# IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LA FAUNA SILVESTRE: RELACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES Y ACUMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO DE FAUNA SILVESTRE EN VÍAS DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA.

**MARIA FERNANDA NIÑO BERNAL**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
**FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN**
**PROYECTO CURRICULAR DE LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**
**BOGOTÁ D.C. 2021**

# IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LA FAUNA SILVESTRE: RELACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES Y ACUMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO DE FAUNA SILVESTRE EN VÍAS DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA.

**MARIA FERNANDA NIÑO BERNAL**

**Proyecto de Trabajo de Grado para optar al título Licenciada en Biología**

**OSCAR JAVIER MAHECHA JIMENEZ PhD.**
**DIRECTOR**

**JUAN CARLOS JARAMILLO FAYAD PhD.**
**CODIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
**FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN**
**PROYECTO CURRICULAR DE LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**
**BOGOTÁ D.C. 2021**

**Nota de aceptación**

_____

_____

_____

_____

**Firma Director**

_____

**Firma Codirector**

_____

**Firma Jurado**

**Bogotá, D.C., Noviembre 2022**

**Nota de la Universidad**

**—La universidad no se hace responsable de las ideas, ni del contenido del presente trabajo, debido a que estas hacen parte única y exclusivamente de los autores‖. Capítulo XV, Artículo 117, Acuerdo NÚMERO 029 DE 1988 del Consejo Superior de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas—**

**DEDICATORIA.**

Quiero dedicar este trabajo a Azucena y Mauricio Bernal, por sembrar esta semilla que hoy da frutos. Porque a ellos les debo y les agradezco todo lo que soy.

**Agradecimientos**

A mi mamá por darme todo cuanto le ha sido posible, por estar conmigo incondicionalmente, apoyarme en cada decisión y por su amor infinito. A mi papá, mis hermanas y mi familia por todo su amor y apoyo. Gracias a Gaby por este tiempo juntas, porque su compañia ha significado mucho más de lo que ella podría imaginar.

A mis amigos y amigas por convertirse en familia, en lugares seguros.. A Sergio, porque estamos cumpliendo los sueños que un día imaginamos en las canchas del colegio. A Camilo por ser mi equipo en todo desde los primeros semestres, por la complicidad y el cariño, porque llegamos hasta acá los dos. A Juliana por una amistad sincera, incondicional que ha sido fuerza y soporte en mi vida. A Pipe, Carlos Andres, Sneider, Daniela, Yolima, Jersson, Ulises, por todos los días vividos en la “Oficina”, por bailar conmigo y acumular todos los momentos que nos hicieron lo que hoy somos, estoy orgullosa de cada uno y me siento feliz de encontrarlos en el camino.

Estoy agradecida con la educación pública y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por permitirme formarme como profesional y ser mi hogar estos años que jamás olvidaré. A los profesores que a lo largo de la carrera compartieron sus conocimientos y fueron fuente de inspiración. Especialmente al profesor Oscar Mahecha por generar la curiosidad y el interés por la investigación en mi y todos los conocimientos adquiridos en el semillero de investigación BEEN. Al profesor Juan Carlos Jaramillo del Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (ITM) por su conocimiento, tiempo y disposición de guiarme en el desarrollo de este trabajo, estoy profundamente agradecida por la oportunidad brindada.
A Juan Diego también del ITM por toda su ayuda y acompañamiento en el desarrollo de la metodología de esta investigación con sus conocimientos y recomendaciones.

**Lista de figuras**

**Figura 1.** Área de estudio, vías seleccionadas de la región de Cundinamarca, Colombia. Fuente: Autoría propia.
**Figura 2.** Distribución de reportes de atropellamiento de fauna en vías seleccionadas. Fuente: Autoría propia.
**Figura 3.** Análisis K-ripley Tramo 1. Fuente: Autoría propia.

**Figura 4.** Análisis K-ripley Tramo 2. Fuente: Autoría propia.
**Figura 5.** Análisis K-ripley Tramo 3. Fuente: Autoría propia.
**Figura 6.** Análisis K-ripley Tramo 4. Fuente: Autoría propia.
**Figura 7.** Análisis K-ripley Tramo 5. Fuente: Autoría propia.
**Figura 8.** Análisis Hotspot para el tramo 2. Fuente: Autoría propia.
**Figura 9.** Análisis Hotspot para el tramo 3. Fuente: Autoría propia.
**Figura 10.** Análisis Hotspot para el tramo 4. Fuente: Autoría propia.
**Figura 11.** Análisis Hotspot para el tramo 5. Fuente: Autoría propia.
**Figura 12.** Tramo 2, puntos de calor vs ríos. Fuente: Autoría propia.
**Figura 13.** Tramo 2, puntos de calor vs bosque no bosque. Fuente: Autoría propia.
**Figura 14.** Tramo 3, puntos de calor vs ríos. Fuente: Autoría propia.
**Figura 15** Tramo 3, puntos de calor vs bosque no Bosque. Fuente: Autoría propia.
**Figura 16** Tramo 4, puntos de calor vs ríos. Fuente: Autoría propia.
**Figura 17**. Tramo 4, puntos de calor vs bosque no Bosque. Fuente: Autoría propia.
**Figura 18** Tramo 5, puntos de calor vs ríos. Fuente: Autoría propia.
**Figura 19**. Tramo 5, puntos de calor vs bosque no Bosque. Fuente: Autoría propia.
**Figura 20.** Índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI para el área de estudio, obtenida en el navegador Eo Browser.
**Figura 21.** Índice de agua de diferencia normalizada NDWI, para el área de estudio, obtenida en el navegador Eo Browser.

**Lista de tablas**

**Tabla 1.** Vías seleccionadas de Cundinamarca, Colombia.

**Tabla 2.** Taxones registrados en la base de datos de atropellamiento.

**Tabla de contenido**

1. **Introducción**
   1.1 Planteamiento del problema
   1.2 Justificación
   1.3 Objetivos
      1.3.1 Objetivos específicos

2. **Marco Teórico**
   2.1 Estado del Arte
      2.1.1 Antecedentes de la ecología de carreteras y su estado actual en colombia
   2.2 Impactos ecológicos de las carreteras sobre la fauna silvestre
      2.2.1 Fragmentación de hábitats y efecto barrera
      2.2.2 Atropellamiento de fauna
   2.3 Conectividad del paisaje

3. **Metodología**
   3.1 Área de estudio
   3.2 Análisis espaciales

3.3 Variables ambientales

4. **Resultados y discusión**
   4.1 Distribución de puntos de atropellamiento
   4.2 Análisis espacial.
      4.2.1 Análisis K-Ripley 2D
      4.2.2 Análisis Hotspot 2D
   4.3 Variables ambientales

5. **Análisis de resultados**

6. **Conclusiones y recomendaciones**

7. **Bibliografía**

8. **Anexos**

**Resumen ejecutivo:**

Sin duda la construcción y mejora de carreteras en las regiones, contribuyen directamente al desarrollo económico, pero al mismo tiempo generan impactos negativos, en la dinámica natural de los ecosistemas. Las carreteras y el tráfico son factores significativos de mortalidad primaria de fauna silvestre, interfieren en rutas naturales de migración y fragmentan áreas de actividad o territorios. Si bien con el tiempo se han diseñado diferentes medidas de prevención y mitigación, aún existen muchos vacíos en la implementación de estos planes, sobre todo, en países en desarrollo como Colombia. En el caso específico de Cundinamarca, se presenta una falta de información, a nivel del impacto que tienen las carreteras sobre la biodiversidad, reflejada en el atropellamiento de fauna silvestre. El objetivo de este trabajo, es evaluar la relación de variables ambientales con puntos de acumulación significativa, con el fin de contribuir en los procesos de mitigación y prevención del impacto, a partir de registros de atropellamiento en vías seleccionadas de Cundinamarca. Para esto, fueron solicitados datos de atropellamiento de fauna en la región, a la Corporación Autónoma Regional (CAR), con la cual se generó una base de datos que fue analizada espacialmente por medio del software Siriema, el cual permite el desarrollo de análisis de puntos calientes (Hot-Spots), a partir de estadísticos como K-Ripley. Estos, permitieron rechazar la aleatoriedad de los eventos de atropellamiento y determinar puntos de acumulaciones significativas en 5 tramos de vía seleccionadas de Cundinamarca. Se registraron un total 398 atropellamientos de los cuales 284 son mamíferos, 38 son aves, 30 son reptiles y 46 registros no fueron posibles de identificar. También se observaron agrupaciones significativas de atropellamiento cerca de ríos y zonas de bosque no estable.

El conocimiento sobre los impactos de las carreteras en la biodiversidad resulta fundamental para la protección de la misma, los estudios además de suministrar información sobre los impactos en los ecosistemas y sus poblaciones, pueden proporcionar información sobre aspectos ecológicos.

PALABRAS CLAVES

c

## 1. Introducción

### 1.1 Planteamiento del problema

Aunque la construcción y mejora de carreteras en el país contribuyen directamente en la economía nacional, también genera impactos negativos en la dinámica natural de los ecosistemas (Coffin, 2007). Las vías y el tráfico son causas significativas de mortalidad primaria de fauna silvestre, actúan como un obstáculo para las rutas naturales de migración y fragmentan áreas de actividad o territorios (De la Ossa-V & Galvan-Guevara, 2015). El atropellamiento es un impacto negativo directo del ser humano en la fauna silvestre, que amenaza la densidad de sus poblaciones (Arroyave et al., 2006), (De la Ossa-V & Galvan-Guevara, 2015). Si bien con el tiempo se han diseñado diferentes medidas de prevencion y mitigacion, aún existen muchos vacíos en la implementación de estos planes sobre todo en países en desarrollo como Colombia (Delgado-V, 2007), el atropellamiento de fauna es una amenaza directa a la biodiversidad (Forman et al. 2003, Laurance et al. 2009; Vargas-Salinas, 2012; Quintero, 2016), lo que supone un reto para el país y sugiere realizar la mayor cantidad de trabajos de investigación que permitan estudiar desde diferentes puntos, la problemática de muerte de fauna en las vías, señalando los factores que influyen en la tasa de atropellamientos.

Uno de los impactos negativos de la infraestructura vial es que limita el movimiento de las especies entre los ecosistemas, esta movilidad es fundamental para procesos como la reproducción y alimentación de la fauna silvestre (Arroyave et al., 2006). Algunas formas de mitigar este impacto y de maximizar la conectividad entre ecosistemas es la realización de pasos o corredores de fauna que pueden ser diseñados desde cero o aprovechando elementos de conexión que la misma vía pueda brindar, como son túneles, viaductos, alcantarillas entre otros (Lopez-Herrera, 2016; Jaramillo et al., 2021). Para la implementación de estos pasos de fauna es necesario priorizar las zonas donde serían de mayor provecho y efectividad, esto puede ser posible mediante análisis de conectividad de redes ecológicas, conocimiento de especies afectadas, características ambientales de la zona, características físicas del paisaje entre otras, en las que se puedan señalar posibles puntos donde las especies entran en conflicto con las carreteras (Jaramillo et al., 2021).

Cundinamarca es una región central de Colombia, altamente privilegiada en biodiversidad. Ya que su composición de flora y fauna es tan amplia y diversa, es necesario el continuo estudio de las amenazas a las que estos organismos puedan estar expuestos y con esto poder generar planes de conservación. Algunas entidades a lo largo del tiempo han realizado trabajos que documentan casos de atropellamiento de fauna silvestre en vías de

la región, aun así la información no es suficiente para dar cuenta del tamaño de la intensidad del problema (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2019). Entender como las carreteras pueden impactar en la biodiversidad resulta fundamental para la protección de la misma, realizar análisis de relación de variables ambientales, condiciones técnicas de la vía, composición de especies en la región e información de conectividad ecológica posibilitan la generación de estrategias que disminuyan la tasa de atropellamiento de fauna silvestre (Jaramillo et al., 2021).

¿Cómo la relación de variables ambientales con puntos de acumulación significativa de atropellamiento de fauna me permiten acercarme al entendimiento del fenómeno de atropellamiento de fauna silvestre en vías seleccionadas de Cundinamarca, Colombia ?

### 1.2 Justificación

Se prevé que el siglo XXI tendrá una expansión sin precedentes de carreteras, con al menos 25 millones de kilómetros de nuevas vías para el año 2050, el 90% de estos nuevos caminos serán sobre países en desarrollo, los cuales albergan algunos de los ecosistemas más biodiversos del mundo (Quintero, 2012). Los impactos ambientales que pueden generar los proyectos de infraestructura vial tienen repercusiones desde el momento en que se anuncia el proyecto de una nueva carretera pasando por su diseño, planeación, construcción, uso y desmonte, este planteamiento inicial causa un impacto significativo de elementos acumulativos para las poblaciones animales y sus hábitats naturales. (Forman & Alexander, 1998; Forman et al., 2003; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; Quintero, 2016; Van der Ree et al., 2015, citados por Jaramillo et al., 2021). Los efectos primarios causados serán causa de factores secundarios que pueden incluso incrementar la severidad de los primarios (Vargas-Salinas, 2012).

En el caso específico de Cundinamarca, se presenta una falta de información a nivel del impacto que tienen las carreteras sobre la biodiversidad reflejado en el atropellamiento de fauna silvestre, esto se pudo evidenciar mediante una solicitud de información a la corporación autónoma regional (CAR), en la cual no se aportó una información significativa alrededor de este tema.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General:

- Evaluar la relación de variables ambientales con puntos de acumulación significativa de atropellamiento de fauna en vías seleccionadas de Cundinamarca. Con el fin de contribuir en los procesos de mitigación y prevención del impacto.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos:

- Identificar puntos de acumulaciones significativas (hotspot) en las vías seleccionadas del departamento de Cundinamarca, para determinar zonas con mayor potencial de atropellamiento.
- Evaluar el estado de variables ambientales en las vías seleccionadas, con el propósito de relacionarlas con los puntos de calor.
- Proponer posibles medidas de prevención y mitigación viables con el propósito de aportar en la evaluación y seguimiento de la problemática en las vías seleccionadas.

## 2. Marco teórico.

### 2.1. Antecedentes de la ecología de carreteras y su estado actual en colombia

Formalmente hacia 1970, diferentes autores empiezan a señalar los efectos ambientales que tienen las redes viales sobre los ecosistemas. En estos estudios se mencionan las carreteras como barreras para el movimiento, causales de mortalidad de fauna silvestre, aislamiento de poblaciones y modificación en el comportamiento de las mismas. (Coffin, 2007). El término “ecología vial” evidencia los impactos negativos de las carreteras sobre los ecosistemas y sus poblaciones, uniendo diferentes campos de estudio como la ecología, la geografía, la ingeniería y la planificación. Este término fue utilizado por primera vez por Richard TT Forman en 1998. (Forman, 1998, citado en Coffin, 2007).

En el caso específico de Colombia, la ecología de carreteras comienza a generar interés en diferentes investigadores hacia los años 2000, la producción académica comienza a crecer en varias regiones del país, con la publicación de trabajos que documentan: los impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo (Arroyave et al., 2006), la muerte de animales por colisión con vehículos (Delgado-Vélez, 2007; Castillo-R et al., 2015; Lopez-Herrera et al., 2016; Astwood-R et al., 2018), las tasas de atropellamiento de fauna (Monroy et al., 2015; Quintero-Angel et al.,2012), la restricción del movimiento de fauna y cruces en carretera (Vargas-Salinas & Lopez-Aranda, 2012; Magdalena et al., 2013), entre otros. En el año 2013 es fundada la Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada (Recosfa). Esta organización realiza estudios y recopila información sobre el atropellamiento de fauna en el país, con la intención de planificar estrategias que puedan mitigar y prevenir esta problemática a nivel nacional. En el año 2014 RECOSFA en alianza con El Instituto Técnico Metropolitano de Medellín (ITM) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) construyen una app en la cual se pueden realizar registros del número de casos de muertes en carretera, a través de esta aplicación cualquier ciudadano puede registrar un animal muerto con su georeferenciación respectiva. (Jaramillo-Fayad et al ., 2021). Esto facilita una mayor cantidad de colaboradores en la recolección de datos e información.

Algunos de los planes de prevencion y mitigacion del impacto incluyen pasos de fauna, vallados perimetrales, dispositivos disuasorios y señalizaciones en la vía, muchas de estas herramientas se desarrollan por razones de seguridad en el tráfico y encaminan su atención en evitar el acceso de los animales a las carreteras. (Morantes, 2016). Las medidas de mitigación resultan necesarias ante la problemática y los impactos conocidos y para esto es muy importante las evaluaciones locales de los atropellamientos, antes de sugerir cualquier recomendación general para la prevención (Coelho, 2008). En Colombia aunque existen

herramientas normativas y técnicas que tienen en cuenta el atropellamiento de fauna silvestre pueden resultar insuficientes al no representar ninguna obligación para los ejecutores y operadores de proyectos de infraestructura vial. (García & García, 2013). El país tiene la tarea de velar por la conservación de esta biodiversidad al mismo tiempo que busca el desarrollo económico, y aquí es donde resulta fundamental alianzas que trabajen de la mano para cumplir ambos objetivos.

### 2.2. Impactos ecológicos de las carreteras sobre la fauna silvestre

El desarrollo de la infraestructura vial impulsa el transporte y el comercio en los países, resultando esencial para el funcionamiento de todas las economías nacionales, al generar crecimientos económicos y sociales entre las regiones, aunque esto significa múltiples beneficios, también tiene efectos negativos sobre la biodiversidad y los ecosistemas. Los diferentes efectos que tienen las carreteras sobre la fauna silvestre y sus hábitats naturales pueden ser directos, como la mortalidad de fauna por atropellamiento, la fragmentación y pérdida del hábitat o la reducción de la conectividad en los ecosistemas; mientras que otros pueden ser indirectos y proceden de los primeros como la modificación del comportamiento animal, contaminación química y auditiva, dispersión de especies exóticas, entre otras. (De la Ossa, V et al., 2015)

#### 2.1.1. Atropellamiento de fauna

El atropellamiento de fauna en carretera es el impacto directo más fácil de reconocer, ya que los cuerpos de animales muertos son visibles en las vías en repetidas ocasiones. La frecuencia de estos casos tiene que ver con variables de la vía como: el ancho, la cantidad de flujo vehicular y la velocidad, además de características del ecosistema como el comportamiento de las especies y la cobertura vegetal que exista. (Arroyave et al., 2006). Esta problemática se da a nivel global y es causa primaria de mortalidad y por tanto pérdida de diversidad de vertebrados (Delgado, 2007; Cáceres et al., 2010, 2012; Teixeira et al., 2013; Delgado-Vélez, 2014; Saranholi et al., 2016; Carvalho et al., 2017, citados por Martinez, 2021). Diferentes motivos hacen que los animales se vean interesados a cruzar o llegar a la carretera; algunos grupos de animales ectotérmicos, se acercan a las carreteras para aprovechar el calor absorbido por el pavimento, otros pueden acercarse a desechos orgánicos que se han arrojado a la vía y de los cuales podrían alimentarse (Cupul, 2002). Especies de animales carroñeros como buitres, cuervos o coyotes pueden verse atraídos por cuerpos de animales muertos que han sido atropellados y quedan en la carretera (Noss, 2002). En general la mortalidad accidental de fauna se atribuye significativamente a la búsqueda de recursos (De la Ossa-V & Galvan-Silva, 2015).

Aun en Colombia no se cuenta con una cifra estimada a nivel nacional de la tasa de atropellamiento de fauna. Diferentes estudios han permitido empezar a entender cuales son las poblaciones animales más afectadas, qué variables intervienen en el atropellamiento y, como y donde se pueden implementar medidas de prevención y mitigación eficaces. A través de la aplicación RECOSFA se han registrado 5.600 incidentes de animales atropellados entre el año 2014 y 2019, las cifras en porcentajes para cada grupo taxonómico son: mamíferos (45%), aves (32%), anfibios (15%) y reptiles (8%). También es posible señalar las especies más atropelladas de acuerdo a los datos registrados

encontrando: La Zarigüeya común (*Didelphis spp.*), el zorro perro (*Cerdocyon thous*), el oso melero (*Tamandua spp*), la ardilla de cola roja (*Notosciurus granatensis*) y la iguana verde (*Iguana iguana*) entre otras. (Jaramillo et al., 2021).

Para analizar este fenómeno ecológico que tiene relación con el tiempo y el espacio se utilizan los análisis espaciales (González-Vélez, 2021). Estos análisis estudian los componentes del espacio, definen los elementos que lo constituyen y su conducta bajo ciertas condiciones, con ayuda de herramientas técnicas que pueden ser de tipo gráfico, cuantitativo, cualitativo o mixto. (Madrid & Ortiz, 2005). Gracias a estos análisis es posible situar un fenómeno, ver su relación con el entorno y dar cuenta del impacto que tiene sobre él. Así mismo posibilita la toma de medidas de acción cuando este impacto es negativo, ya que los resultados pueden ser cuantificables por medio de técnicas estadísticas. Aquí los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un gran complemento. Los datos georeferenciados de casos de atropellamiento pueden ser procesados junto con diferentes variables ambientales y técnicas con el fin de ubicar las zonas con mayor probabilidad de atropellamiento. (González-Vélez, 2021).

### 2.2.2. Fragmentación de hábitats y efecto barrera

Las redes de transporte dividen los hábitats naturales en pequeños parches aislados y crean barreras entre los parches restantes (Iuell et al., 2003). Estos parches no permiten la funcionalidad original del ecosistema, separan poblaciones y limitan el intercambio genético, lo que puede generar extinciones locales. (Rajvanshi et al., 2011, citado por De la Ossa-V, 2015). El efecto barrera ocurre cuando se impide la movilidad de los organismos o de sus estructuras reproductivas, esto limita el potencial de los organismos para su dispersión y colonización (De la Ossa-V, 2015). Esta barrera también puede presentarse cuando los animales evitan los espacios adyacentes a las vías donde se generan la mayoría de afectaciones de origen antrópico (Jaramillo et al., 2021). El nivel de repercusión del efecto barrera depende en gran medida de las características de la vía y de las especies de fauna que habitan los ecosistemas adyacentes. Jaramillo et al. (2021) Mencionan: El ancho de la vía, el volumen o intensidad de tráfico vehicular y la existencia o no de estructuras para el cruce de fauna, como principales características a tener en cuenta. Considerando también que el impacto del efecto barrera será diferente según la ecología y la biología de las especies de animales afectadas. La fragmentación por efecto borde sucede cuando se cambian las condiciones bioticas y abioticas de los fragmentos y de la matriz circundante (Arroyave et al., 2006), si bien este efecto sucede en el paisaje de manera natural por las interacciones de los organismos y la heterogeneidad ambiental, el efecto borde generado por las vías puede extender en los ecosistemas adyacentes convirtiendo áreas en inhabitables para muchas especies (Coffin, 2007).

## 2.3 Conectividad del paisaje

Una de las estrategias para contrarrestar la fragmentación, es la conectividad (Isaacs-Cubides et al., 2017). La conectividad del paisaje permite mantener la estabilidad de los procesos ecológicos que se encuentran espacialmente entre sí, como la dispersión, el flujo genético, la migración y a largo plazo la evolución de las especies, la conectividad del paisaje posibilita el estudio de los efectos ecológicos del cambio ambiental y la planificación

de la conservación (Correa-Ayram et al., 2014). El aislamiento estructural y funcional, por ejemplo, de zonas con alto valor de conservación limita gravemente la capacidad del sistema para mantener los procesos ecológicos. (Rudnick et al., 2012, como se citó en Correa-Ayram et al., 2016).

La conectividad del paisaje se define como: el grado en el que el paisaje facilita o impide el movimiento entre parches de recursos (Taylor et al., 1993). Esta conectividad describe la estructura física del paisaje y la respuesta de un organismo a esa estructura. Esto infiere que los tipos, cantidades y arreglos en el paisaje, influyen en el movimiento, la dinámica poblacional y la estructura de la comunidad (Taylor et al., 2006). Esta definición incluye dos conceptos: la conectividad estructural, la cual se refiere a las relaciones espaciales entre los elementos estructurales del paisaje y la conectividad funcional, que describe como las características del paisaje facilitan o impiden el movimiento de las especies entre los parches de hábitat (Correa Ayram et al., 2016).

En cuanto a la evaluación de la conectividad del paisaje esta puede ser: espacialmente en términos estructurales, de acuerdo a la composición y configuración del paisaje y en términos funcionales, según las necesidades de las especies que utilizan o van a utilizar la estructura física del paisaje (Bennett, 2003). Saura (2012) (citado por Correa et al., 2016) define tres principales enfoques para el estudio de la conectividad: Estructuralmente con índices espaciales sencillos, estructural-funcional con teoría de grafos y análisis de menor costo y funcional con modelos de metapoblaciones. Además de la teoría de circuitos, una metodología funcional propuesta en 2009 por McRae.

## 3. Metodología:

Para el desarrollo de este trabajo se realizó una solicitud de información a la Corporación Autónoma Regional (CAR), sobre datos de atropellamiento de fauna en las vías de la región. Con la información suministrada se creó una base de datos, la cual cuenta con 398 registros de atropellamiento con su respectiva georeferenciación, la clase animal a la que pertenece y la fecha. Es importante mencionar que los datos suministrados, no cuentan con información como: temperatura, precipitación, humedad o tipo de cobertura vegetal, además de características técnicas de la vía y metodología de muestreo, todos estos importantes para obtener resultados más acertados a la hora de analizar el impacto de la problemática en la región.

### 3.1 Área de estudio

La presente investigación se realizó en vías seleccionadas del departamento de Cundinamarca, ubicado en el centro del país. Este departamento cuenta con una red vial de 23.945 km de carreteras, de estos: 890 km son vías de primer orden, 4.997 km son vías secundarias y 18.058.43 km son vías terciarias. INVIAS (2020).

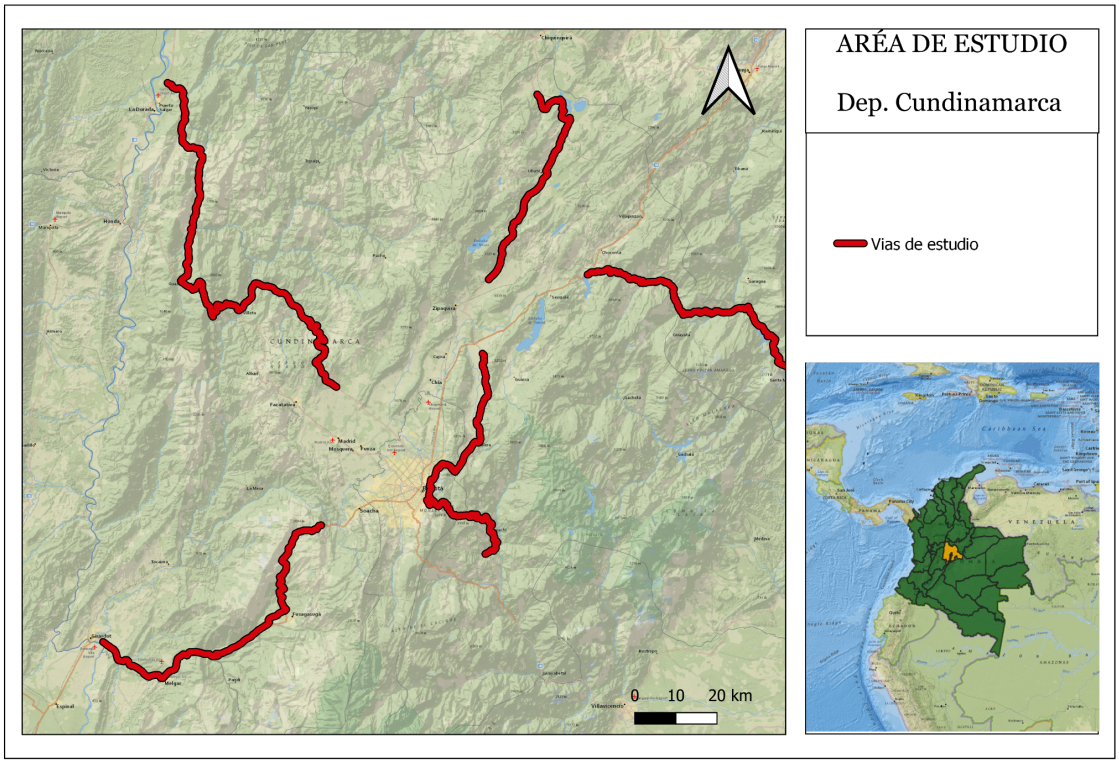



**Figura 1.** Área de estudio. Vías seleccionadas de la región de Cundinamarca, Colombia. Fuente: Autoría propia.

La región de Cundinamarca cuenta con un gradiente altitudinal muy amplio, desde los 300 m.s.n.m desde el valle del río Magdalena hasta alturas superiores a los 4.000 m.s.n.m en el páramo de Sumapaz. Los ecosistemas naturales comprenden el 12% del área total de la región. 7,26% de estos ecosistemas son bosques secundarios con un alto grado de fragmentación, además de cierta intervención y degradación lo que indica que 28 de los 76 municipios ya no cuentan con coberturas naturales. *Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2013.)* Según el informe de la biodiversidad de la CAR en 2011: cerca de la tercera parte de las especies de vertebrados terrestres que se han identificado para Colombia se registran en la jurisdicción de la CAR, y de igual manera el 17% de las especies sensibles para el país. A este valor corresponde 13% de las especies amenazadas a nivel nacional, 13% de las especies endémicas y 41% especies migratorias.

### 3.2 Análisis espaciales de los datos

La primera fase de este trabajo se desarrolló con ayuda del software libre Siriema, una herramienta diseñada para la evaluación y apoyo en la toma de decisiones sobre medidas de mitigación y prevención, en el contexto de los impactos viales sobre la fauna silvestre, a partir de análisis geoestadísticos. (Coelho et al., 2014). Se utilizaron dos análisis de información disponibles en este software: Análisis estadístico espacial de clase K-Ripley 2D y Análisis de Hotspots 2D, el primero con el fin de evaluar la no aleatoriedad de los eventos y las agrupaciones espaciales significativas en diferentes escalas. La aleatoriedad en los eventos indica que algunos lugares son más propensos a ocurrencias de atropellamiento

que otros y el segundo análisis permite identificar cuáles son estos lugares. (Coelho et al., 2008). Estos análisis de atropellamiento a nivel estadístico tienen una configuración de tipo lineal, por lo tanto su relación debe ser diferente estadísticamente, es decir que un punto al inicio de la vía no debe tener una relación tan directa con un punto al final de la vía, son los puntos más cercanos los que deben estar relacionados directamente.

### 3.2.1 Análisis estadístico K-Ripley 2D

El análisis estadístico K, evalúa los atropellamientos centrando un círculo con un radio determinado en un evento y sumando el número de otros eventos dentro del área del círculo, después esto se multiplica por un factor de corrección que tiene en cuenta la longitud de la carretera, repitiendo el proceso con todos los eventos para finalmente sumarlos y calcular la intensidad de agregación para el tamaño del radio que se esté evaluando es decir la escala. La interpretación de las escalas analizadas y la evaluación de la significancia se puede realizar mediante la función:

$$L( r ) = K ( r ) - Ks ( r )$$

Donde Ks ( r ) = valores medios de K basados en 1000 simulaciones de distribución aleatoria de los eventos, de estas simulaciones se obtienen los límites de confianza. Cuando los valores de L ( r ) están por encima de estos límites de confianza se indican escalas con agregación significativa y los valores por debajo de los límites representan escalas con dispersión significativa (Leevine 2000 como se citó en Coelho et al., 2008)

### 3.2.2 Análisis Hotspot 2D

El análisis Hotspot 2D divide el tramo estudiado de la vía en partes iguales según sea definido por el usuario, luego de la misma manera que el análisis K, se sitúa un círculo de radio r en el primer evento del sector y en el evento del medio, los eventos identificados en el interior del círculo se suman y se multiplican por el factor de corrección que tiene en cuenta la longitud de la vía, esto se repite en cada segmento generando un valor de intensidad de agregación de atropellos. Para la definición de parámetros del análisis hotspot se debe tener en cuenta el resultado del análisis K. (Coelho et al. 2014).

Se realizó una distribución de puntos 2D K-Ripley para cada tramo que permitiera identificar si la vía contaba con segmentos de mayor mortalidad que otros, generando agrupaciones de puntos significativos fuera del azar, con un nivel de confianza del 95% en un radio inicial de 100 metros. Posteriormente se realizó el análisis de puntos calientes 2D Hotspot para los tramos que presentaron agrupaciones significativas de atropellamientos, según el valor de acumulación (HS) de la distribución de estos puntos y los límites de confianza superior (UCL) e inferior (LCL). Finalmente con los resultados del segundo análisis se generó un mapa en el software de libre acceso Qgis ubicando los puntos de calor sobre las vías seleccionadas.

## 3.3 Variables ambientales

Para la evaluación del estado de las variables ambientales se utilizó información de una capa de ríos para la región de Cundinamarca, descargada del Marco Geoestadístico Nacional del Geoportal del DANE, así como también una capa de bosque y no bosque tomada del Geoportal del IDEAM en donde se observa las zonas con bosque estable, las zonas sin información de bosque y las zonas de no bosque estable actualizadas al año 2018. Sobre estas capas de información se ubicaron los puntos de calor obtenidos mediante el análisis Hotspot, de manera que fuera fácil visualizar el estado del paisaje. Además se realizó una exploración del área de estudio en el navegador EO Browser, este navegador permite visualizar imágenes satelitales obtenidas por Sentinel, segun la configuracion deseada por ejemplo Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) o Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI).

## 4 Resultados y discusión

### 4.1 Distribución de los puntos de atropellamiento

Con la información de atropellamiento de fauna se realizó la distribución total de los puntos en un mapa, esto facilitó la identificación de las vías involucradas y la división de estas por tramos. Como se puede apreciar en la figura 2.

Para un mejor tratamiento de los datos, las vías se dividieron en 5 tramos (ver en la tabla 1). Los segmentos de carretera corresponden a un tramo delimitado, según la distribución de los puntos de atropellamiento. En el caso del tramo 4 este se conforma por dos segmentos: vía La Calera - Bogotá y vía Bogotá - Choachí. La información recopilada data en total 398 atropellamientos de los cuales 284 son mamíferos, 38 son aves, 30 son reptiles y 46 registros no fueron posibles de identificar. Respecto a los organismos, dentro del grupo de los mamíferos las zarigüeyas son los animales con mayor número de reportes, seguidos del zorro cangrejero, ardilla cola roja y oso hormiguero. Los reptiles registrados reportan serpientes en su mayoría y algunos lagartos. Por último, las aves cuentan con muchos registros sin identificación, algunas de las pocas especies determinadas son *Phrygilus unicolor*, *Gallinago delicata*, Sturnella magna y *Penelope montagnii*

| **SEGMENTO DE LA VÍA** | **VÍA** | **Longitud** |
|---|---|---|
| **TRAMO 1** | RUTA NACIONAL 40<br>Bogotá - Girardot | 90 km |
| **TRAMO 2** | RUTA NACIONAL 50<br>Bogotá - La Dorada | 139 km |
| **TRAMO 3** | RUTA NACIONAL 45A | 58 km |

| | | |
|---|---|---|
| | Cogua – Susa | |
| **TRAMO 4** | RN50-09 RUTACOL-4006 | - 72 km |
| | La Calera-Bogotá Bogotá - Choachí | |
| **TRAMO 5** | RUTA NACIONAL 56 | 121 km |
| | Sisga – Algarrobo | |

**Tabla 1.** Vías seleccionadas de Cundinamarca, Colombia.

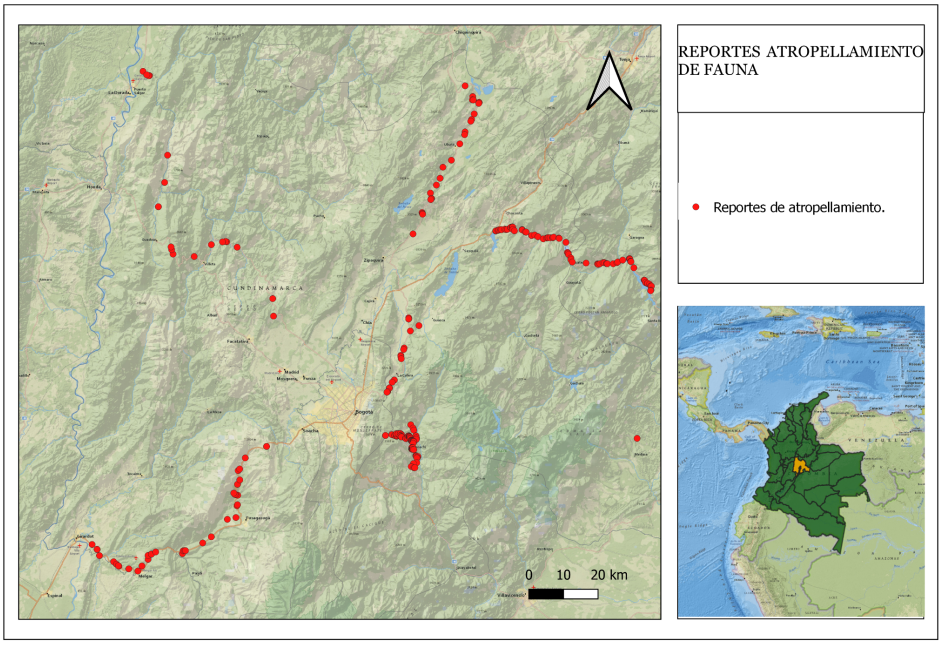



**Figura 2.** Distribución de reportes de atropellamiento de fauna en vías seleccionadas. Fuente: Autoría propia.

**4.2 Análisis espacial.**

Para la aplicación del análisis K-Ripley se evaluó la distribución de puntos en cada uno de los 5 tramos. El análisis fue realizado con un radio inicial de 100m con un número de 1000 simulaciones y un límite de confidencialidad del 95%. Se registraron 37 atropellamientos en el tramo 1, 18 registros en el tramo 2, 28 registros en el tramo 3. 99 registros en el tramo 4 y 147 registros en el tramo 5. Todo esto ya que los puntos muy alejados de la vía y algunos

ubicados en carreteras terciarias fueron discriminados para que la vía fuera un tramo lineal y así evitar superpuestos que pudieran afectar el análisis.

### 4.2.1 Análisis K-Ripley.

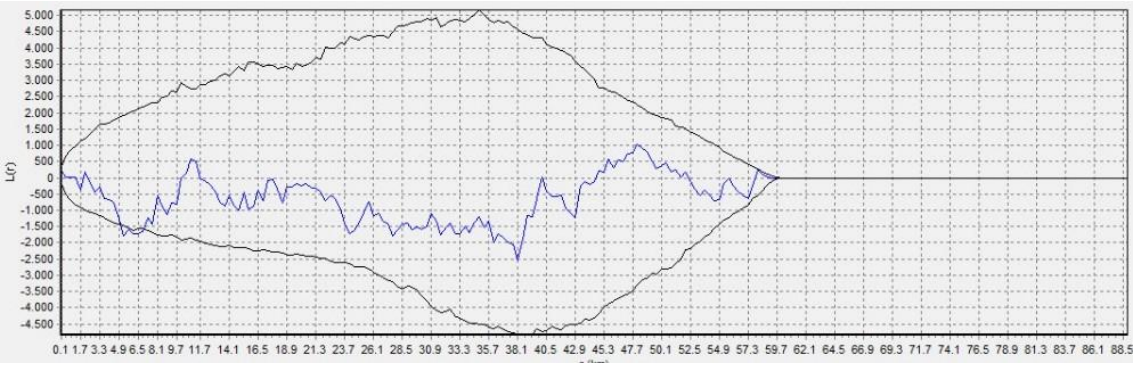



**Figura 3.** Análisis K-ripley Tramo 1: En color azul el cálculo L(r) y los limites de confiabilidad superior e inferior en negro. Dado que la función L(r) en este tramo está entre los límites de confiabilidad, los datos están dados por la aleatoriedad y no se observan grupos significativos de atropellamiento.

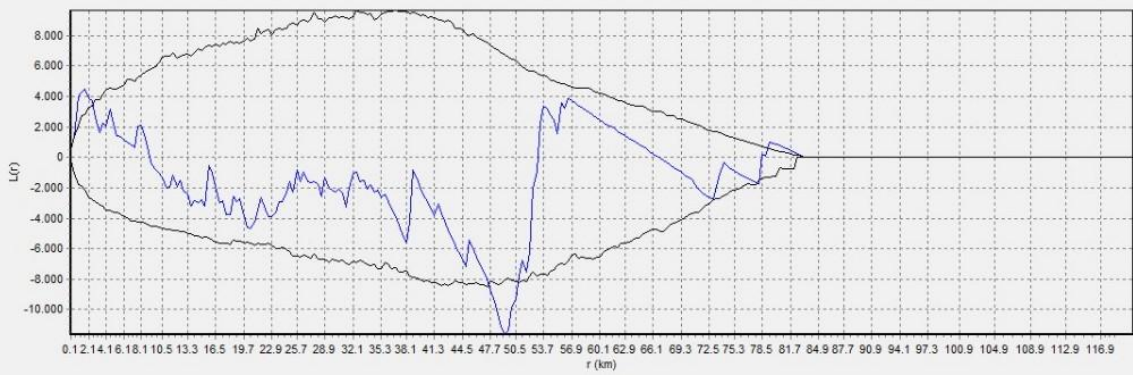



**Figura 4.** Análisis K-ripley Tramo 2 : Se observan agrupaciones significativas entre los km 0.3 y 2.7 de radio y entre los km 78.7 y 80.3 de radio y una dispersión significativa entre los km 47.7 y 50.3, finalmente a partir del km 84.7 se observa que los valores K son iguales a los K simulados.

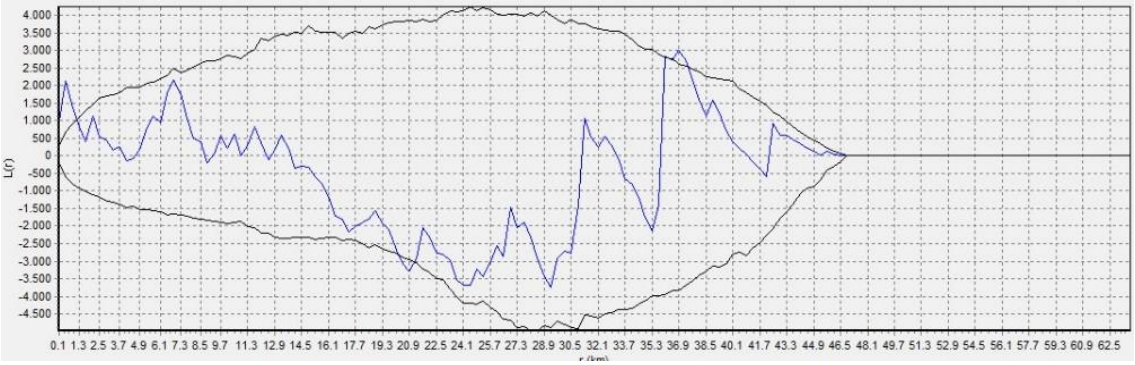


**Figura 5.** Análisis K-ripley Tramo 3: Se presentan Agrupaciones significativas en entre los km 0.1 y 1.3 de radio y entre los km 35.7 y 37.3 de radio. Se observa una dispersión significativa entre los km 20.5 y 20.9 de radio. Desde el km 47.3 los valores k son iguales a los k simulados.

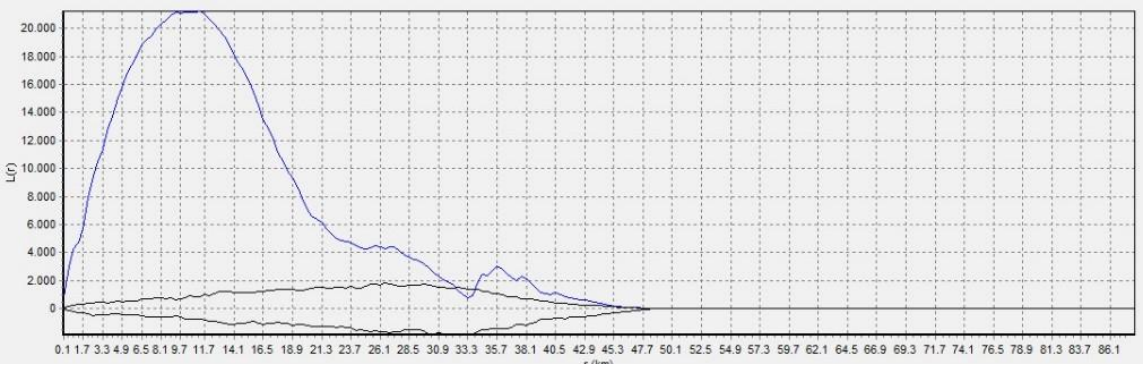



**Figura 6.** Análisis K-ripley Tramo 4: Se muestran agrupaciones significativamente estadísticas entre los km 0.1 y 31.7 de radio y entre los km 34.1 y 42.9 de radio. Finalmente a partir del km 48.9 los valores de k son iguales a los k simulados. No se presentan dispersiones significativas.

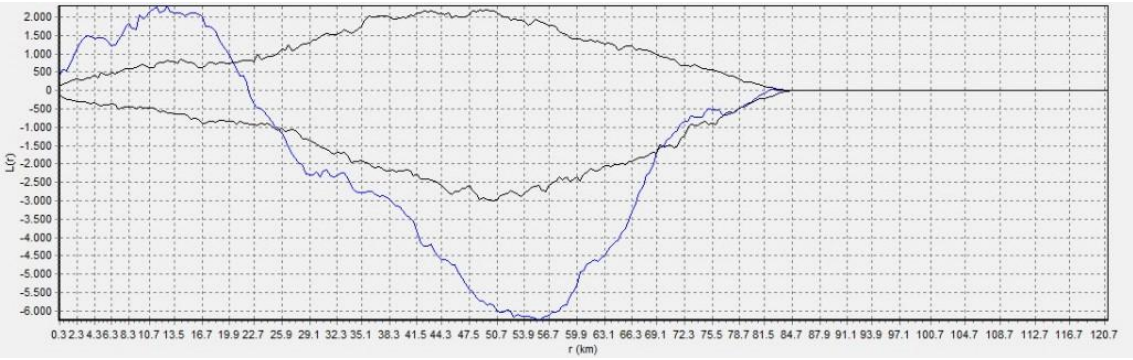



**Figura 7.** Análisis K-ripley Tramo 5: Se observan agregaciones significativas entre los km 0.3 y 19.9 de radio y dispersiones significativas entre los km 25.9 y 69.5 de radio. A partir de los km 84.7 los valores k son iguales a los k simulados.

### 4.2.2 Análisis Hotspot 2D representado en el mapa.

El análisis de puntos calientes se realizó con los tramos que tuvieron una significancia estadística en el análisis anterior 2D K-Ripley. Por lo tanto el tramo 1 no fue sometido a este análisis ya que en él no sé observaron agregaciones significativas de atropellamiento de fauna y los registros pueden estar dados al azar. Teniendo en cuenta los resultados del análisis K para los tramos 2,3,4 y 5 se obtuvo una distribución de puntos con su valor de acumulación (HS) y los límites de confianza superior (UCL) e inferior (LCL) a partir de la banda de distancia identificada como significativa, dividiendo el tramo de estudio en 1000 segmentos equidistantes. Al encontrar que HS > UCL se asume una agregación significativa

(punto caliente), cuando  HS < LCL se considera dispersión significativa. Los resultados de este análisis se exportaron y se generó una base de datos con 2 clasificaciones: clase 1 valores que superaron el límite de confianza superior y clase 0 los que están por debajo. Al final los datos fueron representados en un mapa que permitiera visualizar la ubicación de los lugares con mayor probabilidad de riesgo de atropellamiento, como se muestra en las figuras 8, 9, 10 y 11

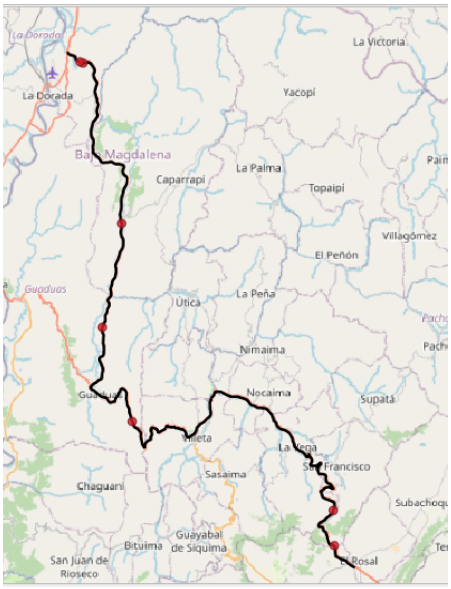



**Figura 8.** Análisis Hotspot para el tramo 2




**Figura 9.** Análisis Hotspot para el tramo 3

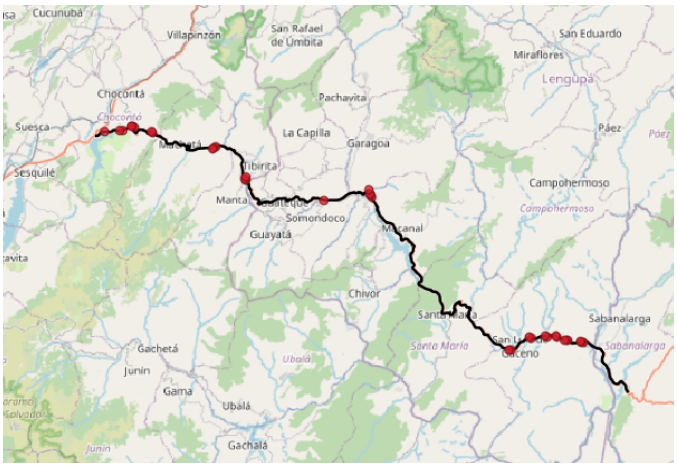



**Figura 10.** Análisis Hotspot para el tramo 4

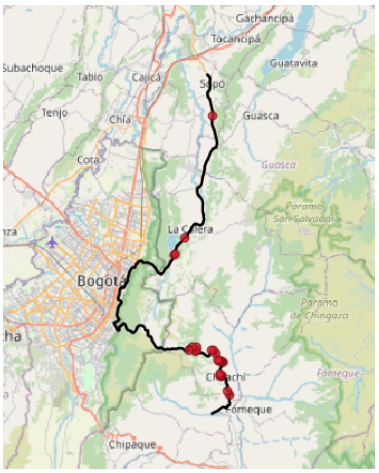



**Figura 11.** Análisis Hotspot para el tramo 5.

**4.3 Variables ambientales.**

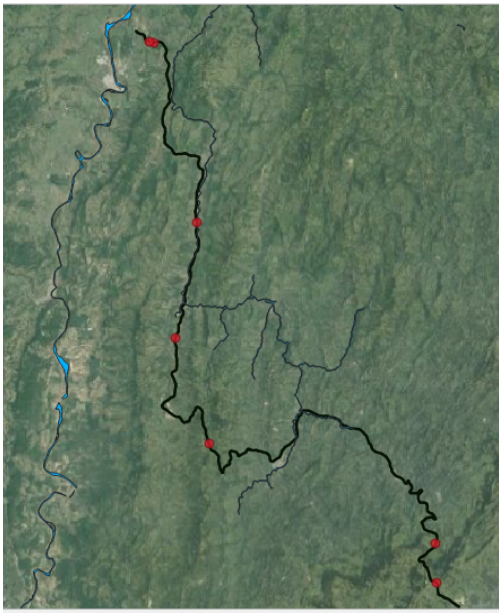


**Figura 12.**Tramo 2 puntos de calor vs ríos vs bosque no bosque

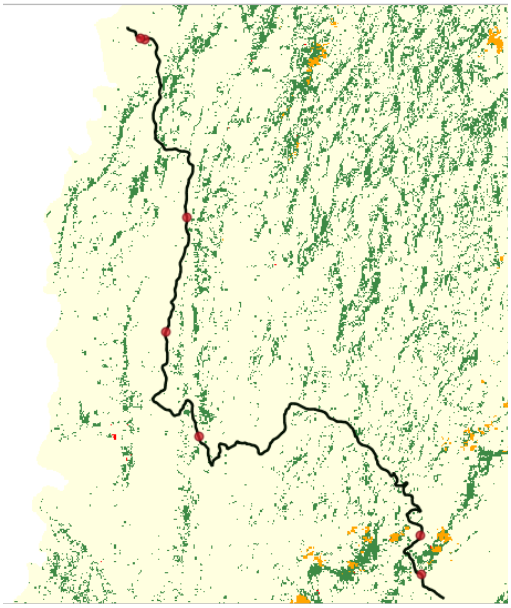


**Figura 13.** Tramo 2 Puntos de calor

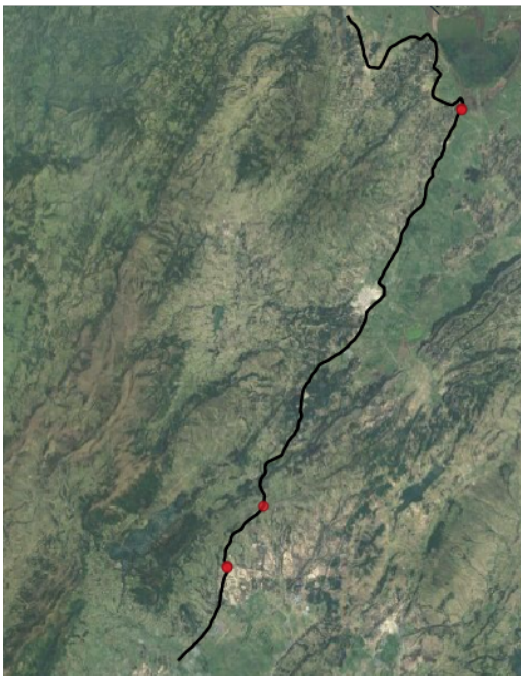


**Figura 14.** Tramo 3 Puntos de calor vs Ríos no Bosque

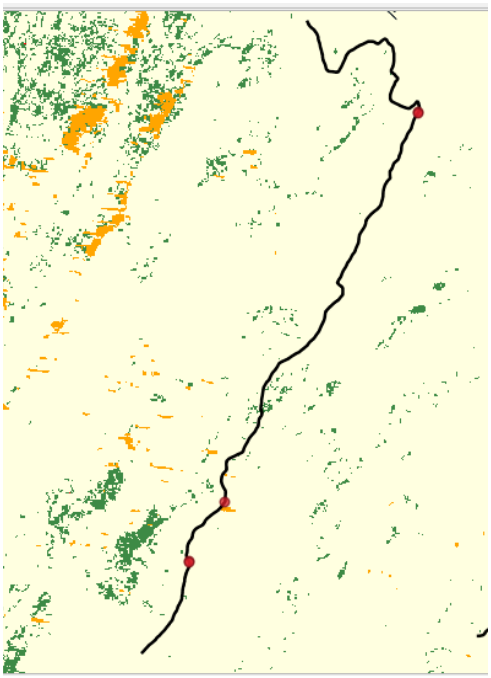


**Figura 15** Tramo 3 Puntos de calor vs Bosque

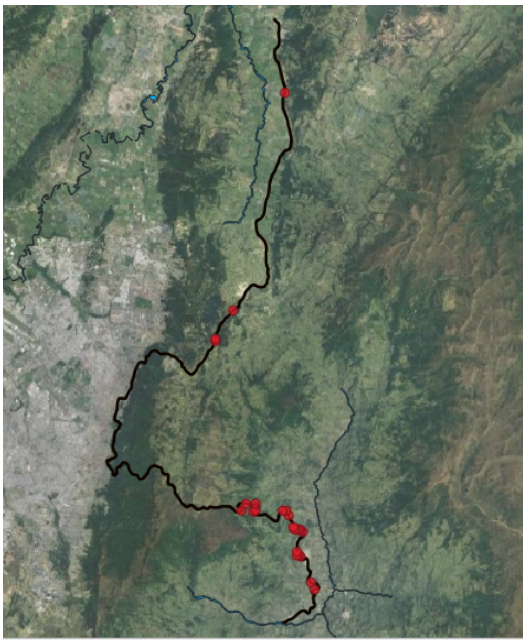


**Figura 16** Tramo 4 Puntos de calor vs Ríos

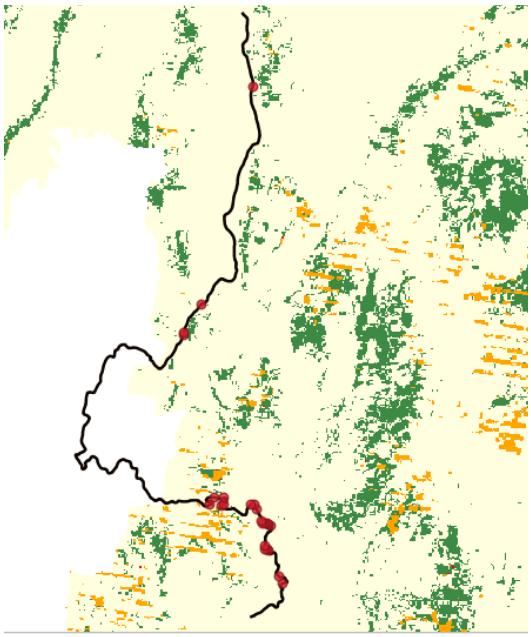


**Figura 17**. Tramo 4 Puntos de calor vs Bosque no Bosque

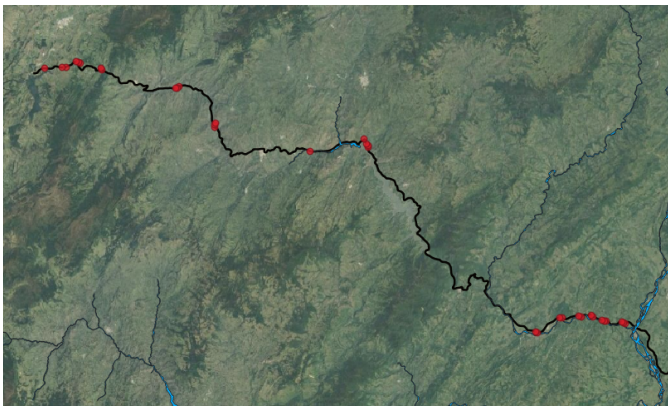


**Figura 18**. Tramo 5: puntos de calor vs Rios

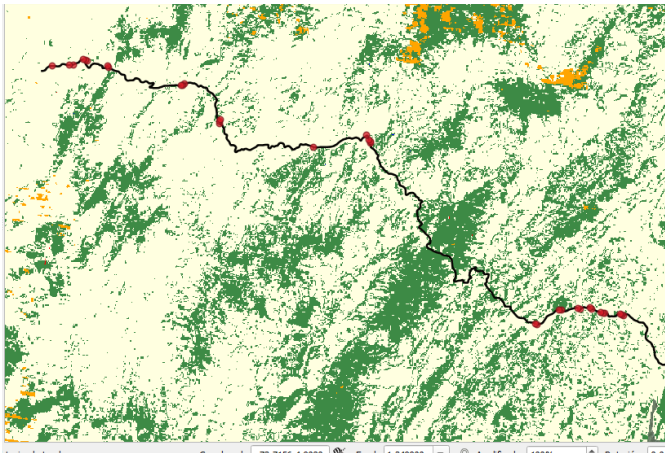


**Figura 19.** Tramo 5: puntos de calor vs bosque no bosque

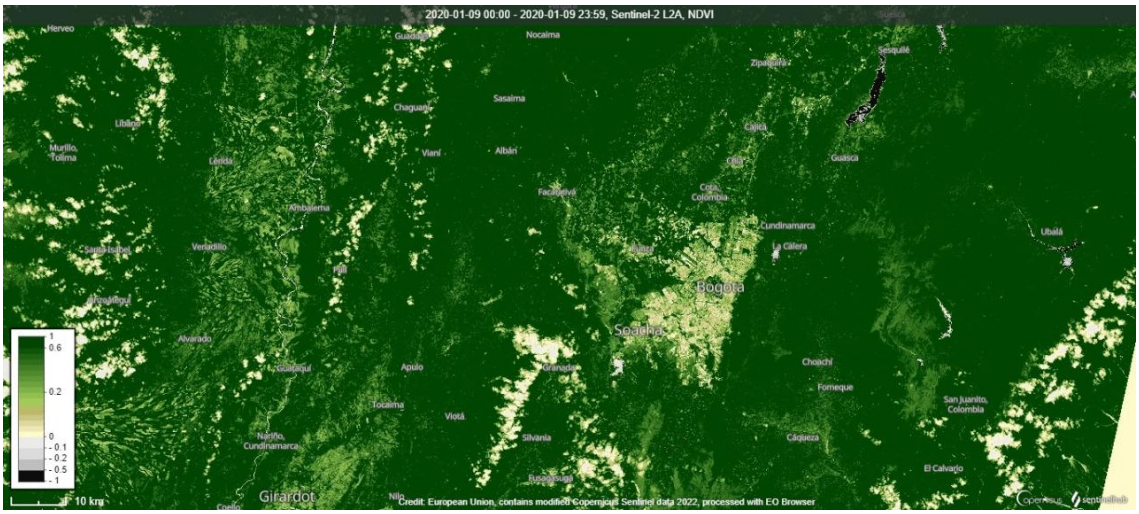



**Figura 20.** Índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI para el área de estudio, obtenida en el navegador Eo Browser.

El NDVI es un índice simple pero efectivo para cuantificar la vegetación verde. Actúa como una medida del estado de salud de la vegetación basada en cómo las plantas reflejan la luz en ciertas longitudes de onda. El rango de valores del NDVI es de -1 a 1. Los valores negativos cercanos a -1 corresponden al agua. Los valores entre -0.1 y 0.1 generalmente corresponden a áreas áridas. Finalmente los valores bajos y positivos entre los 0.2 y los 0.4 representan arbustos y pastizales, mientras que los valores altos indican selvas tropicales y templadas (Sentinel Hub).

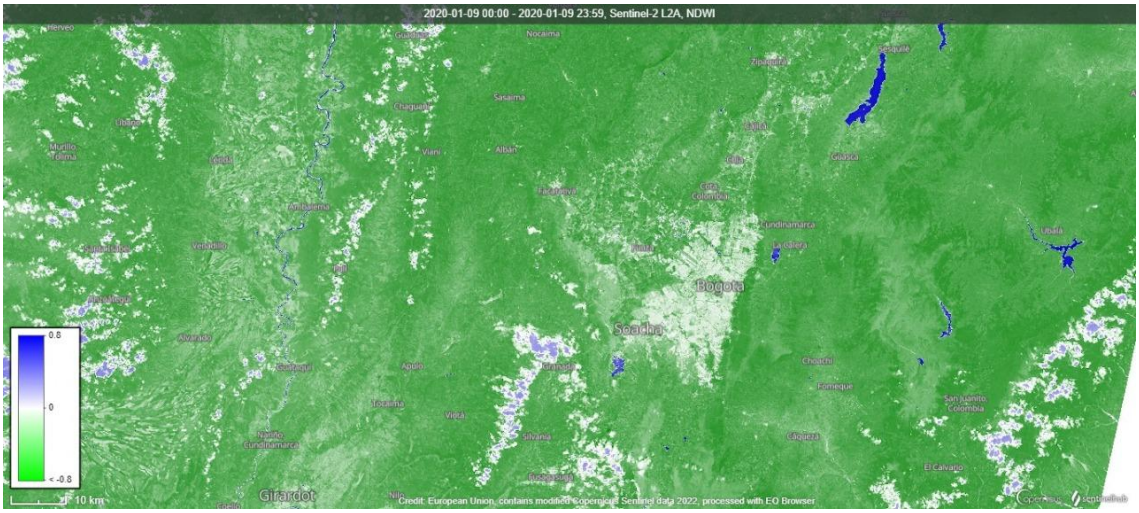



**Figura 21.** Índice de agua de diferencia normalizada NDWI, para el área de estudio, obtenida en el navegador Eo Browser.

Este índice NDWI se utiliza para el mapeo de cuerpos de agua. Los valores de las masas de agua son superiores a 0.5. La vegetación tiene valores más pequeños. Las características acumuladas tienen valores positivos entre 0 y 0.2 (Sentinel Hub).

**5. Análisis de los resultados**

De acuerdo a la distribución de los puntos de atropellamiento se identificó que el tramo 5 tiene la mayor cantidad de reportes con un total de 149, seguido del tramo 4 con 138. Respecto a los tramos 1 (37 reportes), 2 (18 reportes) y 3 (28 reportes) se evidencia un número menor de registros, esto puede tener explicación ya que los datos para estos tres tramos estaban contenidos en el mismo archivo y fueron divididos según la vía de ubicación.

De acuerdo a los registros de las especies, se encontró que las zarigüeyas tienen la mayor cantidad de reportes. Características del grupo como su alta movilidad y tamaño pequeño (Jaramillo et al., 2017), generalistas y tolerantes de asentamientos humanos (Coelho, 2008), hábitos nocturnos y comportamientos como detenerse al percibir un vehículo cerca (Stasiukynas, 2021), pueden estar relacionados a la alta frecuencia de registros de este grupo. El zorro cangrejero otro de los animales con varios reportes, se encuentra en la bibliografía como una especie común de observar en carreteras atribuido a su dieta amplia y oportunista (De La Ossa et al., 2015). Respecto a las demás especies de mamíferos, los taxones reportados en menor medida coinciden con estudios realizados en el país donde los individuos de esta clase son víctimas frecuentes de atropellamiento. (Delgado, 2007; Delgado, 2014). La clase aves presenta en su mayoría registros sin identificación y esto es importante a la hora de relacionar que factor está incidiendo en el atropellamiento de las mismas, ya que el comportamiento de las especies puede explicar su presencia cerca de la infraestructura vial, algunos estudios discuten cómo el calor de las carreteras puede atraer a insectos, que puedan ser alimento de ciertas aves y por esta razón puedan tener colisiones con vehículos (Medrano, 2015). Comportamientos de forrajeo y hábitos oportunistas puede hacer a las aves sensibles a colisiones con vehículos (Arroyave et al., 2006), lo cual concuerda con las pocas especies determinadas como *Phrygilus unicolor* conocido comúnmente como gorrión paramuno y *Sturnella magna* o zacatero común, aves que se caracterizan por dietas basadas en semillas y pequeños artrópodos, los cuales buscan en el suelo o vegetaciones bajas, o *Gallinago delicata* especie generalista que suele usar hábitats modificados por el hombre (portal web wikiaves). Los reptiles fueron el grupo que tuvo una menor cantidad de registros y son en su mayoría serpientes sin identificación, junto con lagartos como *Iguana iguana*, los estudios para este grupo han relacionado la presencia de reptiles en carreteras con su comportamiento de termorregulación (Shine et al., 2004), ya que estas tienen la características de ser superficies abiertas calentadas por el sol, que pueden ser usadas por los organismos para obtener calor. Vargas (2011) menciona la necesidad de rangos de hogar de medianos a grandes para reproducción, alimento y refugio de serpientes como un factor que podría aumentar las probabilidades de cruces en vías. Astwood et al., (2018) reportan a *Iguana iguana* como una de las especies con mayor cantidad de eventos de atropellamiento en los llanos orientales. También ha sido reportada en colisiones con vehículos en carreteras de México y Venezuela (De La Ossa, 2015).

| TAXON | NOMBRE COMÚN | NO. REGISTROS |
|---|---|---|
| **MAMÍFEROS** | | |

| | | |
|---|---|---|
| Didelphis | Chucha | 165 |
| Cerdocyon thous | Zorro cangrejero | 13 |
| Tamandua | Oso hormiguero / melero | 10 |
| Sciurus granatensis | Ardilla cola roja | 13 |
| Coendu | Puercoespin | 9 |
| Dasypus | Armadillo | 8 |
| Leopardus | Tigrillo | 4 |
| Procyon | Mapache | 3 |
| Nasua | Cusumbo | 3 |
| Agouti paca | Borugo | 1 |
| Lagomorpha | Conejo | 1 |
| Caprinae | Cabra | 1 |
| Rodentia | Ratón | 1 |
| Herpailurus yagouaroundi | Jaguarondi o gato moro | 1 |
| **REPTILES** | | |
| Serpiente N.I | Serpiente | 20 |
| Boa constrictor | Guio | 2 |
| Iguana iguana | Iguana | 4 |

| | | |
|---|---|---|
| Lacertilia | Lagarto | 1 |
| **AVES** | | |
| Gallus gallus | Gallina | 6 |
| Gallinago delicata | Becasina | 1 |
| Turdus fuscater | Mirla | 3 |
| Zonotrichia | Copetón | 1 |
| Phrygilus unicolor | Gorrión | 1 |
| Sturnella magna | Turpial | 1 |
| Penelope montagnii | Pava de monte | 1 |
| **Ave N.I** | | 25 |
| **NO DATA** | | 22 |

**Tabla 2.** Taxones registrados en la base de datos de atropellamiento

Al aplicar análisis K-Ripley, el cual actúa como una medida de la distribución de las distancias entre puntos (covarianza de distancias) es posible determinar en que escalas (radio r ) los agrupamientos de eventos son más fuertes, es decir, tienen una significancia estadística y no se detecta una aleatoriedad espacial (Ripley, 1976). De acuerdo a este criterio se identificó que los atropellamientos en el tramo 1 son aleatorios, por lo tanto realizar análisis hotspot no tendría la suficiente precisión ya que son puntos que podrían cambiar. Con respecto a los tramos 2, 3, 4 y 5 se identificaron segmentos de vía con agrupaciones significativas que pueden indicar puntos de calor para el atropellamiento de fauna en la región. Estos puntos de calor son agregaciones de registros de los vecinos más cercanos que no están medidos por el azar, presentando una autocorrelación espacial como se describe en Griffith (2015).

Las observaciones en el paisaje para cada tramo teniendo en cuenta los ríos cercanos y la información sobre bosque y no bosque, muestran en general una cercanía de los puntos de acumulación significativa con ríos y quebradas, esto da cuenta de la frecuencia de

colisiones vehículo-animal cerca de fuentes de agua. Por otro lado estos puntos en su mayoría se alejan de las zonas de bosque estable, esto podría explicarse ya que la mayoría de registros de especies tienen características generalistas que no necesitan hábitats naturales y se adaptan fácilmente en ambientes perturbados. Estudiar los impactos de las carreteras sobre las poblaciones de fauna silvestre no solo permite el conocimiento de los índices de mortalidad, al mismo tiempo permite el estudio de elementos ecológicos como distribución de las especies, cambios demográficos, propagación de especies invasoras, entre otros (Schwartz, 2020).

En cuanto a las medidas de mitigación y prevención de la problemática, se considera fundamental exigir la obligatoriedad de implementación y cumplimiento, de diferentes herramientas que permitan la reducción de los impactos de proyectos en infraestructura vial, sobre los ecosistemas y sus especies, todo esto teniendo en cuenta, que las carreteras son importantes para el desarrollo económico y social y se consideran, indispensables en las regiones, por tanto resulta inevitable su proyección de crecimiento, de acuerdo a esto la mitigación de la problemática, como primera medida, debe tener en cuenta que los proyectos a realizarse cuenten con una planeación ambientalmente consciente, que produzca la menor cantidad de repercusiones sobre los organismos y sus hábitats naturales, como sea posible. Es importante aclarar que en Colombia varias entidades como El Instituto Nacional de Vías [INVIAS] o La Agencia Nacional de Infraestructura [ANI], se han comprometido con el desarrollo y la conservación, sin embargo es necesario continuar con los procesos de planeación y monitoreo, de manera responsable para que estas medidas puedan ser efectivas. Por ejemplo, la construcción de estructuras de cruce es una de las alternativas de mitigación de mortalidad de fauna en carretera pero para su desarrollo es necesario plantear objetivos de mitigación que sean realizables y efectivos, de acuerdo al impacto que se busca disminuir, recopilando información antes y después de la construcción de la vía identificando puntos de mayor conflicto y puntos de control (Van der Ree et al., 2015).

Con el desarrollo de este trabajo, antes de sugerir la construcción de estructuras para el cruce de fauna o por el contrario que impidan el paso como los vallados perimetrales. Se sugiere una mayor cantidad de estudios en la región que permitan evaluar la mayor cantidad de variables tanto ambientales como técnicas de la vía y de la composición de las especies, para así poder tener claridad del estado actual de la incidencia de la problemática en el departamento. Además se considera importante recalcar el valor de la participación ciudadana. Es posible contemplar el monitoreo de los atropellamientos como herramienta para la ciencia ciudadana, lo que permite una interacción bidireccional entre los coordinadores del proyecto y la comunidad de modo que cada uno puede beneficiarse de las interacciones con los demás (Schwartz, 2020).

**Conclusiones**

Los análisis espaciales realizados a partir de estadísticos como K Ripley y análisis Hotspot, permitieron rechazar la aleatoriedad de los eventos de atropellamiento en cuatro de los 5 tramos y determinar puntos de acumulaciones significativas en las carreteras. Estos puntos de agregaciones significativas indican las zonas que requieren una mayor atención,

monitoreo y seguimiento para mitigar y prevenir el porcentaje de eventos de colisión animal-vehículo.

La cercanía a ríos y quebradas de igual manera que la ausencia de bosque estable fueron zonas donde se encontraron acumulaciones significativamente estadísticas, sin embargo cabe aclarar la necesidad de una mayor cantidad de variables como altitud, temperatura, estacionalidad, entre otras, que junto con datos sistemáticos de las especies permitan un mejor entendimiento del fenómeno y su causa-efecto en el departamento.

El desarrollo de investigaciones sobre el fenómeno de atropellamiento, debe incluir a la comunidad. La educación ambiental es fundamental no solo para los actores involucrados en el diseño, construcción y desmonte de las vías, también lo es para las personas que habitan en la región, de manera que se genere una apropiación y conciencia de la problemática.

Aunque las carreteras tienen repercusiones negativas sobre los ecosistemas y sus poblaciones, permiten el desarrollo económico de las regiones. La problemática en este caso es la planificación sin conciencia ambiental, por eso estudios de este tipo resultan indispensables en pro de la conservación siendo un insumo que puede ser utilizado en el diseño de proyectos de infraestructura vial.

En la región de Cundinamarca se evidencia una falta de información sobre el estado actual de los impactos de las carreteras sobre los ecosistemas, esto dificulta las medidas de prevencion y mitigacion ya que estas deben diseñarse a partir de la mayor cantidad de información sobre la estructura del paisaje, las condiciones técnicas de la vía y la composición de especies.

**Recomendaciones**

El desarrollo de este trabajo tiene la intención de promover una mayor cantidad de estudios en la región, sobre el fenómeno de atropellamiento de fauna silvestre. Sumando información sobre el nivel de incidencia en los ecosistemas, las especies más afectadas y los factores asociados.

Es importante trabajar con datos determinados como significativos a partir de análisis espaciales, para evitar los efectos del azar sobre los eventos.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran una aproximación a la predicción de puntos calientes de atropellamiento, en carreteras seleccionadas de Cundinamarca, se considera necesario monitoreos posteriores que puedan aportar mayor información en la zona de estudio.

Este trabajo no tuvo en cuenta una distinción por taxones como clase o especie en los análisis, se sugieren evaluaciones según las características de las poblaciones y las variables ambientales con el fenómeno de atropellamiento

**BIbliografía**

Arroyave, M., C. Gómez, M. Gutiérrez, D. Múnera, P. Zapata e I. Vergara. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. Revista EIA 1 (5): 45-57.

Astwood Romero, Jorge & Reyes, Mayra & Rincón-Aranguri, Mónica & Pachón-G, Jorge & Eslava-Mocha, Pedro & Parra, Carlos. (2018). Mortalidad de reptiles en carreteras del piedemonte de los llanos orientales colombianos. Caldasia. 40. 321-334. 10.15446/caldasia.v40n2.67578.

Bedoya-V., M., Arias-Alzate, A., & Delgado-V., C. (2018). Atropellamientos de fauna silvestre en la red vial urbana de cinco ciudades del Valle de Aburrá (Antioquia, Colombia) / Roadkills in the urban road network of five cities in the Aburrá valley (Antioquia, Colombia). Caldasia, 40(2), 335-348. Retrieved March 4, 2021, from https://www.jstor.org/stable/26553142

BENNETT, A. F. (1999): Linkages in the Landscape. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Bennet, AF (2003). Vínculos en el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. UICN. La Unión Mundial para la Naturaleza, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido .

Brady, Steven & Richardson, Jonathan. (2017). Road ecology: Shifting gears toward evolutionary perspectives. Frontiers in Ecology and the Environment. 10.1002/fee.1458.

Castillo-R J. C., Urmendez M D., & Zambrano G G. (2015). Mortalidad de fauna por atropello vehicular en un sector de la vía panamericana entre Popayán y Patía. Boletín Científico. Centro de Museos, 19(2), 207-219. https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.12

Cerqueira, RC, Leonard, PB, da Silva, LG et al. Los corredores de movimiento potencial y la alta probabilidad de atropello no coinciden espacialmente para los félidos en Brasil: implicaciones para la mitigación vial. Gestión ambiental 67, 412–423 (2021). https://doi.org/10.1007/s00267-020-01411-4

Coffin, Alisa. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. Journal of Transport Geography. 15. 396-406. 10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2012.). Informe sobre el estado de la biodiversidad en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. http://hdl.handle.net/20.500.11786/35439

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2013.). Plan de gestión ambiental regional PGAR 2012-2023. http://hdl.handle.net/20.500.11786/16

Correa Ayram, CA, Mendoza, ME, Etter, A., & Salicrup, DRP (2016). Conectividad del hábitat en la conservación de la biodiversidad: una revisión de estudios y aplicaciones recientes. Progreso en Geografía Física , 40 (1), 7-37.

Cupul, F. (2002). Víctimas de la carretera: fauna apachurrada. Gaceta CUC. Departamento de Ciencias. Centro Universitario de la Costa. México.

Delgado V., Carlos A.. (2007). MUERTE DE MAMÍFEROS POR VEHÍCULOS EN LA VÍA DEL ESCOBERO, ENVIGADO (ANTIOQUIA), COLOMBIA. Actualidades Biológicas. 29. 235-239.

Delgado V., Carlos A. & Londoño Oikawa, Hana & Saravia, Paula & Bedoya-Viana, María. (2017). Afectaciones a la fauna silvestre en las áreas urbanas andinas de Antioquia.

Durán Galindo, I. (). *Atropellamiento Vial de Fauna Silvestre en la Carretera entre los Municipios de Villavicencio - Barranca de Upía (Meta) Colombia.* Villavicencio: Universidad de los Llanos, 2018.

Forman, RTT y Alexander, LE (1998). LAS CARRETERAS Y SUS PRINCIPALES EFECTOS ECOLÓGICOS. Revisión anual de ecología y sistemática, 29 (1), 207-231. doi: 10.1146 / annurev.ecolsys.29.1.207

Galván-Guevara, Silvia (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. [Fecha de Consulta 3 de Marzo de 2021]. ISSN: 0124-5376. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=491/49142418007

García, Y.A & García, J.D. (2022) Atropellamiento de fauna en Colombia: una revisión desde sus causas, conocimiento actual, perspectivas de manejo y regulación. Repositorio

Institucional Universidad de Antioquia. Recuperado de: https://hdl.handle.net/10495/29226

González-Maya JF, Gómez-Junco GP, Jiménez-Alvarado JS, Moreno-Díaz C. 2018. Primer informe técnico del Convenio de Cooperación no. 1838 de 2018 suscrito entre la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR y Proyecto de Conservación de Aguas y Tierras ProCAT Colombia: el territorio CAR. Caracterización de las presiones actuales sobre las poblaciones de mamíferos grandes y medianos en el territorio CAR Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR y Proyecto de Conservación de Aguas y Tierras ProCAT Colombia. Bogotá, Colombia. 180 pp.

Griffith, D. (2015). Estadística Espacial y Geoestadística: Conceptos Básicos. En: Shekhar, S., Xiong, H., Zhou, X. (eds) Encyclopedia of GIS. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6_1650-1

Isaacs Cubides, P. (2011). Modelo de conectividad espacial utilizando sistemas de información geográfica, calidad de hábitat y distribución caso tapir de montaña (tapirus pinchaque) en el eje cafetero colombiano.

Jaramillo, J. C., González Manosalva, J. L., Velásquez López, M. M., Correa-Ayram, C. y P. Isaacs-Cubides. (2018). Los animales atropellados de Colombia: Estrategias para mitigar los efectos de la infraestructura vial. Moreno, L. A., Rueda, C. y Andrade, G. I. (Eds.). 2018. Biodiversidad 2017. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.

Jiménez-Ramírez, J. S., & López-Arévalo, H. F. (2021). Análisis de conectividad del paisaje para tres especies de mesodepredadores altoandinos como herramienta para su conservación. Revista de Geografía Norte Grande, (80), 271-291.

Juan C. González-Vélez, María C. Torres-Madronero, J. Murillo-Escobar, Juan Carlos Jaramillo-Fayad, An artificial intelligent framework for prediction of wildlife vehicle collision hotspots based on geographic information systems and multispectral imagery, Ecological Informatics, Volume 63, 2021,101291,ISSN 1574-9541, https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101291.

Laurance, W., Clements, G., Sloan, S. *et al.* A global strategy for road building. *Nature* 513, 229–232 (2014). https://doi.org/10.1038/nature13717

luell, B., Bekker, H., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., & Wandall, B. I. M. (2003). Wildlife and Traffic: a European handbook for identifying conflicts and designing solutions. Ed. European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research.

López-Herrera, D. F., León-Yusti, M., Guevara-Molina, S. C., & Vargas-Salinas, F. (2016). Reptiles en corredores biológicos y mortalidad por atropellamiento vehicular en Barbas-Bremen, departamento del Quindío, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis.

Nat., 40(156), 484-493. Recuperado a partir de https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/334

Madrid Soto, A y Ortiz López, L. (2005). Análisis y síntesis en cartografía: algunos procedimientos. Universidad Nacional de Colombia.

Monroy, M. C., De La Ossa-Lacayo, A. ., & De La Ossa V, 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. https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i27.106

Medrano Vizcaino, P. M (2015) Efecto de las carreteras en la mortalidad de vertebrados en un área megadiversa: Los Andes Tropicales del Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de: http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8724

Morantes, P. J. (2017). *Caracterización de las iniciativas encaminadas a reducir la mortalidad de fauna silvestre en carretera: panorama Colombia*. Recuperado de: http://hdl.handle.net/10654/16945.

Pomareda, E., Araya-Gamboa, D., Ríos, Y., Arévalo, E., Aguilar, M. y R. Menacho. 2014. Guia Ambiental “Vías Amigables con la Vida Silvestre”. Comité Científico de la Comisión Vías y Vida Silvestre. Costa Rica. 75 pp.

Quintero Angel, Andres & Osorio, Daniel & Vargas-Salinas, Fernando & Saavedra-Rodríguez, Carlos. (2012). Roadkill rate of snakes in a disturbed landscape of Central Andes of Colombia. Herpetology Notes. 5. 99-105.

Quintero, J. 2016. Guía de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables. Panamá. The Nature Conservancy & Latin America Conservation Council. 104 pp.

Restrepo Bedoya, J. W. (2013). Definición de áreas de conectividad espacial para conservación de la biodiversidad en zonas cafeteras por medio de sistemas de información

geográfico ENVI Y ARCGIS. Recuperado de: https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/987

Ripley, BD (1976). *El análisis de segundo orden de procesos puntuales estacionarios. Revista de probabilidad aplicada, 13(02), 255–266.* doi:10.2307/3212829

Rodrigo A.L. Santos, Mário Mota-Ferreira, Ludmilla M.S. Aguiar, Fernando Ascensão, Predicting wildlife road-crossing probability from roadkill data using occupancy-detection models, Science of The Total Environment, Volume 642, 2018, Pages 629-637, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.107.

Schwartz, ALW, Shilling, FM y Perkins, SE El valor de monitorear la vida silvestre atropellada. *Eur J Wildl Res* 66 , 18 (2020). https://doi.org/10.1007/s10344-019-1357-4

Stasiukynas, D. C.; Mejía, Á.; Lizarazo, J.; Wagner-Wagner, C. M.; Gómez, M. F.; Payán, E. (2021). Las carreteras al mar: estudio sobre el impacto de los vertebrados silvestres y los ecosistemas circundantes en dos corredores viales de Colombia. Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad, v. 13, n. 24, 15-40. https://doi.org/10.22430/21457778.1637

Trombulak, Stephen & Frissell, Christopher. (2000). Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. Conservation Biology. 14. 18 - 30. 10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x.

Van der Ree R, Smith DJ, Grilo C (2015): Handbook of Road Ecology. John Wiley & Sons, Oxford

Vargas, F. y Delgado, I. (2011). MORTALIDAD POR ATROPELLO VEHICULAR Y DISTRIBUCIÓN DE ANFIBIOS Y REPTILES EN UN BOSQUE SUBANDINO EN EL OCCIDENTE DE COLOMBIA. *Caldasia*, *33*(1). https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36380

VARGAS-SALINAS, FERNANDO, LÓPEZ-ARANDA, FABIÁN. (2012). LAS CARRETERAS PUEDEN RESTRINGIR EL MOVIMIENTO DE PEQUEÑOS MAMÍFEROS EN BOSQUES ANDINOS DE COLOMBIA? ESTUDIO DE CASO EN EL BOSQUE DE YOTOCO, VALLE DEL CAUCA. Caldasia , 34 (2), 409-420. Recuperado el 21 de abril de 2022, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322012000200011&lng=en&tlng=es.

*Wiki Aves icesi* . (s/f). Edu.Co. Recuperado el 25 de noviembre de 2022, de https://wikiaves.icesi.edu.co/

Zúñiga-Baos, J., & Vera-Pérez, L. (2020). Mortalidad de serpientes en la vía El valle de Toledo-Toledo, Antioquia –Colombia. Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA, 12(1), 745. https://doi.org/10.24188/recia.v12.n1.2020.745