estudiada.

figura 7. Puntos críticos de los registros de atropellos de reptiles en relación con las coberturas CLC, en el tramo 8 Bosconia-Valledupar.



llos de reptiles en relación con las coberturas CLC, en el tramo 8 Bosconia-Valledupar. Cesar, Colombia.

5.3. Análisis estadísticos

5.3.1 Efecto del paisaje sobre los atropellamientos de fauna

A partir de las características del paisaje, que fueron las variables consideradas en este estudio, se examinó la influencia de cada una en la incidencia de atropellos de fauna silvestre. A través del análisis de correlación, se identificó que dos (2) de las variables presentaban una

correlación significativa, con un coeficiente de correlación superior a 0,57 entre ellas. Debido a esta alta correlación entre las variables predictoras, no se incluyeron todas ellas en el proceso de selección de modelos (Tabla 6).

Según el resumen de las variables obtenido por el GLM se evidencia la estimación, el error estándar, el valor de “z”, y el valor de “p”. Para este modelo aplicado a fauna silvestre en general se observa que la única variable significativa corresponde al porcentaje de cobertura boscosa ya que el valor de $\Pr(> |Z|)$ de esta variable fue menor a 0.05 (Tabla 7) y la variable porcentaje de área con vegetación herbácea o arbustiva no es significativa, lo que indicaría que el valor positivo del coeficiente no es significativamente distinto de cero y, por tanto, tiene un efecto nulo sobre la variable respuesta.

Tabla 6. Selección del mejor modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de fauna silvestre vertebrada en general en la vía de Bosconia- Valledupar.

Modelo	AICc	Pesos	Nota: %A Veg HA = Porc enta je de Áre a con Veg etaci ón Her báce
<u>Atropellos ~ %Bosque + %AVegHA</u>	<u>104,7346</u>	<u>0,27014</u>	
Atropellos ~ %Bosque + DistR	106,1676	0,13196	
Atropellos ~ %Bosque	106,8831	0,09227	
Atropellos ~ %Bosque + %AVegHA + DistR	107,0451	0,08509	
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque	107,5768	0,06523	
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + DistR	107,7786	0,05896	
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + %AVegHA	107,9127	0,05514	
Atropellos ~ %Bosque + %AVegHA + %AreAH	108,1148	0,04984	
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + %AreAH	108,2589	0,04638	
Atropellos ~ %Bosque + %AreAH + DistR	109,6582	0,02304	
Atropellos ~ %Bosque + %AreAH	109,9067	0,02035	
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + %AreAH + DistR	110,4212	0,01573	
Atropellos ~ DistR	110,4282	0,01568	
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + %AVegHA + DistR	110,5420	0,01481	
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + %AVegHA + %AreAH	110,7454	0,01338	

a o Arbustiva; DistR= Distancia al Río más cercano; %AreAH= Porcentaje de Áreas Agrícolas Heterogéneas.

Después de aplicar el pseudo R² de McFadden, se evidencia que el modelo es capaz de explicar el 63% de la devianza original, lo cual indica un nivel significativo de ajuste del modelo a los datos. Este hallazgo es respaldado por el análisis de los residuales, que proporciona una confirmación adicional de la adecuación del modelo a la información observada.

Tabla 7. *Resumen de coeficientes del GLM para la determinación de las variables del paisaje que influyen en los eventos de colisión de la fauna en general.*

	Estímate	Std. Error	Z value	Pr (> z)
Intercepto	2.115e+00	5.130e-01	4.123	3.74e-05 ***
%Bosque	2.848e-02	1.260e-02	2.261	0.0238 *
%AVegHA	7.079e-03	6.443e-03	1.099	0.2719
Null deviance: 21.4198 on 20 degrees of freedom				
Residual deviance: 7.7414 on 15 degrees of freedom				

Nota: Donde, Estímate (coeficiente estandarizado de cada una de las variables predictoras), Std. Error (error estándar), Z value (coeficiente de regresión dividida por su error estándar) y Pr (> | z |) (determina las variables con mayor importancia en la regresión logística).

En el efecto de las variables sobre la fauna silvestre vertebrada en general (figura 8) se evidencia que porcentaje de bosque, mostró una asociación positiva con la mortalidad de fauna, es decir que, a mayor porcentaje de estas coberturas aledañas a la carretera, se registra mayor mortalidad de fauna silvestre y que la variable porcentaje de área con vegetación herbácea o arbustiva no tiene un efecto sobre la variable respuesta.

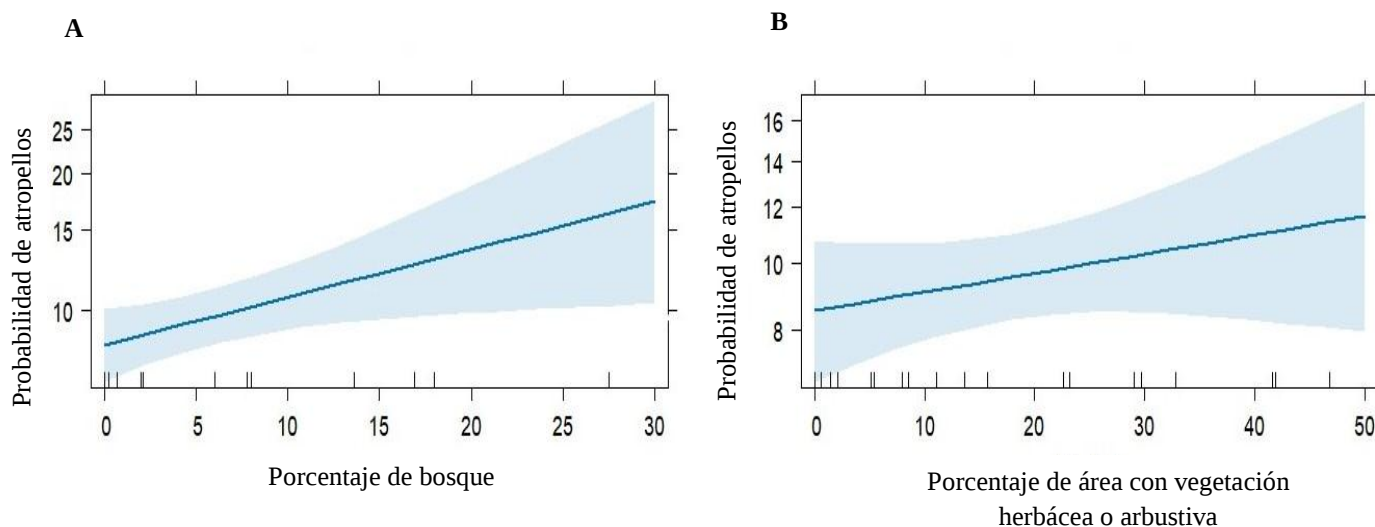


Figura 8. Efectos de las variables seleccionadas como importantes para la probabilidad de atropellos de fauna silvestre vertebrada en general; **A:** efecto del porcentaje de bosque; **B:** efecto del porcentaje de área con vegetación herbácea o arbustiva.

Para cada uno de los grupos, se observa los mejores modelos obtenidos a través de la función de glmulti, donde se tiene en cuenta el valor de Akaike corregido (AICc) y su respectivo peso.

Mamíferos

En la tabla 8, se evidencia que entre los 100 mejores modelos hay 4 de los cuales su valor de AICc está más cercano a 0, observándose bajo la línea de tendencia. Sin embargo, en el resumen de coeficientes se muestra que la única variable significativa con un p-valor de 0.0415 corresponde a porcentaje de cobertura boscosa, lo que indicaría que es la variable con más importancia en el modelo y las variables porcentaje de área con vegetación herbácea o arbustiva y distancia al río más cercano no tienen una influencia significativa, por tanto, no tienen un efecto sobre la variable respuesta (Tabla 9).

Tabla 8. Selección del mejor modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de mamíferos en la vía de Bosconia-Valledupar.

Modelo	AICc	Pesos
Atropellos ~ <u>%Bosque + %AVegHA + DistR</u>	<u>71.68820</u>	<u>0.32965</u>
Atropellos ~ %Bosque + %AreAH + %AVegHA + DistR	72.93594	0.17664
Atropellos ~ %Bosque + %AreAH + DistR	73.68867	0.12124
Atropellos ~ %Bosque + DistR	73.83909	0.11245
Atropellos ~ %Bosque	74.39363	0.08522
Atropellos ~ %Bosque + %AVegHA	75.04781	0.06145
Atropellos ~ 1	76.60913	0.02815
Atropellos ~ %Bosque + AreAH	76.92325	0.02405
Atropellos ~ %AreAH	77.74740	0.01593
Atropellos ~ %AreAH + DistR	78.23691	0.01247
Atropellos ~ %DistR	78.72256	0.00978
Atropellos ~ %Bosque + %AreAH + % AVegHA	78.77345	0.00953
Atropellos ~ % AVegHA	79.42133	0.00689
Atropellos ~ %AreAH + % AVegHA	81.16172	0.00289
Atropellos ~ % AVegHA + DistR	81.97504	0.00192
Atropellos ~ %AreAH + % AVegHA + DistR	82.26481	0.00166

Nota: %AVegHA= Porcentaje de Área con Vegetación herbácea o arbustiva; DistR= Distancia al río más cercano, %AreAH= Porcentaje de Áreas Agrícolas Heterogéneas.

Tabla 9. Resumen de coeficientes del GLM para la determinación de las variables del paisaje que influyen en los eventos de colisión del grupo de mamíferos.

	Estímate	Std. Error	Z value	Pr (> z)
Intercepto	1.4780795	0.2658095	5.561	2.69e-08 ***
%Bosque	0.0315467	0.0154755	2.039	0.0415 *
%AVegHA	0.0054959	0.0049635	1.107	0.2682
DistR	0.0002136	0.0001283	1.665	0.0960 .
Null deviance: 9.5271 on 16 degrees of freedom				
Residual deviance: 3.0240 on 12 degrees of freedom				

Nota: Donde, Estímate (coeficiente estandarizado de cada una de las variables predictoras), Std. Error (error estándar), Z value (coeficiente de regresión dividida por su error estándar) y Pr (> | z |) (determina las variables con mayor importancia en la regresión logística).

Luego de aplicar el R^2 de Macfadden se observa que el modelo para el grupo de mamíferos explica el 68% de la variabilidad, por tanto, encontramos un buen ajuste de modelo a los datos, esto también se corrobora con el análisis de residuales.

Con respecto a las variables explicativas (figura 9), el modelo indica que la probabilidad de atropellos incrementa al presentarse mayor porcentaje de cobertura boscosa circundante a la carretera ya que tiene una relación directamente proporcional. Además, las variables, porcentaje de área con vegetación herbácea o arbustiva y distancia al río más cercano no son relevantes como efectos causales en los atropellos de mamíferos.

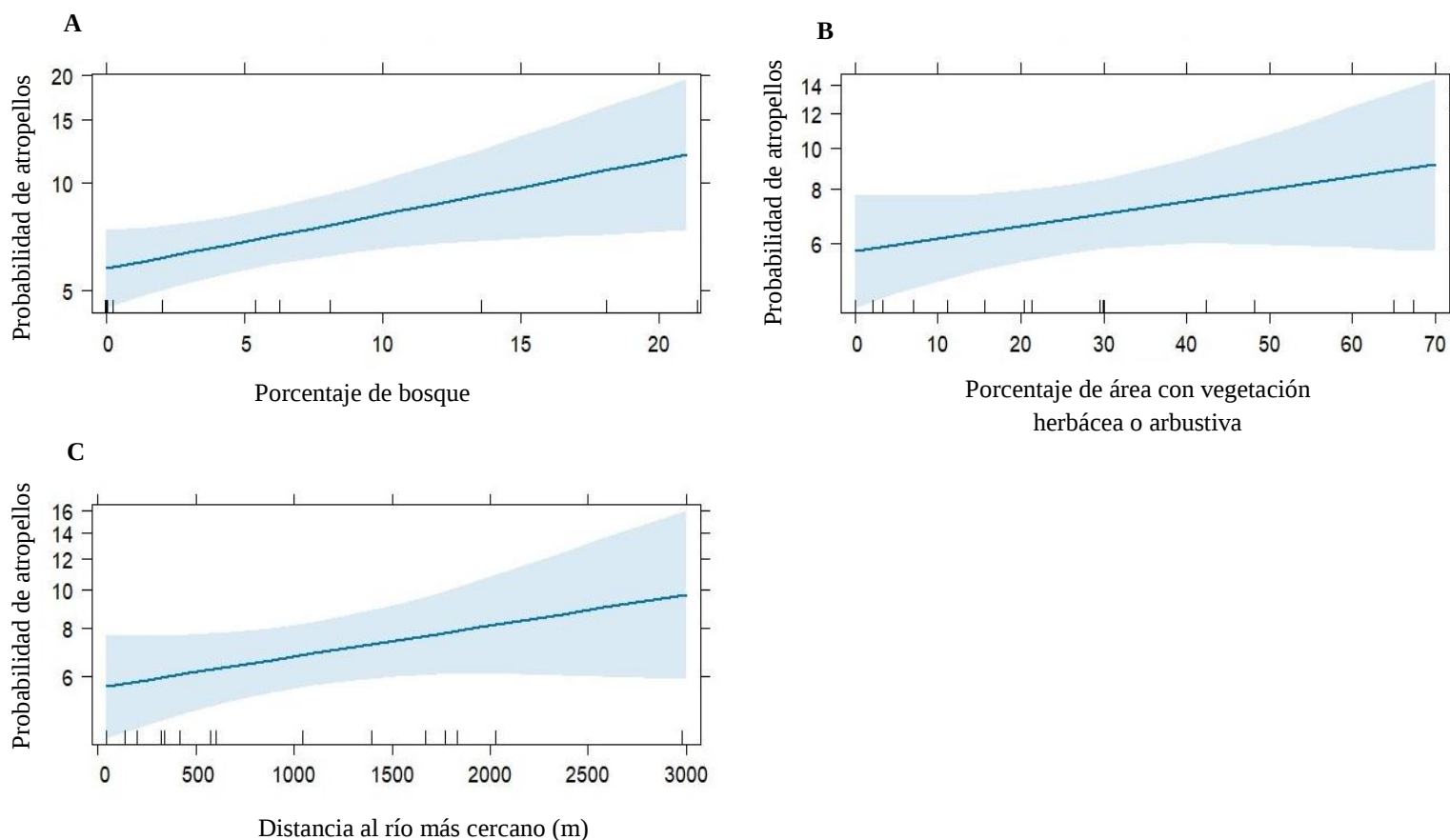


Figura 9. Efectos de la variable seleccionada como importantes para la probabilidad de atropellos de reptiles; **A:** efecto del porcentaje de bosque; **B:** efecto del porcentaje de área con vegetación herbácea o arbustiva; **C:** efecto de la distancia al río más cercano.

Reptiles

Los resultados de los modelos lineales generalizados para la probabilidad de atropello de reptiles, se resumen en el Tabla 10, en donde la única variable significativa fue distancia al río más cercano, ya que en los coeficientes se observa un p-valor de 0.04106 la cual se determina como la variable predictora con mayor importancia en el modelo (Tabla 11), sin embargo, en la selección del modelo se observa bajo la línea de tendencia que los 4 primeros tienen en su valor de AICc cercano a 0, pero no son significativos, lo que indicaría que no tienen un efecto sobre la variable respuesta.

Tabla 10. Selección del mejor modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de reptiles en la vía de Bosconia-Valledupar

Modelo	AICc	Pesos	
<u>Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + DistR</u>	<u>56.1120</u>	<u>0.26219</u>	Not
Atropellos ~ %Pastos + %AreAH + DistR	56.8348	0,18267	a:
Atropellos ~ %Bosque + DistR	57,0025	0,16798	%A
Atropellos ~ %Pastos + DistR	57.0984	0,16011	Veg
Atropellos ~ DistR	59.5543	0,04689	HA
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + %AreAH + DistR	60.0824	0,03601	=
Atropellos ~ %Bosque + %AVegHA + DistR	60.8330	0,02474	Porc
Atropellos ~ %Bosque	61.1585	0,02103	enta
Atropellos ~ %Pastos + %AVegHA + DistR	61.2360	0,02023	je
Atropellos ~ %Bosque + %AreAH + DistR	62.5738	0,01036	de
Atropellos ~ 1	62.7508	0,00948	Áre
Atropellos ~ %Pastos + %AVegHA + %AreAH + DistR	62.8890	0,00885	a
Atropellos ~ %Pastos	62.9797	0,00846	con
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque	63.2226	0,00749	Veg
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + %AVegHA + DistR	63.5138	0,00648	etaci
Atropellos ~ %AreAH + DistR	63.5682	0,00630	ón

ácea o arbustiva; DistR= Distancia al Río más cercano; %AreAH= Porcentaje de Áreas Agrícolas Heterogéneas

Tabla 11. Resumen de coeficientes del GLM para la determinación de las variables del paisaje que influyen en los eventos de colisión del grupo de reptiles.

	Estímate	Std. Error	Z value	Pr (> z)
Intercepto	2.6715748	0.8678440	3.078	0.00208 **
DistR	-0.0017060	0.0008351	-2.043	0.04106 *
%Pastos	-0.0126877	0.0105046	1.208	0.22711
%Bosque	0.0061758	0.0195948	0.315	0.75263
Null deviance: 11.8736 on 12 degrees of freedom				

Nota: Donde, $\text{Residual deviance: } 2.5884 \text{ on } 7 \text{ degrees of freedom}$ Estímate (coeficiente estandarizado de cada una de las variables predictoras), Std. Error (error estándar), Z value (coeficiente de regresión dividida por su error estándar) y Pr (> | z |) (determina las variables con mayor importancia en la regresión logística).

Después de aplicar el R² de Macfaden se observa que el modelo para el grupo de reptiles explica el 78% de la desviación original, por tanto, encontramos un buen ajuste de modelo a los datos.

Teniendo en cuenta los resultados, se destaca que, entre las variables seleccionadas, la que ejerce mayor influencia en este grupo es la distancia a ríos. Esto sugiere que la proximidad de ríos está asociada con una mayor probabilidad de atropellos de reptiles, convirtiéndose en la variable predictora más influyente en el modelo (figura 10).

Por otro lado, se observa que las variables porcentaje de bosque y porcentaje de pastos no parecen tener un efecto significativo sobre la variable respuesta, sin embargo, resaltan la importancia de la proximidad a fuentes de agua como un factor crucial en la predicción de atropellos de reptiles, mientras que las coberturas de bosque y pastos no desempeñan un papel relevante en esta dinámica.

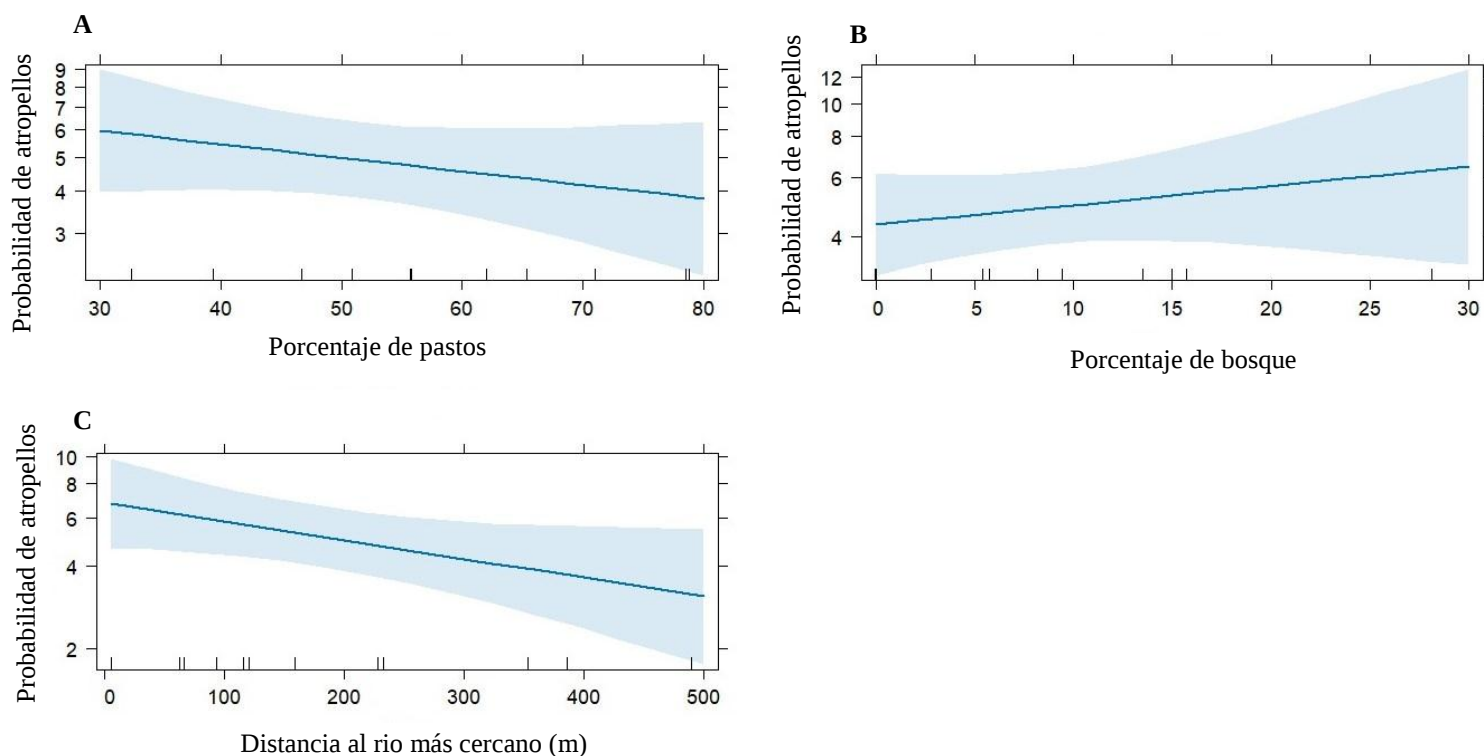


Figura 10. Efectos de la variable seleccionada como importantes para la probabilidad de atropellos de reptiles; **A:** efecto del porcentaje de pastos; **B:** efecto del porcentaje de bosque; **C:** efecto de la distancia al río más cercano

Aves

Para este modelo, se observa que dos de las variables explicativas fueron las influyentes en la probabilidad de atropellos, sin embargo, en el resumen de coeficientes se muestra que la ninguna de las variables fue significativa, es decir, con un valor menor a 0,05 pero las variables que estuvieron cerca a este valor son el porcentaje de cobertura boscosa y porcentaje de área de vegetación herbácea o arbustiva, tal como lo refleja el modelo (Tabla 13).

Después de aplicar el R^2 de Macfaden se observa que el modelo para el grupo de las aves explica el 68% de la desviación original, por tanto, encontramos un buen ajuste de modelo a los datos.

Tabla 12. Selección del modelo según el criterio de información de Akaike con corrección para muestras pequeñas que predicen los atropellos de aves en la vía de Bosconia- Valledupar.

Modelo	AICc	Pesos
<u>Atropellos ~ %Bosque + %AVegHA</u>	<u>39.0693</u>	<u>0.39944</u>
Atropellos ~ % AVegHA	39,3724	0,34327
Atropellos ~ %Pastos + %AVegHA	42,5831	0,06894
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + %AVegHA	42,7932	0,06206
Atropellos ~ %Bosque + %AVegHA + DistR	42,8834	0,05933
Atropellos ~ %AVegHA + DistR	43,1508	0,05190
Atropellos ~ %Pastos + %AVegHA + DistR	47,1797	0,00692
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + %AVegHA + DistR	47,8442	0,00497
Atropellos ~ 1	50,3030	0,00145
Atropellos ~ %Bosque	51,7831	0,00069
Atropellos ~ DistR	53,3108	0,00032
Atropellos ~ %Pastos	53,4030	0,00031
Atropellos ~ %Bosque + DistR	54,1071	0,00022
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque	55,4796	0,00011
Atropellos ~ %Pastos + DistR	57,0606	0,00005
Atropellos ~ %Pastos + %Bosque + DistR	58,6843	0,00002

Nota: %AVegHA= Porcentaje de Área con Vegetación herbácea o arbustiva; DistR= Distancia al río más cercano.

Tabla 13. Resumen de coeficientes del GLM para la determinación de las variables del paisaje que influyen en los eventos de colisión del grupo de las aves.

	Estímate	Std. Error	Z value	Pr (> z)
Intercepto	1.0897265	0.6114561	1.782	0.0747 .
%Bosque	-0.0614687	0.0829296	-0.741	0.4586
%AVegHA	0.0174237	0.0100710	1.730	0.0836 .
Null deviance: 6.1348 on 14 degrees of freedom				
Residual deviance: 1.9383 on 10 degrees of freedom				

Nota: Donde, Estímate (coeficiente estandarizado de cada una de las variables predictoras), Std. Error (error estándar), Z value (coeficiente de regresión dividida por su error estándar) y Pr (> | z |) (determina las variables con mayor importancia en la regresión logística).

En cuanto a las variables explicativas, el modelo sugiere que las colisiones resultan de dos factores, donde la probabilidad de atropellos de las Aves se encuentra en una relación

negativa con el porcentaje de cobertura boscosa, pero positiva con el porcentaje de área con vegetación herbácea o arbustiva, pero no tienen un efecto sustancial en la variable de respuesta

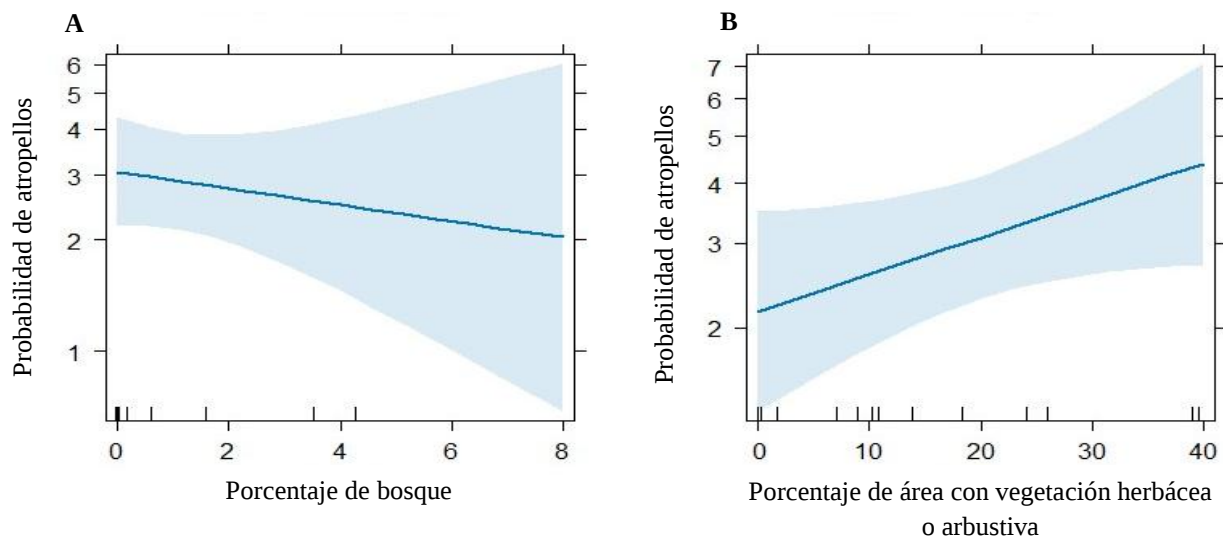


Figura 11. Efectos de la variable seleccionada como importantes para la probabilidad de atropellos de aves; **A:** efecto del porcentaje de bosque; **B:** efecto del porcentaje de área con vegetación herbácea o arbustiva

6. DISCUSIÓN

Especies afectadas

El estudio realizado en la región del Caribe en Colombia resalta el impacto significativo de las carreteras, especialmente la Ruta del Sol sector III, en la fauna silvestre. En total, se registraron 446 individuos de 53 especies diferentes como víctimas de atropellos. Este estudio destaca la susceptibilidad de los mamíferos y reptiles a las colisiones vehiculares y revela que ciertas características del paisaje, como la cobertura boscosa, la vegetación herbácea y la proximidad a cuerpos de agua, desempeñan un papel fundamental en la ocurrencia de estos desafortunados incidentes. Los hallazgos en cuanto a los grupos más afectados coinciden con investigaciones previas realizadas en el Neotrópico, donde se observa que los mamíferos y reptiles son particularmente vulnerables (Pinowski, 2005; Coelho et al., 2008; De La Ossa-V. & Galván-Guevara, 2015; Rojano Bolaño, C., & Ávila Avilán, R. 2021; Morales et al., 1997; Seijas et al., 2013; De La Ossa-Nadjari & De La Ossa-V., 2015). Estos resultados enfatizan la importancia de considerar los impactos de las carreteras en la vida silvestre y tomar medidas para minimizar los riesgos asociados a la infraestructura vial.

En el caso de los mamíferos, el género *Cerdocyon* representa el 53% de los atropellos registrados en este estudio. se registra como una especie de común atropellamiento en vías nacionales dentro de su área de distribución (Delgado, 2007). *Cerdocyon* es una especie carnívora con una dieta amplia y oportunista, y puede actuar como carroñero (Vieira, 1996).

El alto porcentaje de atropellamientos de *Cerdocyon* posiblemente se debe a su capacidad para explorar y adaptarse a diferentes hábitats en busca de alimentos. Además, su amplia distribución y abundancia en comparación con otros carnívoros pueden contribuir a este fenómeno (Cruz et al., 2014). Su tendencia de colonizar los bordes de las carreteras podría estar

relacionada con el efecto borde, y su dieta podría incluir animales muertos encontrados en las carreteras (Kattán, 2002). Estos factores, junto con los peligros inherentes a la carretera, podrían estar contribuyendo a su alta tasa de atropellamientos.

Tamandua mexicana representa el 22,5% de los mamíferos registrados para este estudio; la colisión en carreteras de Colombia para este género presenta altos porcentajes como lo reporta en su estudio Ossa-Nadjar y Ossa V Jaime en el 2013 y Delgado, 2014. El alto porcentaje de individuos atropellados se atribuye a la forma de obtener su alimento, debido a su hábito de forrajeo arborícola y en ocasiones terrestre (Sandoval et al., 2012). En estos espacios, se produce un incremento en la acumulación de materia orgánica proveniente de malezas y hojarasca, lo que a su vez aumenta la presencia de invertebrados, tal como lo indica Waide (1991). del mismo modo, su lenta locomoción hace que sean fácilmente atropellados estos animales. Sin embargo, esta es una de las causas principales de la disminución de las poblaciones y se considera una de sus principales amenazas.

Los reptiles, fueron el segundo grupo con reportes altos de atropellamiento. Dentro de estos, la mayoría de individuos eran iguanas, serpientes y cocodrilos, siendo estos los más registrados en los diferentes lugares del país como los grupos más vulnerables a las colisiones viales (Adárraga-Caballero et al., 2019; López et al., 2016).

El género iguana representa el 43% de reptiles reportados para este estudio, la alta proporción de atropellos se asocia con su época reproductiva, momento en el que las iguanas atraviesan las vías en busca de zonas de anidación. Esta especie se registra también como atropellada en carreteras de México (Grosselet M et al., 2008; Puc-Sánchez et al., 2013) y Venezuela (Seijas et al. 2013). Entre otros factores que podrían explicar este suceso, se encuentra la necesidad de termorregulación, siendo la carretera un factor atrayente debido al calor que el

asfalto les trasfiere (López et al., 2016), durante el día y permanece así incluso en horas de la noche (Arroyave et al., 2006).

Boa constrictor representa el 14.4% de los reptiles reportados en este estudio, coincidiendo en otras investigaciones reportadas en otras áreas de Colombia (Payán et al., 2013; Adárraga-Caballero et al., 2019) y en Costa Rica (Artavia, 2015), Esta especie muestra uno de los índices más altos de atropellos en el Neotrópico. La presencia de estos animales atropellados puede estar asociada con variables como el sexo, la edad o el tamaño, dado que las serpientes, al igual que otros animales, pueden presentar patrones de movimiento que varían según estos factores. Por ejemplo, las serpientes jóvenes pueden estar más activas y explorar áreas en busca de alimento y refugio, lo que incrementaría su exposición a las carreteras. De manera similar, las serpientes más grandes podrían requerir mayores territorios y ser más propensas a cruzar carreteras en su búsqueda de recursos. Además, el tamaño y la longitud de las serpientes podrían influir en su capacidad para detectar y evitar amenazas, como vehículos en movimiento. Las serpientes más pequeñas podrían ser menos visibles para los conductores y, por lo tanto, tener una mayor probabilidad de ser atropelladas.

Las aves ocupan el tercer lugar en cuanto al número de registros. Sin embargo, presenta un alto número de atropellos con 20 especies reportadas (Tabla 4), estas colisiones pueden estar vinculadas a la vegetación que se dispone al borde de la carretera. A modo general, las aves suelen ser uno de los grupos taxonómicos menos afectados en cuanto al número de atropellos (Seijas et al., 2013; De la Ossa-Nadjar & De La Ossa-V., 2015; Monroy et al., 2015), lo cual se podría relacionar, entre otros factores, al vuelo presentándose como una ventaja entre los otros grupos para evitar los vehículos con mayor eficacia.

Las especies carroñeras de la familia Falconidae y Cathartidae representaron el 62% de las aves encontradas para este estudio. Se destacaron *Caracara cheriway*, *Cathartes aura* y *Milvago chimachima*, como las especies que más atropellamiento tuvieron. Ya que buscan animales muertos sobre la vía para alimentarse o porque se sienten atraídos por los residuos orgánicos que son arrojados en las carreteras, siendo esto una fuente valiosa de alimento (Cupul 2002).

Con respecto a los anfibios, se reportó la especie *Rhinella marina*, grupo con menos especies involucradas en accidentes, esto se debe a que la metodología usada no permitió el registro de este grupo o podría asociarse que, en el caso de este grupo, el tiempo que sus cuerpos permanecen en la carretera después de una colisión es muy corto y puede deberse a factores como la presencia de carroñeros y flujo vehicular (Antworth et al. 2005).

Efectos del paisaje sobre atropellamientos

Para la determinación de eventos de colisión y efecto de coberturas en los atropellamientos, se encontraron nueve puntos críticos a nivel general, que se localizan en su mayoría, asociados a coberturas mixtas es decir rodeada de pastos limpios, pastos enmalezados, bosques, arbustal abierto, vegetación secundaria baja y cerca a fuentes hídricas. Los eventos de atropellamiento se distribuyeron de forma no aleatoria, es por esto que la cobertura boscosa tiene una relación significativa sobre la ocurrencia de atropellamiento.

De acuerdo con los resultados obtenidos existen elementos de análisis que permiten determinar la relación entre las características del paisaje con respecto a los atropellos de fauna silvestre vertebrada en el bosque seco de la región del Caribe. Las cinco variables más importantes relacionadas con el número de atropellos fueron: porcentaje de pastos, porcentaje de bosque, porcentaje de área con vegetación herbácea o arbustiva, porcentaje de áreas agrícolas

heterogéneas y distancia al río más cercano. En la mayoría de los modelos, la más importante fue porcentaje de cobertura boscosa que es usada principalmente por los animales como corredores biológicos a través del paisaje, ocasionando una alta probabilidad de colisión vehículo-fauna silvestre (Gunson et al., 2011).

En cuanto al resumen de las variables donde se evaluó el conjunto de modelos para cada uno de los grupos, se observó que, tanto para los datos en general como para los mamíferos, el porcentaje de bosque es la variable más significativa en los modelos con un p valor (0,0415) y para reptiles resulto siendo la distancia a ríos más cercano ya que al ser el valor del coeficiente positivo y ser significativamente distinto de cero la variable tiene un efecto positivo sobre la variable respuesta con un p valor (0,0410). por lo tanto, muchos de los animales del bosque seco tropical por sus características climáticas de elevadas temperaturas (33°C t, promedio) durante la mayor parte del día migran a zonas húmedas o incluso buscan una ribera para conseguir mejores condiciones ambientales (Castillo et al., 2015).

Para el grupo de las Aves no se tuvo en cuenta porque no tuvieron un valor de “P” menor igual a 0.05 pero las variables que estuvieron cerca a este valor son el porcentaje de cobertura boscosa y porcentaje de área de vegetación herbácea o arbustiva, sin embargo, en el resumen de coeficientes estas no presentan ningún efecto sobre la variable dependiente.

Existen diversos estudios que respaldan los resultados obtenidos en este análisis, demostrando una correlación entre las coberturas de bosque y los paisajes en mosaico con espacios naturales. Estos tienden a manifestar comportamientos similares en cuanto a las ocurrencias de atropellamientos (López et al., 2022; Seijas et al., 2013). Asimismo, la presencia de cobertura boscosa cercana a la carretera puede afectar la visibilidad de los conductores para detectar la fauna silvestre, aumentando así las probabilidades de atropello (Barthelmeß, 2014).

En el caso de los mamíferos, las variables relacionadas con el porcentaje de cobertura boscosa presentan una influencia positiva en la probabilidad de atropellos. En otras palabras, a medida que aumenta el porcentaje de esta cobertura, también aumenta la probabilidad de que ocurran atropellos. Esta tendencia se alinea con otros estudios que han mostrado que las muertes de mamíferos y reptiles se incrementan en áreas boscosas (Clevenger et al., 2003; Seiler, 2005). Además, concuerda con lo reportado por França y Braz (2013) en el Cerrado Brasileño, quienes determinaron que los mamíferos, reptiles y aves están asociados con áreas abiertas.

Diversas especies de mamíferos, como el oso hormiguero, que tiene un comportamiento semi-arborícola, requieren cierto grado de cobertura boscosa para llevar a cabo su forrajeo diario, ya que aproximadamente el 40% de su tiempo lo dedican a consumir hormigas y termitas de los árboles (Eisenberg 1989, Navarrete y Ortega 2011). Lo mismo ocurre con algunas especies de reptiles, como la Boa constrictor, que se adaptan a diferentes tipos de cobertura y se alimentan de roedores. Esto significa que pueden encontrarse tanto en pastizales como en áreas boscosas (Valenciaga y Mora 2007).

En el modelo también se encontró que, a mayor porcentaje de pastos, disminuyen los atropellos, esto podría explicar, que estas especies se adaptan a varios hábitats como los bosques, arbustales y vegetación (Eisenberg, 1989), es decir que no se limita a las zonas cercanas a fragmentos de pastos ya sea limpios o enmalezados y en este caso, podría aprovechar más las coberturas boscosas para movilizarse. Asimismo, los modelos también indicaron que la proximidad a fuentes de agua podría aumentar la probabilidad de atropellos en reptiles. Esto se debe a que ciertas especies, como serpientes y lagartos, llevan a cabo migraciones locales diarias en busca de fuentes de agua, presas y lugares de reproducción. Es posible que la presencia de

estos cuerpos de agua esté asociada a una mayor abundancia de cobertura boscosa en sus alrededores, creando un entorno atractivo para estas especies (Andrade et al., 2016).

Aunque en general se considera que los bosques, debido a su vegetación, representan una fuente directa e indirecta de alimentos y refugio para la fauna, en la que esta se encuentra estrechamente relacionada con el uso de áreas sombreadas, zonas de forrajeo y desplazamiento, para la fauna silvestre vertebrada, la distancia al bosque no resultó relevante en este caso. Esto se debe a que la mayoría de estas especies se encontraban ya dentro del bosque seco presente en el área de estudio. En otros estudios, se reporta que el ruido del tráfico o la iluminación también pueden atraer a algunas especies de aves a los bordes de las carreteras, aumentando la probabilidad de atropellos (Blackwell et al. 2015; Kociolek et al. 2015). De acuerdo a otros estudios se ha demostrado que las aves mueren al chocar con los vehículos y no directamente al ser atropelladas, debido a que varias de las especies se encontraron cercanas a la carretera, coincidiendo con lo planteado por Trejo & Seijas (2003), quienes afirman que las aves pueden colisionar contra las ventanas de los vehículos quedando heridas y pudiéndose desplazar ocultarse entre la vegetación circundante. Sin embargo, en los análisis realizados en este estudio, no se dispone de información relativa a la velocidad del tráfico vehicular en el tramo examinado. Esta es una consideración significativa, especialmente en una vía de alto flujo vehicular, ya que el nivel de tráfico puede variar sustancialmente entre una vía con un alto volumen de vehículos y una con menor tráfico.

En conclusión, la heterogeneidad del paisaje juega un papel importante en la afectación de la diversidad según el grupo y la dispersión que tengan las especies. Para obtener resultados más específicos en cuanto a las variables de la carretera, se deben contemplar factores como el ancho de la vía, el flujo vehicular y la velocidad de los vehículos, que son de influencia e

importancia en los atropellamientos de fauna silvestre (Arroyave et al., 2006). Aunque este estudio ha considerado las características del paisaje adyacente a las carreteras, es relevante continuar investigando para entender mejor cómo mitigar estos efectos negativos y proteger a la fauna silvestre en estos entornos.

7. CONCLUSIONES

Se registro un total de 446 individuos atropellados pertenecientes a 53 especies para aves (n=20) reptiles (n=21), mamíferos (n=11) y anfibios (1) en el periodo transcurrido de 2013-2022-

1. Los órdenes con mayores eventos de atropellamiento fueron, el orden Carnivora con 156 individuos y la familia Canidae, el orden Squamata con 122 individuos y la familia Iguanidae, por último, el orden Falconiformes con 18 individuos y la familia Falconidae.

Las especies con más eventos de atropellamiento fueron *Cerdocyon thous* (n=128), *Tamandua mexicana* (n=54) para mamíferos; seguidas por *Iguana iguana* (n=62), *Boa constrictor* (n=21) para reptiles. En Aves fue *Caracara cheriway* (n=9), *Milvago chimachima* (n=8).

La caracterización detallada de las particularidades del paisaje circundante permitió la identificación de factores críticos que determinan el riesgo de colisiones en la fauna silvestre vertebrada. Dado que este riesgo puede variar en distintas escalas, enfatizamos la relevancia de evaluarlo considerando los atributos con los entornos circundantes a la carretera.

Por lo tanto, sugerimos que los estudios futuros se centren en evaluar el efecto de predictores particulares en secciones de la carretera, por ejemplo, ancho de la vía, velocidad de vehículos, entre otros factores que están principalmente asociados en los atropellos viales de fauna.

Los resultados de este trabajo indican que no se requiere que el bosque este cercano a las vías si no que haya una cobertura boscosa considerable en el entorno circundante, sirviendo como corredores biológicos. Esto es relevante pues se observa como los animales usan los pequeños fragmentos de bosques o líneas de bosque ribereños para desplazarse.

Finalmente, las coberturas vegetales ejercen una influencia en los atropellamientos de fauna silvestre en esta vía. Este hecho se evidencia tanto en los puntos críticos identificados como en los modelos analizados, que revelan la importancia positiva de la variable bosque y la distancia a cuerpos de agua en la probabilidad de atropellos. Además, se observa que estas especies muestran una capacidad constante de adaptarse a diferentes hábitats, lo que las lleva a aprovechar las coberturas boscosas para sus desplazamientos.

Es esencial resaltar la importancia de los estudios sobre atropellamientos de fauna silvestre en carreteras, ya que estos aportan valiosa información sobre las especies más afectadas, la ubicación geográfica y la relación con las características del entorno. Estos estudios son cruciales para identificar las especies y taxones más vulnerables a los atropellos, así como los puntos críticos donde estos incidentes ocurren con mayor frecuencia. La recopilación de esta información resulta fundamental para desarrollar estrategias que reduzcan y mitiguen los impactos de los atropellamientos en la vida silvestre y para tomar medidas que contribuyan a su conservación.

8. RECOMENDACIONES

En las áreas señaladas como críticas, se recomienda la aplicación de medidas de mitigación específicas o la mejora de las existentes. Esto se debe a que las variables del paisaje afectan de manera diferente a diversos grupos de fauna. Por lo tanto, resulta esencial adaptar las estrategias de mitigación a las necesidades particulares de cada grupo, con el fin de maximizar su eficacia y contribuir de manera efectiva a la conservación de la vida silvestre.

Se sugiere que estos datos sean complementados con muestreos continuos y sistematizados y se incluyan efectos predictores particulares de la carretera y análisis adicionales.

Se recomienda establecer un programa de monitoreo continuo en los puntos críticos identificados para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación. Esto permitirá ajustar y mejorar las estrategias a lo largo del tiempo, asegurando un enfoque adaptativo y eficiente

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adárraga-Caballero, M. A., & Gutiérrez-Moreno, L. C. (2019). Mortalidad de vertebrados silvestres en la carretera troncal del Caribe, Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 20(1), 106-119.
- Andrade DV, Bevier CR, Carvalho JE, editores. 2016. Amphibian and reptile adaptations to the environment: Interplay between physiology and behavior. Boca Raton, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Antworth, R.L., Pike, D.A. & Stevens, E.E. (2005). Hit and run: effects of scavenging on estimates of roadkilled vertebrates. *Southeastern Naturalist*, 4(4), 647–656. [https://doi.org/10.1656/1528-7092\(2005\)004\[0647: HAREOS\]2.0.CO](https://doi.org/10.1656/1528-7092(2005)004[0647: HAREOS]2.0.CO)
- Arana-Rivera, J. S., & Gutiérrez-Quintero, S. (2022). Analysis of Wildlife Roadkill in a Road Circuit. Case study of a Colombian road in the Department of Huila: Neiva-Rivera-Campoalegre. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 26(1), 55-71.
- Araya, D., Arévalo, E., & Pomareda, E. (2015). Informe técnico-científico: Medidas ambientales para disminuir el impacto en la fauna silvestre, de la ampliación en la carretera nacional, ruta 32, Limón, Costa Rica. Grupo Vías Amigables con la Vida Silvestre. Costa Rica, 54.

- Arroyave, M. D. P., Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C., ... & Ramos, K. C. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista eia*, (5), 45-57.
- Artavia, R. (2015). Identificación y caracterización de cruces de fauna silvestre en la sección de la ampliación de la carretera nacional Ruta 32, Limón, Costa Rica. (Tesis de grado). Turrialba, Costa Rica: CATIE
- Ashley, P. & Robinson, J. T. (1996). Road mortality of amphibians, reptiles and other wildlife on the Long Point Causeway, Lake Erie, Ontario. *Canadian Field Naturalist*, 110(3).
- Barthelmeß, E. L. (2014). Spatial distribution of road-kills and factors influencing road mortality for mammals in Northern New York State. *Biodiversity and conservation*, 23, 2491-2514.
- Blackwell B, DeVault T, Seamans T (2015) Comprender y mitigar los efectos negativos de la iluminación vial en los ecosistemas. En: van der Ree R, Smith D, Grilo C (eds) Manual de ecología vial. Wiley, Oxford, págs. 143-150
- Bustos Zabala, I. F. (2018). Diseño de equipamientos para viajeros de largos tramos terrestres para las vías 4G en Colombia: forma sostenibilidad, tecnología (Doctoral dissertation).
- Braz, V., y França, F. 2016. Wild vertebrate roadkill in the Chapada dos Veadeiros National Park, Central Brazil. *Biota Neotropica*, 16(1):182. E-pub January 12, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2014-0182>
- Caicedo, G. R., Peralta, V. P., Rodríguez, A. N., & Quintero, L. (2015). Caracterización del Ecosistema Emprendedor en las Instituciones de Educación Superior en Valledupar, Colombia. Carlos Arturo Robles Julio, 107.
- Canizares Paba, k. y. (2012). plan de mejoramiento de la comunicación interna de la corporación autónoma regional del cesar (Corpocesar) (Doctoral dissertation).

- Carvallo Corral, P. A. (2016). Implantación de un sistema de conservación de carreteras en Ecuador, Aplicación a la Carretera Cuenca (El Salado)-Léntag.
- Castillo, J. C., Urmendez, D., & Zambrano, 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.
- Chacón, E. R. (2011). Atropello de vertebrados en una carretera secundaria en Costa Rica. *UNED Research Journal*, 3(1), 81-84.
- Clevenger AP, Chruszcz B, Gunson KE (2003) Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biol Conserv* 109:15–26. doi:10.1016/S0006-3207(02)00127-1
- Clevenger, A. P., B. Chruszcz, K. Gunson, y J. Wierzchowski. (2002). Roads and wildlife in the Canadian Rocky Mountain Parks - Movements, mortality and mitigation Final report to Parks Canada. Banff, Alberta, Canada.
- Coelho, I. P., Kindel, A. & Coelho, A. V. P. (2008). Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research*, 54(4), 689-699.
- Comisión Europea. (2016). Criterios de contratación pública ecológica para el diseño, la construcción y el mantenimiento de carreteras.
- Criales-Hernández, M. I., B García, C., & Wolff, M. (2006). Flujos de biomasa y estructura de un ecosistema de surgencia tropical en La Guajira, Caribe colombiano. *Revista de biología tropical*, 54(4), 1257-1282.
- Cruz-Salazar, B., Ruiz-Montoya, L., Navarrete-Gutiérrez, D., Espinoza-Medinilla, E. E., Vázquez-Domínguez, E., & Vázquez, L. B. (2014). Genetic diversity and relative abundance of *Didelphis*

marsupialis and *Didelphis virginiana* in Chiapas, Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(1), 251-261.

CUPUL, F. 2002. Víctimas de la carretera: fauna apachurrada. Gaceta CUC. Departamento de Ciencias. Centro. Universitario de la Costa. México. 10p

D'Amico, M., Román, J., De los Reyes, L., & Revilla, E. (2015). Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: who, when and where. *Biological Conservation*, 191, 234-242.

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). Vehicle collisions with wild fauna on the two roads that pass through the Montes De María, Sucre, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 503-511.

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 Vélez, C. A. (2014). Adiciones al atropellamiento vehicular de mamíferos en la vía de El Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Revista EIA*, (22), 147-153

Delgado-V., C. A. (2007). Muerte de mamíferos por vehículos en la Vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 29(87), 229-233

Donado, D., & Alarcón, J. D. (2016). Una zona de actividad logística como estrategia de desarrollo regional.

Eisenberg, J. F. 1989. *Mammals of the Neotropics. Volume 1. The Northern Neotropics*. University of Chicago Press.

- ESRI, 2018. ArcGIS e A Complete Integrated System. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California. <http://esri.com/arcgis>.
- Fayad, J. C. J., Manosalva, J. L. G., Barberi, J. R., & Vélez, J. C. G. Ecología de carreteras e infraestructura verde. In Workshop: estrategia para la formulación de proyectos de innovación social Biohacking: escuela de creación Divulgación y Difusión de los nuevo s paradigmas del Diseño (p. 36).
- Forman RT, Sperling D, Bissonette JA, Clevenger AP, Cutshall CD, Dale VH, Fahrig L, France R, Goldman CR, Heanue K, Jones JA, Swanson FJ, Turrentine T, Winter TC. 2003. Road Ecology: Science and Solutions. Washington D.C.: Island Press.
- Galindo Gasca, K. L. (2022). Implementación de mapas de calor e ingreso de la información de contratos de señalización horizontal y vertical en la plataforma SIGMOV ejecutados en la ciudad de Medellín.
- García López, Y. A., & García Peluffo, J. D. (2022). Atropellamiento de fauna en Colombia: una revisión desde sus causas, conocimiento actual, perspectivas de manejo y regulación.
- Gitman, I., & Levine, M. D. (1970). An algorithm for detecting unimodal fuzzy sets and its application as a clustering technique. *IEEE Transactions on Computers*, 100(7), 583-593.
- Grosselet, M. A. N. U. E. L., Villa-Bonilla, B. E. R. N. A. R. D. I. N. O., & Ruiz-Michael, G. (2008). Afectaciones a vertebrados por vehículos automotores en 1.2 km de carretera en el istmo de Tehuantepec. In *Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to Tropic* (pp. 1-5).
- Gunson, K. E., G. Mountrakis, y L. J. Quackenbush. 2011. Spatial wildlife-vehicle collision models: a review of current work and its application to transportation mitigation projects. *Journal of environmental management* 92:1074–82.

- Igac. 2008. Mapa de coberturas de la tierra cuenca Magdalena - Cauca metodología Corine Land Cover para Colombia escala 1:100.000. ONF Internacional. 24 pp.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (IDEAM, 2010). Leyenda Nacional de Coberturas De La Tierra. Metodología CORINE Land Cover para Colombia escala 1:100000. Bogotá
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2012). Características Climatológicas de Ciudades Principales y Municipios Turísticos de Colombia.
- Jaeger, J. A. G., J. Bowman, J. Brennan, L. Fahrig, D. Bert, J. Bouchard, N. Charbonneau, K. Frank, B. Gruber, y K. T. von Toschanowitz. 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling* 185:329–348.
- Kattán G. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En: Guariguata MR, Kattán G. (Eds.). *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales* (561-590). Libro Universitario Regional. Cartago, Costa Rica; 2002.
- Lopez, I. M. T., Gonzales, L. T. C., & Vargas, J. C. A. (2022). Ocurrencias de atropellamiento de fauna silvestre en un tramo de carretera de Dibulla, La Guajira, Colombia. *Ciencia e Ingeniería: Revista de investigación interdisciplinar en biodiversidad y desarrollo sostenible, ciencia, tecnología e innovación y procesos productivos industriales*, 9(1), 2.
- López-Herrera DF, León-Yusti M, Guevara-Molina SC, Vargas-Salinas F. 2016. Reptiles en corredores biológicos y mortalidad por atropellamiento vehicular en Barbas-Bremen, Quindío, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(156): 484-493
- Lugo Mejía, C. T., González Mendoza, F. A., Pinto Ospina, J. A., & Suarez Urrego, I. D. (2021). Construcción de anillo vial como vía alterna al municipio de Bosconia, Cesar.

- Malo, J. E., Suárez, F., & Díez, A. (2004). Can we mitigate animal–vehicle accidents using predictive models. *Journal of applied ecology*, 41(4), 701-710.
- 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).
- Miguel, S. P. J. (2020). *Sistemas de información geográfica*. Editorial UNED.
- Ministerio de Ambiente de La República de Colombia. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología CORINE LAND COVER Adaptada para Colombia a escala 1:10000*. Bogotá.
- Monroy, M. C., De La Ossa-Lacayo, A., & De La Ossa, J. (2015). Tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía San Onofre–María la baja, Caribe Colombiano. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(27), 88-95.
- Morales Mávil, J. E., Villa-Cañedo, J. T., Aguilar Rodríguez, S. H. & Barragán Morales, L. (1997). Mortalidad de vertebrados silvestres en una carretera asfaltada de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *La Ciencia y El Hombre*, 27, 7-23
- Obando Tobón, J. M. (2022) *Configuración espacial y ecológica del atropellamiento de fauna silvestre en vías periurbanas de los Andes colombianos (Envigado, Valle de Aburrá, Colombia)*.
- Omena-Junior, R., J. Pantoja-Lima, A. L. W. Santos, G. A. A. Ribeiro y P. H. R. Aride. 2013. Caracterização da fauna de vertebrados atropelada na rodovia BR – 174, Amazonas, Brasil. *Rev*
- PABON MARTINEZ, L. K. (2015). *FORMULACION DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL EN LA MINA VILLA CLARA UBICADA EN EL CORREGIMIENTO DE CARACOLI DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR, CESAR (Doctoral dissertation)*.

- PALMERA, A. C. A. (2018). Actualización del manual específico de funciones y competencias laborales de la planta del personal de la contraloría municipal de Valledupar (Doctoral dissertation, Universidad del Magdalena).
- Payán, E., Soto, C., Díaz-Pulido, A., Coordinador, L., Benítez, A. & Hernández, A. (2013). Wildlife Road Crossing and Mortality: Lessons for Wildlife Friendly Road Design in Colombia. International Conference on Ecology and Transportation at Scottsdale. Volume: 209D, 1-4.
- Pinowski, J. (2005). Roadkills of vertebrates in Venezuela. *Revista Brasileira de Zoología*, 22, 191-196.
- Puc-Sánchez, J. I., Delgado-Trejo, C., Mendoza-Ramírez, E., & Suazo-Ortuño, I. (2013). Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre en México. *CONABIO Biodiversitas*, 11, 12-16.
- R Development Core Team. 2020. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <<http://www.rproject.org>>.
- Ramirez Perdomo, J. P., Forero Villanueva, J. S., & Gutiérrez Varela, S. (2022). Análisis de ductilidad de un asfalto convencional y de un asfalto modificado con grano de caucho reciclado.
- Ramp, D., Caldwell, J., Edwards, K. A., Warton, D., & Croft, D. B. (2005). Modelling of wildlife fatality hotspots along the snowy mountain highway in New South Wales, Australia. *Biological conservation*, 126(4), 474-490.
- Rico, G. (2016). Fauna silvestre atropellada en Colombia: una amenaza para la conservación de especies. Obtenido de <https://es.mongabay.com/2016/11/fauna-silvestre-atropellada-colombiaanimales>.
- Rincón, D. P., & Parra, V. J. (2016). Guía general para el manejo de fauna atropellada en vías en concesión (tramo 2 autopista Bogotá-Villeta).

- Rojano Bolaño, C., & Ávila Avilán, R. (2021). Mortalidad de vertebrados silvestres por atropellamiento en el departamento de Casanare, Colombia. *Revista de Medicina Veterinaria*, (42), 27-40.
- Rytwinski, T., & Fahrig, L. (2012). Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. *Biological Conservation*, 147(1), 87-98.
- Sandoval-Gómez VE, Ramírez-Chaves HE, Marín D. 2012. Registros de hormigas y termitas presentes en la dieta de osos hormigueros (Mammalia: Myrmecophagidae) en tres localidades de Colombia. *Edentata*, 13: 1-9.
- Santos, X., G. A. Llorente, A. Montori, M. A. Carretero, M. Franch, N. Garriga y A. Ritcher-Boix. 2007. Evaluating factors affecting amphibian mortality on roads: the case of the Common Toad *Bufo*, near a breeding place. *Animal Biodiversity and Conservation* 30 (1): 97-104.
- Seijas, A. E., Araujo-Quintero, A. & Velásquez, N. (2013). Mortalidad de vertebrados en la carretera Guanare-Guanarito, estado portuguesa, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 61(4), 1619-1636.
- Seiler A (2005) Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. *J Appl Ecol* 42:371–382. doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01013.x
- Shine, R., Lemaster, M., Wall, M., Langkilde, T. & Mason, R. (2004). Why did the snake cross the road? Effects of roads on movement and location of mates by garter snakes (*Thamnophis sirtalis* parietalis). *Ecology and Society*, 9(1), 1-9.
- Teixeira FZ, Coelho IP, Esperandio IB, Oliveira NR, Porto FP, S. Dornelles S, Kindel A. 2013 a. Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups? *Oecologia Australia*, 17(1): 36-47.
- Trejo, A., & Seijas, S. (2003). An estimation of road mortality of birds in Nahuel Huapi National Park, northwestern Argentine Patagonia. *El Hornero*, 18(02), 097-101.

- Torres O, Vargas F. 2014. *Rhinella Humboldt*. Catálogo de Anfibios y Reptiles de Colombia. Vol. 2 (2):19-23p.
- Torres, A., Velázquez, A., & Lobato, J. (2003). Riqueza, diversidad y patrones de distribución espacial de los mamíferos. Las enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales. A. Velázquez, A. Torres y G. Bocco (comp.) Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, DF, 277-299.
- Universidad nacional de Colombia, Sede Medellin (Semillero de ecología de carreteras) Proyecto vías para todos (2019).
- Valenciaga, N., y Mora, C. (2007). Una nota sobre los insectos fitófagos que conviven en áreas de pastizales altamente invadidas de esparrillo (*Sporobolus indicus*). Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 41(3).
- Van Der Ree, R., Jaeger, J. A., van der Grift, E. A., & Clevenger, A. P. (2011). Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving toward larger scales. Ecology and society, 16(1).
- VARGAS-SALINAS, F.; 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.
- Vieira, E. M. (1996). Highway mortality of mammals in central Brazil. Ciencia e cultura (Sao Paulo). Sao Paulo, 48(4), 270-272.
- Waide, R. B. 1991. Summary of the response of animal populations to hurricanes in the Caribbean. Biotropica 23: 508-512.